

Термонапряженное состояние конструкций с учетом заземления в основании и податливости торцов

Ф.Х. Саидов, З.В. Кобулиев, Ш.С. Тагойбеков

В XX столетии бетон стал одним из массовых строительных материалов, определяющих уровень развития строительной индустрии. Мировой объём его применения достиг 2 млрд. м³ в год [1, 2, 3, 4, 5]. В связи с широким применением бетона открываются новые свойства материала, он еще дальше проникает в среду строительства географически, конструкции из бетона приобретают новые решения, получают архитектурно-строительную выразительность. А если к этому прибавить сравнительную простоту технологии изготовления и переработки, её доступность, малую энергоёмкость, экологическую безопасность и эксплуатационную надежность, учесть возможность широкого использования местных сырьевых ресурсов, утилизации техногенных отходов деятельности человека, станет понятным постоянный интерес к материалу, рост требований к нему со стороны строителей и постоянное стремление к его совершенствованию со стороны ученых и практиков [1, 2, 3, 4, 6, 7, 8].

Благодаря этому в настоящее время в строительстве применяется множество разновидностей бетона, и процесс создания его новых видов активно продолжается. Совершенствуется и технология производства бетонных работ.

Особое место занимает использование бетона в гидротехническом строительстве. В обычных условиях работы бетонные конструкции претерпевают вынужденные деформации, связанные с изменением температуры и влажности [9]. Следует отметить, что в бетоне протекают сложные физико-химические процессы, особенно в раннем возрасте, когда бетон формируется как материал. Без учета возникающего при этом напряженно-деформированного состояния надежный и экономичный расчет бетонных конструкций зданий и сооружений невозможен.

Учет влагообмена и связанных с ним явлений можно проводить по методике [9]. В предлагаемой работе ставится задача рассмотрения влияния заделки блоков бетонирования на напряженное состояние, вызванное изменениями температурного поля.

Как известно, блоки бетонирования зданий и сооружений могут иметь различную форму и размеры, которые определяются условиями производства работ и обеспечением трещиностойкости бетона, при этом на величину развивающихся в блоке температурных напряжений существенно влияют: температурный режим (разогрев от экзотермии, остывание и т.д.); свойства бетона (ползучесть, старение); условия на границе (заделка в основание и по торцам блоков). Блоки укладываются на различные основания, от абсолютно жесткого до абсолютно податливого, при этом могут быть различные условия заделки на торцах.

Так, для блоков с малой высотой бетонирования, уложенных на скальное основание или старый бетон, существенное влияние на напряженное состояние оказывает защемление в основание, которое учитывается по методике [5], путем введения в расчетные зависимости коэффициента защемления K_3 . Этот коэффициент меняется от нуля до единицы в зависимости от жесткости основания.

Для высоких блоков значительное влияние на величины напряжений оказывает заделка торцов. Этот фактор учитывается введением коэффициента податливости K_n , который изменяется от нуля до единицы. Варьируя значениями коэффициента защемления K_3 и коэффициента податливости K_n , можно достоверно описать самые различные условия работы блоков, а также выделить следующие возможные схемы работы блоков бетонирования, соответствующие различным условиям защемления в основание и заделки по торцам:

$$\begin{array}{ll} \text{а) } K_3 = 0; 0 < K_n < 1; & \text{б) } K_n = 0; 0 < K_3 < 1; \\ \text{в) } K_3 = 1; K_n = 0 \text{ или } K_n = 1; & \text{г) } 0 < K_3 < 1; 0 < K_n < 1. \end{array} \quad (1)$$

Случай «а» характерен для блоков, лежащих на абсолютно податливом основании при различных условиях заделки по торцам. Здесь применимо решение задачи для прямого призматического бруса сечением $2x_0 \times 2y_0$ [5, 9, 10]. Напряжения вдоль оси z с учетом ползучести определяются по формуле

$$\sigma_z^*(x, y, t) = -\frac{\alpha E(t)}{1-\nu} \Phi(x, y, t) k_p(t, \tau) + K_n \frac{\alpha E(t)}{1-\nu} \Phi_{cp}(t) k_p(t, \tau), \quad (2)$$

где K_n - коэффициент податливости, определяемый по формуле

$$K_n = 1 - \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{E(t)F_o}{E(t)F_c}}} \quad (3)$$

α - коэффициент линейного расширения бетона; $E(t)$ - модуль упругости; ν - коэффициент Пуассона; $\Phi(x, y, z)$ - расчетная температура, определяемая как разница между фактической температурой в точке и средней температурой; $k(t, \tau)$ - коэффициент релаксации к моменту времени t при нагружении бетона в возрасте τ ; $\Phi_{cp}(t)$ - средняя расчетная температура; F_o - площадь призматического бруса; F_c - модуль упругости и площадь сечения связей, наложенных на торцы бруса.

Анализ формулы (2) показывает, что при $K_n = 0$ приходим к решению, соответствующему случаю полного защемления торцов, а при $K_n = 1$, соответствующему свободным от закреплений торцам.

Например, требуется определить упругомгновенные напряжения в блоке прямоугольного поперечного сечения, лежащем на нескальном основании при заданном температурном режиме и различных условиях заделки на торцах. В основу может быть положена зависимость (2), которая для упругомгновенной задачи принимает вид

$$\sigma_z(x, y, t) = -\frac{\alpha E(t)}{1-\nu} \Phi(x, y, t) + K_n \frac{\alpha E(t)}{1-\nu} \Phi_{cp}(t). \quad (4)$$

Разработанный метод позволяет определять напряжения в любой точке поперечного сечения. Условия заделки по торцам учитываются коэффициентом податливости (3). Если площади сечения рассматриваемого блока F_o и соседнего («блока-связи») F_c равны между собой, то K_n зависит только от отношения их модулей упругости. На рисунке приведен один из вариантов развития температурных напряжений в бетоне раннего возраста, рассчитанных с использованием ПЭВМ.

Анализ результатов расчета показывает, что наибольшие напряжения возникают в бруске с жесткозащемленными торцами, наименьшие – со свободными. Промежуточное положение занимают напряжения в бруске с упругоподатливыми связями. Причем эти напряжения зависят от жесткости связей: чем больше возраст «блоков-связей», тем ближе напряжения в блоке с упругоподатливыми связями к напряжениям в блоке с защемленными торцами; чем меньше жесткость – тем ближе к напряжениям в блоке, свободном от заделки по торцам. Наиболее вероятно появление температурных трещин в блоке с жесткозащемленными торцами. Например, в блоке, связанном по торцам с соседними арматурными стержнями при общем его остывании.

Случаю «б» соответствуют блоки бетонирования со свободными торцами и укладываемые на основание различной жесткости. В основе расчетов лежат зависимости, предложенные С.А. Фридом [5].

Случай «в» рассматривает блоки, защемленные в основание, торцы у которых могут быть свободны или жестко заделаны. Расчет напряжений упругомгновенной задачи для таких условий приводится в работе [9].

И, наконец, рассмотрим случай «г». Ему соответствуют блоки, на напряженное состояние которых оказывает влияние заделка по торцам и основанию.

Анализируя результаты расчета напряжений в балках, жестко защемленных в основании, с абсолютно жесткой заделкой по торцам и отсутствием каких-либо связей на торцах [9], можно сделать вывод, что связи на торцах блоков оказывают влияние не на всю их длину, а на ту часть, которая составляет примерно $0,25l$. Здесь $2l$ – длина блока. Таким образом, для зоны, прилегающей к торцам с длиной $0,25l$, следует учитывать влияние связей, в средней же части блока их можно не учитывать. Отсюда следует, что в длинных невысоких блоках заделка по торцам оказывает незначительное влияние на напряженное состояние.

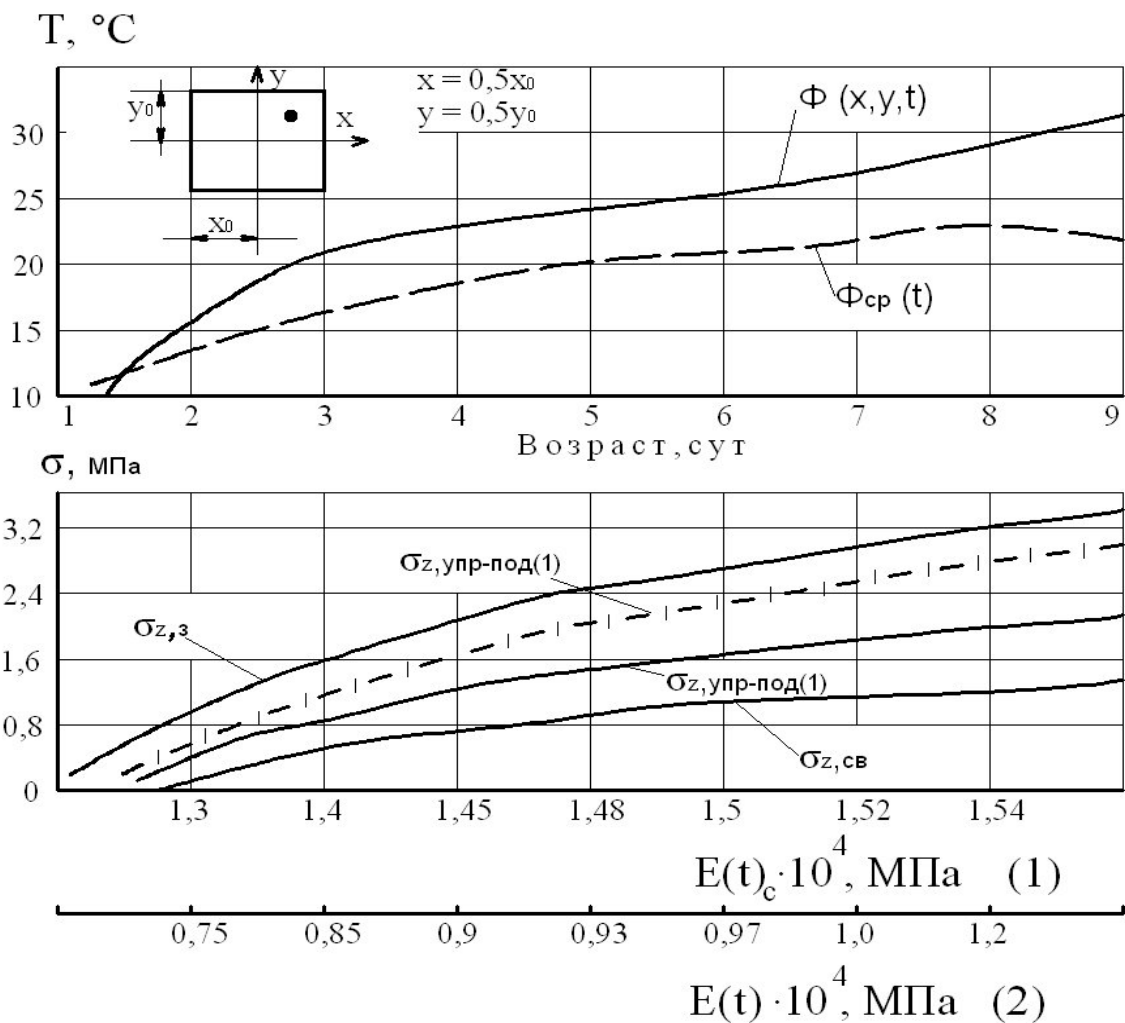


Рис. - Напряжения в прямом призматическом брус с упругоподатливыми связями на торцах.

Для определения напряжений в зоне, прилегающей к торцам блока (равномерный разогрев или остывание), расчетная формула примет вид:

$$\sigma_z(x, y, t) = \sigma_3(x, y, t) - \frac{\sigma_{c6}(x, y, t) - \sigma_z(x, y, t)}{\omega_{c6}(t)} \omega_{c6}(t), \quad (5)$$

где $\sigma_3(x, y, t)$; $\sigma_{c6}(x, y, t)$ - напряжения в блоке, соответственно, с защемленными и свободными торцами при равных условиях заделки в основание; $\omega_{c6}(t)$ - перемещения в блоке со свободными торцами; $\omega_z(t)$ - перемещения вдоль оси z в блоке с упругоподатливыми связями на торцах, которые определены из уравнений теории упругости исходя из равенства перемещений торцовых сечений блока и связей при изменениях температуры средних по сечению:

$$\omega_x(t) = \alpha \left[1 - \frac{1}{1 + (E(t)F_o / F_c(t)F_c)} \right] z \Phi_{cp}. \quad (6)$$

Из формулы (5) при $z = l$ получена зависимость для определения напряжений на торцах блока:

$$\sigma_z(x, y, t) = \sigma_3(x, y, t) + [\sigma_{c6}(x, y, t) - \sigma_3(x, y, t)] K_n \quad (7)$$

Для того чтобы оценить влияние торцов на напряженное состояние, выполнены расчеты по (5). Принимая возраст «блоков-связей» в момент укладки бетона равным 3, 10, 20 суток, рассчитаны напряжения при равномерном разогреве от экзотермии, возникающие в сечениях $\xi = 0,5$; $0,75$ блока $l/2$, защемленного в основание. Здесь $\xi = z/l$; z - ордината, отсчитываемая от центра блока вдоль его длины, равной $2l$; l - половина длины блока. Некоторые результаты приведены в таблице. Напряжения длины в долях от $\alpha E(t)\Phi(t)$.

Анализ полученных данных показывает, что возраст соседних блоков оказывает влияние на напряженное состояние бетона. Чем больше возраст «блоков-связей», тем большей жесткостью они обладают, следовательно, менее податливы, а величины напряжений в расчетном блоке близки к напряжениям в блоке с защемленными торцами.

Таблица

Напряжения, возникающие в различных сечениях блока,

защемленного по основанию, при различных условиях заделки
по торцам (в долях от $\alpha E(t)\Phi(t)$)

№ пп.	Условия на торцах	Возраст «блоков- связей», сут.	$\xi = 0,5$		$\xi = 0,75$	
			на по- верх- ности	в ос- но- вания	на по- верх- ности	в ос- но- вания
1.	Свободные торцы	-	+0,010	-0,950	-0,270	-0,990
2.	Упруго- податливые	3	+0,317	-0,946	-0,231	-1,110
		10	+0,443	-0,943	-0,219	-1,120
		20	+0,465	-0,942	-0,205	-1,150
3.	Жесткозащем- ленные торцы	∞	+0,540	-0,940	-0,200	-1,170

Примечание: + растяжение; - сжатие.

Заключение

1. Выполненные расчеты позволили выявить зону влияния податливости торцов на напряженное состояние защемленных по основанию блоков. Эта зона ориентировочно составляет $0,25l$;

2. Результаты расчетов напряжений в блоках с учетом упругоподатливых связей на торцах показали, что напряжение в них отличны от тех, которые возникают в блоках с защемленными торцами или свободных. Это необходимо учитывать при назначении мероприятий по регулированию температурного режима для обеспечения трещиностойкости конструкции.

Литература

1. Фрид С.А. Температурные воздействия на гидротехническое сооружение в условиях Севера [Текст] / С.А. Фрид, Д.П. Левених. -Л.: Стройиздат, 1978. -200 с.

2. Лицкевич В.К. Жилище и климат [Текст] / В.К. Лицкевич. -М.: Стройиздат, 1984. -288 с.

3. Александровский С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменение температуры и влажности с учетом ползучести [Текст] / С.В. Александровский. -М.: Стройиздат, 1973. -С.432.

4. Бурцева О.А. Моделирование напряженного состояния арматурных стержней, применяемых при производстве преднапряженных железобетонных конструкций / О.А. Бурцева, Е.Е. Косенко, В.В. Косенко, В.В. Нефедов, А.В. Черпаков [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2011, №4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/549> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

5. Микульский В.Г. Строительные материалы (материаловедение): Учеб. изд. [Текст] / В.Г. Микульский, Г.И. Горчаков, В.В. Козлов и др. -М.: Изд-во АСВ, 2004. –536 с.

6. Рамачандран В. Наука о бетоне. Физико-химическое бетоноведение / В.Рамачандран. Р.Фельдман, Дж.Боуэден / Пер. с англ. Т.И.Розенберг, Ю.Б. Ратиновой. -М.: Стройиздат, 1986. –280 с.

7. Виноградова Е.В. Проблемы качеством бетонных работ / Е.В. Виноградова [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №3. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/1001> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

8. Кобулиев З.В. Энерго- и ресурсосберегающие материалы на основе минерального и растительного сырья: Монография [Текст] / З.В. Кобулиев, С.Э. Якубов / Под ред. Шарифова А. -Душанбе: Ирфон, 2006. -206 с.

9. Kobuliev Z.V. Modeling of process of karring heat and account of heat conductivity of composite materials [Text] / Z.V. Kobuliev, A.Sh. Sharifov, M.M. Safarov // ICCE/6, Sixth annual international conference on composites engineering. – Orlando, Florida, 1999. - P.761-762.

10. Wang G.S. Plastic deformation of composite materials [Text] / G.S. Wang, Z.Z. Zheng, L. Geng, D.Z. Wang, C.K. Iao // JCCE/7. -July 2-8, 2000, Denver, Colorado. -P. 905.

