

без фибры;  $\mu_f$  — теоретический объемный коэффициент фибрового армирования.

Испытания балочек на изгиб показали, что с увеличением содержания фибры их прочность повышается в 1,8 раза по сравнению с балочками без фибрового армирования; трещины образуются не в момент разрушения, а несколько раньше, и деформации растянутой грани непосредственно перед разрушением выше при большем проценте фибрового армирования.

Опытная прочность фибробетона на растяжение определялась по результатам обработки испытаний несколькими способами. Во-первых, по стандартной методике, как для чисто бетонного сечения, находили

$$R_{bt1}^f = 0,58 (M/M_0),$$

где  $M_0$  определяли относительно нижней грани.

Кроме того, устанавливали прочность растянутого слоя фибробетона  $R_{bt2}^f$  обратным путем, считая известной толщину слоя с фиброй  $h_f$  и используя расчетную эпюру напряжений [1]. И, наконец, вычисляли теоретическое значение  $R_{bt3}^f$  по [1], используя опытные характеристики материалов:

$$R_{bt3}^f = k_d \mu_{сн}^f R_{sf} \left(1 - \frac{l_{ан}}{l_f}\right) + R_b (0,08...5,5 \mu_{сн}^f).$$

Полученные результаты показали, что теоретические значения  $R_{bt3}^f$ , рассчитанные по [1], так же как и прочность фибробетона при сжатии, оказались выше опытных. Коэффициент, учитывающий влияние ориентации фибр по отношению к направлению действующего усилия при растяжении, можно принять постоянным ( $k_d = 0,5$ ).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по проектированию и изготовлению сталефибробетонных конструкций. — М., 1986. — 83 с.

УДК 624.075

Л.Н.ЗИКЕЕВ, С.Н.ЛЕОНОВИЧ

### СВОЙСТВА И СТОЙКОСТЬ ЦЕНТРИФУГИРОВАННОГО БЕТОНА ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ ЗАМОРАЖИВАНИИ И ОТТАИВАНИИ

В работе, которая проводится кафедрой "Железобетонные и каменные конструкции" Белорусского политехнического института и НИИЖБ Госстроя СССР, разработана методика испытания центробежного бетона на морозостойкость и получены некоторые результаты исследований влияния на прочность и деформативные свойства центрифугированного бетона при цикли-

ческом замораживании и оттаивании (ЦЗО) и воздействии агрессивной среды добавок к бетону суперпластификатора С-3 и комплексного модификатора С-3 + ПАЩ-1. Кроме того, разрабатывается ультразвуковой импульсный метод для определения морозостойкости бетона центробежного формования.

Теоретической предпосылкой для применения С-3 явилось существенное увеличение морозостойкости бетона с пониженным В/Ц в результате уплотнения структуры, уменьшения капиллярной пористости пропорционально снижению объема воды затворения, а также в некоторой степени из-за увеличения объема замкнутых пор, связанного с воздухововлечением.

Испытанию подвергались образцы кольцевого сечения с наружным диаметром 500 мм, высотой  $h = 500$  мм, толщиной стенки  $\delta = 60..80$  мм, что было связано с необходимостью создания структуры, характерной для центрифугированного бетона [1, 2], а также для обеспечения условия  $h/\delta \geq 4$ .

Была принята следующая методика ускоренных испытаний. Опытные образцы в течение 96 ч насыщались 5 %-м раствором хлористого натрия, после чего замораживались в течение 6 ч в холодильной камере СТБВК-8000 до температуры  $-50^\circ\text{C}$  в середине стенки образца. В камере они выдерживались в течение 15 ч, после чего производилось их оттаивание в течение 1,5 ч в 5 %-м растворе NaCl до достижения температуры  $+15^\circ\text{C}$  и 1,5 ч на воздухе при комнатной температуре во время взвешивания и снятия показаний по приборам.

Причиной ускоренного разрушения бетона при охлаждении и действии раствора хлористого натрия, в том числе и при первоначально невысокой его концентрации, является не только усиление химического действия NaCl на контакты цементного камня в микрокапиллярах структуры, но и физические процессы, возникающие при оттаивании солевого раствора, если охлаждение проводилось до  $-50^\circ\text{C}$ , т.е. ниже эвтектической точки [3]. Длительное выдерживание образцов при отрицательной температуре в камере было предусмотрено, чтобы не допустить самозалечивания центрифугированного бетона при долгом оттаивании на воздухе или в растворе соли и тем самым ускорить испытания [4].

Для оценки температурного поля в бетоне и скорости его изменения в средней части образца на различной глубине по толщине стенки были установлены шесть хромель-копелевых термопар. Температурные градиенты, зафиксированные по толщине стенки при ЦЗО автоматизированным потенциометром КСП-4, могут приводить к температурным деформациям и развитию температурных напряжений, в результате чего образуются трещины, что и было частично подтверждено в ходе эксперимента. На наш взгляд, этот процесс может интенсифицироваться за счет послойной неоднородности свойств центрифугированного бетона [2].

При ультразвуковых испытаниях прибором "Бетон-12" сквозное прозвучивание стенки центрифугированного образца после его оттаивания осуществлялось в 9–12 точках, а при послойном прозвучивании – в 6–8 точках.

По результатам измерений для каждой серии находилась наименьшая продолжительность распространения ультразвука  $t_m$ , определялось число циклов замораживания и оттаивания, при котором было зафиксировано время распространения ультразвука, и выбиралось наибольшее из них  $N_m$ .

Результаты ультразвуковых измерений по каждому образцу при числе циклов  $N$ , большем  $N_m$ , нанесены на график в координатах  $\lg(t-t_m)$  –

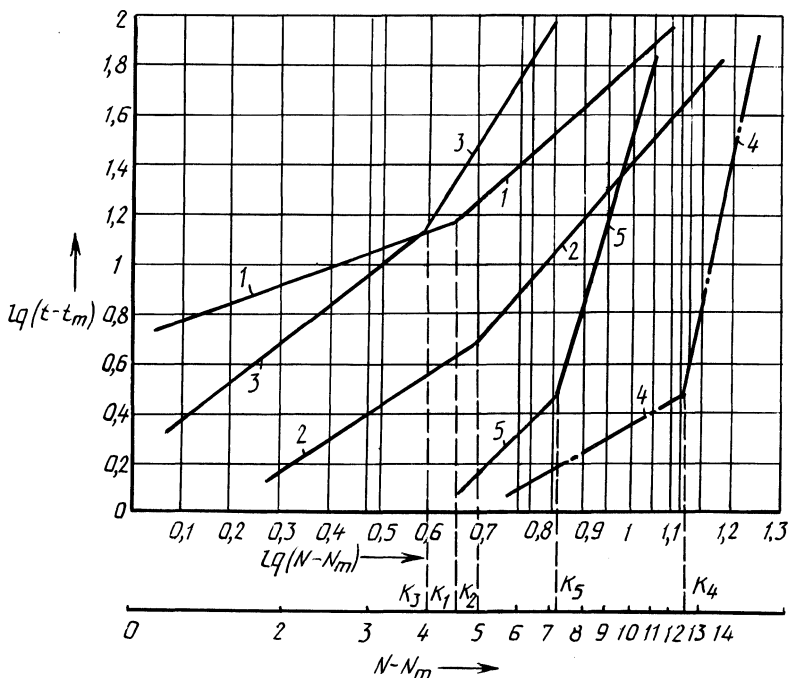


Рис. 1. График  $\lg(t-t_m) - \lg(N-N_m)$ :  
 1 – серия КЦ 1-1, 2 – КЦ 1-2; 3 – КЦ 1-4; 4 – КЦ 3; 5 – КЦ 4

$\lg(N-N_m)$  (рис. 1). По нему определяли абсциссу  $K$  точки перелома.

Критическое число циклов замораживания и оттаивания для образцов всех серий определялось по формуле

$$M = N_m + K.$$

Полученные значения  $M$  (табл. 1) для образцов различных серий удовлетворительно сопоставимы с результатами испытаний центрифугированных грубчатых образцов после ЦЗО на кратковременное сжатие до разрушения (рис. 2).

Табл. 1. Значения критического числа циклов замораживания и оттаивания при  $-50^\circ\text{C}$  и насыщении 5%-м раствором  $\text{NaCl}$

Серия центрифугированных образцов	Добавка	Содержание добавки, % (по массе цемента)	$N_m$	$K$	$M$
КЦ 1-1	—	—	2	5	7
КЦ 1-2	—	—	2	5	7
КЦ 1-4	—	—	1	4	5
КЦ 3	С-3	0,7	14	13	27
КЦ 4	С-3+ПАЩ-1	0,7+0,3	12	7	19

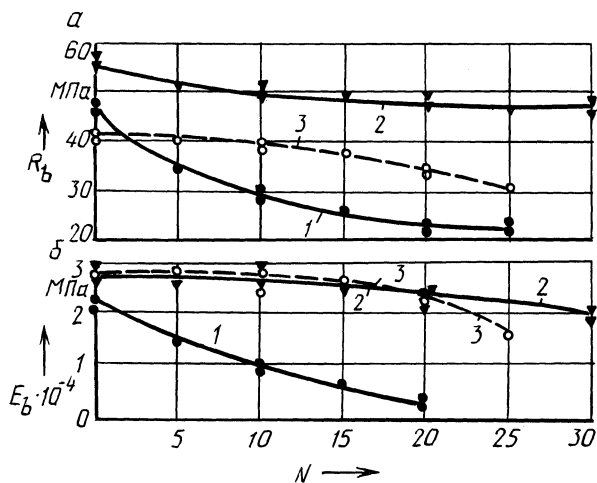


Рис. 2. Изменение призмной прочности  $R_b$  (а) и модуля упругости  $E_b$  (б) бетона в процессе циклического замораживания и оттаивания:  
1 — серия КЦ 1-4; 2 — КЦ 3; 3 — КЦ 4

В настоящее время дополнительно проводятся исследования на призмах, выпиленных из центрифугированных элементов кольцевого сечения, с целью создания более простого способа оценки морозостойкости ультразвуковым методом. Испытываются вибрированные кубы того же состава для определения соответствия марки бетона по морозостойкости (ГОСТ 10060-76) контрольному критическому числу циклов замораживания и оттаивания при замораживании до  $-50^{\circ}\text{C}$  и насыщении 5 %-м раствором NaCl.

Приведенные результаты экспериментов позволяют сделать вывод о более высокой стойкости при ЦЗО центрифугированного бетона с суперпластификатором С-3 и комплексным модификатором по сравнению с контрольным составом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А х в е р д о в И.Н. Железобетонные напорные центрифугированные трубы. — М., 1967. — 164 с. 2. П е ц о л ь д Т.М. Физико-механические характеристики центрострежного бетона // Стр-во и архитектура Белоруссии. — 1983. — № 1. — С. 30-31. 3. Морозостойкость бетонов, подвергающихся действию агрессивной солевой среды / Ф.М.Иванов, Г.С.Рояк, В.С.Гладков, А.С.Бакланов // Гидротехн. стр-во. — 1966. — № 2. — С. 13. 4. И в а н о в Ф.М., П о л ь к о в Б.И. Самозалечивание и стойкость гидротехнического бетона // Гидротехн. стр-во. — 1974. — № 9. — С. 32-35.