

вання натурні випробування залізобетонних елементів показали, що несуча здатність нормальних перерізів при різному проценті армування, визначена за даною методикою для залізобетонних згинальних елементів, які попередньо зазнали впливу малоциклових навантажень, відрізняється від несучої здатності, отриманої за натурних випробувань з 5% запасом. У той же час методика СНІП дає похибку до  $\pm 15\%$ .

1. Гомон С.С., Зінчук М.С. Врахування сумісної дії малоциклового навантаження та зовнішнього середовища при розрахунках згинальних залізобетонних елементів // Вісник РДГУ "Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво". – Рівне, 1999. – С. 179-183.

2. Макаренко Л.П. Развитие и углубление существующих представлений о деформациях, деструкции и прочности бетонов при сжатии // Изв. вузов. Сер. "Строительство и архитектура". – 1988. – № 12. – С. 1-6.

3. Макаренко Л.П., Фенко Г.А. Практический способ определения модуля упругости и упруго-пластических характеристик бетона при сжатии // Изв. вузов. Сер. "Строительство и архитектура". – 1970. – № 10. – С. 141-147.

4. Бабич С.М., Крусь Ю.О. Бетонні та залізобетонні елементи в умовах малоциклових навантажень. – Рівне: РДГУ, 1999. – 120 с.

5. Фенко Г.А. Влияние собственных напряжений на свойства бетона: Дис. ... канд. техн. наук. – Полтава, 1972. – 145 с.

6. Гомон С.С. Линеаризация загрузочно-разгрузочных ветвей диаграммы сжатия увлажненного бетона при малоцикловом нагружении // Тез. доп. наук.-техн. конф. "Исследование работы и применение в строительстве эффективных элементов и конструкций". – Рівне, 1990. – С. 55 - 56.

7. Голуб А.В. Особенности прочности и деформативных свойств бетона со шлаком ТЭС и их учет при расчете железобетонных конструкций: Дис. ... канд. техн. наук – Рівне, 1989. – 190 с.

8. Ильин О.Ф. Прочность нормальных сечений и деформации элементов бетонов различных видов // Бетон и железобетон. – 1984. – №3. – С. 38-40.

9. Гомон С.С. Зміна деструктивних характеристик бетону за сумісної дії тривалого зволоження та малоциклових навантажень // Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Вип. 3. – Рівне, 1999. – С. 116-119.

*Отримано 02.03.2002*

УДК 624.012.45.04

В.И.КОРСУН, канд. техн. наук, А.Н.МАЩЕНКО

*Донбасская государственная академия строительства и архитектуры, г.Макеевка*

### **ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛОСКО НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ФАКТОРА ВРЕМЕНИ**

Предложена уточненная методика расчетной оценки ползучести бетона при плоско напряженном состоянии, представлены результаты численного исследования НДС железобетонных элементов дымовой трубы при термосиловых воздействиях.

Напряженно-деформированное состояние (НДС) ряда железобе-

тонных сооружений оболочечного типа – дымовых труб, силосов, резервуаров, градирен и др. в значительной степени определяется особенностями длительного деформирования бетона в условиях температурных воздействий. Температурные градиенты вызывают по толщине оболочек сложное напряженное состояние, близкое к плоскому, обуславливают существенную неоднородность прочностных и деформативных свойств бетона и арматуры. Неоднородные по толщине температурно-усадочные деформации и термоползучесть бетона обуславливают релаксацию температурных моментов и перераспределение напряжений между бетоном и арматурой. Расчеты таких сооружений на длительные воздействия осуществляются приближенно с использованием, как правило, физических соотношений в форме обобщенного закона Гука и характеристик ползучести бетона, выявленных в испытаниях на осевое сжатие. При таком подходе не учитывается важная особенность неоднородного деформирования бетона, обусловленная зависимостью характеристик ползучести от вида напряженного состояния [2, 6].

В предлагаемой нами методике физические соотношения для бетона с учетом фактора времени устанавливаются в форме соотношений деформационной теории пластичности [5] и представляются в виде связи между компонентами шаровых тензоров и тензоров-девиаторов:

$$\varepsilon_0 = \frac{\sigma_0}{K_\sigma} = \frac{\sigma_0(1-2\mu)(1+\varphi_v)}{E}; \quad (1)$$

$$\varepsilon_k - \varepsilon_0 = (\sigma_k - \sigma_0) \frac{(1+\varphi_\gamma)}{2G} = (\sigma_k - \sigma_0) \frac{(1+\mu)(1+\varphi_\gamma)}{E} \quad (k=1, 2, 3), \quad (2)$$

где  $\sigma_0$ ,  $\varepsilon_0$ ,  $E$ ,  $\mu$  – соответственно среднее напряжение, средняя деформация, начальный модуль упругости, коэффициент поперечной деформации бетона;  $\varphi_v$ ,  $\varphi_\gamma$  – характеристики объемной и сдвиговой ползучести бетона:

$$\varphi_v = \frac{\theta_c}{\theta_{el}} = \frac{C_v E}{3(1-2\mu)}; \quad \varphi_\gamma = \frac{\gamma_{i,c}}{\gamma_{i,el}} = \frac{C_\gamma E}{2(1+\mu)}; \quad (3)$$

$\theta_{i,el}$ ,  $\theta_{i,c}$ ,  $\gamma_{i,el}$ ,  $\gamma_{i,c}$  – упругие и пластические составляющие деформаций относительного изменения объема и интенсивности деформаций сдвига;  $C_v$  и  $C_\gamma$  – меры соответственно объемной и сдвиговой ползучести бетона, определяемые с учетом их зависимости от вида плоского напряженного состояния и уровня нагружения  $\eta = \tau/\tau_i$ . В качестве эта-

лонной принимается мера простой линейной ползучести бетона  $C_0 = C(t, t_0 = 28 \text{ сут})$ , при осевом сжатии:

$$C_v = \frac{\theta_c}{\sigma_0} = C_0 \cdot 3 \cdot (1 - 2\mu) A(t_0) f_0(\sigma_0, \tau_i) f_1(\eta, t, t_0); \quad (4)$$

$$C_\gamma = \frac{\gamma_{i,c}}{\tau_i} = \frac{C_0 \cdot 3\sqrt{2}}{2} (1 + \mu) A(t_0) f_0(\sigma_0, \tau_i) f_2(\eta, t, t_0), \quad (5)$$

где  $\tau_i$  – интенсивность касательных напряжений,  $\bar{\tau}_i$  – ее предельное значение, определяемое из принятого условия прочности;  $A(t_0)$  – функция возраста загрузки  $t_0$ ;  $f_0(\sigma_0, \tau_i)$  – функция вида плоского напряженного состояния:

$$f_0(\sigma_0, \tau_i) = 0,45 + 0,778 \left( 1 + \frac{\sigma_0}{\sqrt{3}\tau_i} \right)^{0,5}; \quad (6)$$

$f_1(\eta, t, t_0)$ ,  $f_2(\eta, t, t_0)$  – функции нелинейности для объемной и сдвиговой ползучести, построенные на основе модифицированного представления в [3] известного выражения В.М. Бондаренко:

$$f_k(\eta) = 1 + \left( \frac{45}{R_b} + 1,3(t^0 - 20^0) \cdot 10^{-2} \right) \eta^p \Delta_k e^{-S_1 \varphi(t, t_0)} \quad (k = 1, 2); \quad (7)$$

$$\Delta_1 = 137e^{-4,57\eta}; \quad \Delta_2 = 165e^{-4,47\eta}; \quad p = 5 - 0,07R_b + (t^0 - 20^0) \cdot 10^{-3}. \quad (8)$$

Остальные функции принимаются согласно [4]

$$S_1 = \frac{400R}{E}; \quad \varphi(t, t_0) = E(t_0) C^N(t, t_0); \quad A(t_0) = 0,48 + \frac{21,8}{14 + t_0}. \quad (9)$$

Для условий повышенных температур функции влияния температуры и функции старения принимаются согласно [3]. Выражения (1) - (9) позволяют достоверно оценивать деформации ползучести обычного тяжелого бетона для различных видов плоского напряженного состояния [2].

Изложенная методика реализована в программе расчета, разработанной применительно к ПЭВМ для определения НДС плосконапряженных неоднородных железобетонных элементов сооружений. Физические соотношения приняты соответственно работе [1].

В качестве примера выполнен расчет элементов железобетонной оболочки дымовой трубы Н=120 м ЛПЦ-1700 Мариупольского МК им. Ильича в различных зонах по высоте, включая зону наибольших повреждений. Расчетные величины – удлинения срединной поверхно-

сти в меридиональном  $\varepsilon_y$  и кольцевом  $\varepsilon_x$  направлениях, температурные моменты  $M_{tx}$  и  $M_{ty}$ , напряжения в бетоне и арматуре, усилия трещинообразования и ширина раскрытия трещин. Расчет выполнен для двух основных этапов – возведение в условиях нормальной температуры и эксплуатация при продолжительном одностороннем нагреве. Решение физически нелинейной задачи осуществлялось методом последовательных приближений с пошаговым приращением нагрузки и температуры. На этапах изотермического нагрева с постоянной продольной силой  $N_y$ , соответствующей длительным напряжениям от собственного веса сооружения ( $\sigma_{y,l}=0,3R_b$ ), интервалы времени и соответствующие им приращения деформаций и напряжений рассматривались как отдельные этапы нагружения. НДС элементов, определенное на предыдущем этапе, принималось исходным для последующего.

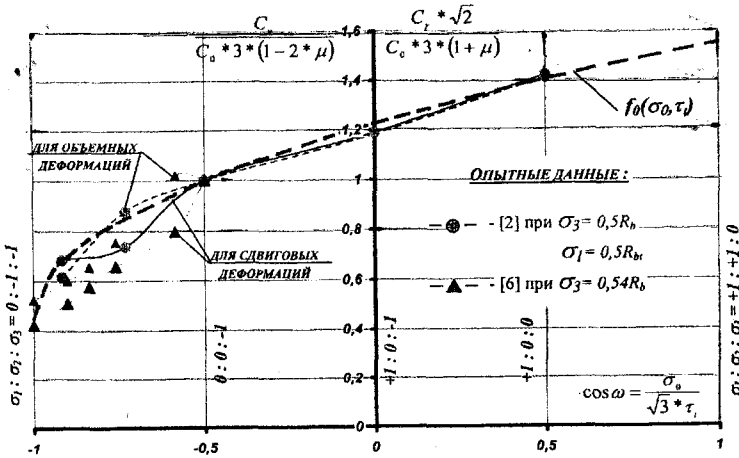


Рис.1 – Зависимость относительных величин мер объемной и сдвиговой ползучести от вида плоского напряженного состояния

Суммарные деформации упругие, усадки и ползучести за период возведения ( $t=1$ год) составили на уровне срединной поверхности элемента около  $65 \cdot 10^{-5}$ , напряжения в вертикальной арматуре – порядка 130 МПа. При первом одностороннем нагреве температурные моменты  $M_{tx}$  в горизонтальных сечениях, нагруженных продольной силой  $N_{y,l}$ , достигают максимальной величины (рис.2). Температурные моменты  $M_{ty}$  в вертикальных сечениях составили при этом около 40% от  $M_{tx}$ . При величине перепада температур по толщине элемента около  $30^{\circ}\text{C}$  в вертикальных сечениях со стороны менее нагретой грани образуются

трещины. Величины температурных моментов после длительного нагрева составили в горизонтальных сечениях порядка 58%, а вертикальных сечениях – около 70% от соответствующих значений при первом нагреве.

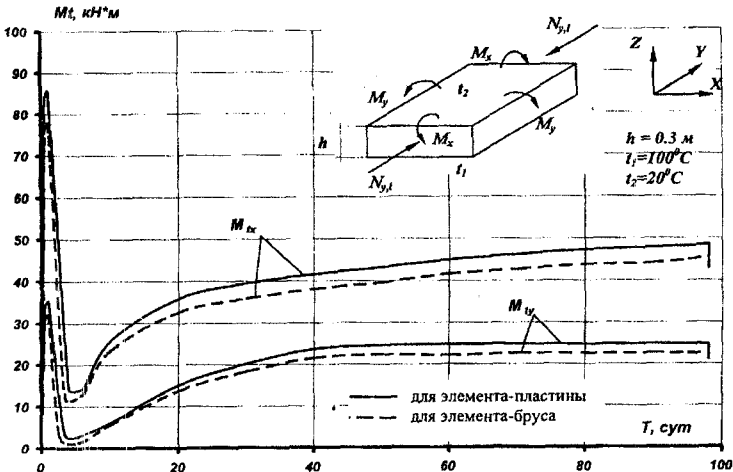


Рис.2 – Температурные моменты в элементе дымовой трубы при одностороннем нагреве до 100°C

Фактором, определяющим в значительной степени НДС дымовых труб, является перераспределение напряжений между бетоном и арматурой вследствие усадки и ползучести бетона. Так прирост напряжений в более нагретой вертикальной арматуре за счет усадки и термоползучести бетона составил порядка 110%, а в менее нагретой - около 82% от соответствующих значений до нагрева. При этом в зонах ствола, соответствующих ярусам с пониженными на 30% значениями прочности, напряжения в арматуре со стороны нагреваемой грани достигли предела текучести, а с противоположной стороны составили порядка 75% от  $R_s$ . При кратковременном догрузении горизонтального сечения ветровой нагрузкой расчетные напряжения во всей вертикальной арматуре сжатой зоны достигают предела текучести. Результаты расчета подтверждаются характером повреждений ствола дымовой трубы в зоне яруса с низкопрочным бетоном, характеризующимся потерей устойчивости и выпучиванием стержней вертикальной арматуры.

При раздельном расчете элементов дымовой трубы в меридиональном и кольцевом направлениях, т.е. без учета работы бетона в

плоском напряженном состоянии, недооценка величин температурных моментов в меридиональном и кольцевом сечениях составляет при первом одностороннем нагреве 9 и 10%, при длительном нагреве – 6 и 9%, при остывании – 12 и 15% (рис.2).

Таким образом, предложенная методика позволяет с единых позиций достоверно оценивать деформации ползучести тяжелого бетона для всех случаев плоского напряженного состояния. Неучет работы бетона в плоском напряженном состоянии приводит к недооценке температурных моментов и завышению трещиностойкости сечений.

1. Корсун В.И. Исследование напряженно-деформированного состояния элементов железобетонных сооружений при силовых и температурных воздействиях // Вестник ДГАСА. Вып.2000-1(21). – Макеевка: ДГАСА, 2000. – С.99-107.

2. Корсун В.И., Машенко А.Н. Исследование ползучести бетона при плоском напряженном состоянии // Вестник ДГАСА. Вып.2001-4(29). – Макеевка: ДГАСА, 2001. – С.65-72.

3. Кричевский А.П. Расчет железобетонных инженерных сооружений на температурные воздействия. – М.: Стройиздат, 1984. – 148 с.

4. Прокопович И.Е., Зедгенидзе В.А. Прикладная теория ползучести. – М.: Стройиздат, 1980. – 240 с.

5. Писаренко Г.С., Можаровский И.С. Уравнения и краевые задачи теории пластичности и ползучести: Справочное пособие. – К.: Наукова думка, 1981. – 496 с.

6. Кириллов А.П., Завялов В.Н. Ползучесть бетона в условиях двухосного сжатия // Бетон и железобетон. – 1990. – №11. – С. 13-14.

Получено 17.05.2002

УДК 624.543 : 624.15

ЛИ ЧИНКЕЙ

*Харьковский государственный технический университет  
строительства и архитектуры*

## **ШТАНГОВОЕ КРЕПЛЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ С ТРЕЩИНАМИ**

Исследуется влияние штангового крепления на работу свода штрэка, разделенного трещинами на отдельные блоки.

Условия работы строительных конструкций с трещинами являются основными вопросами, которые подлежат исследованию. Трещины могут возникнуть в несущих и ограждающих конструкциях зданий, в том числе в фундаментах, стенах, при сооружении дамб и рудных кровель, а также в других сооружениях. Штанговое крепление конструкций с трещинами дает позитивные результаты. Здесь исследуются деформации, напряжения и состояние разрушения строительных конструкций с трещинами, усиленных штанговыми креплениями.

### **1. Деформация строительных конструкций с трещинами**