

Влияние статической нагрузки на прочность бетона

Бондарович А. И., Батяновский Э. И.
Белорусский национальный технический университет

Поведение бетона под сжимающей статической нагрузкой, проявляющиеся при этом упругие и пластические деформации, развивающиеся в процессе загрузки и при длительном воздействии нагрузки, достаточно детально изучены для конструктивных бетонов различной прочности, составов и видов (О.Я. Берг, работы его научной школы). Влияние же возникающих под действием нагрузки необратимых деформаций, проявляющихся в образовании дефектов в объеме цементного камня в бетоне, на его эксплуатационные свойства по существу не изучено. Отсутствуют данные об уровнях нагрузки, превышение которых вызывает появление необратимых нарушений структуры в виде микротрещин, развивающихся со временем в существенные дефекты, провоцирующие снижение сопротивляемости бетона агрессивному воздействию эксплуатационной среды. По существу нет системных данных о влиянии многократно приложенной нагрузки различного уровня на возможные изменения, например, морозостойкости, водонепроницаемости, изменений в количестве поглощаемой бетоном воды. В результате не представляется возможным на основании имеющейся в технической литературе информации обосновать роль и степень влияния механических нагрузок на эксплуатационные свойства бетона.

Циклически или многократно повторяющаяся статическая механическая нагрузка приводит со временем к снижению прочности бетона. Этот отрицательный эффект прямо зависит от уровня нагрузки и числа циклов ее воздействия. Так, примерно равное снижение прочности образцов бетона естественного твердения (как цементно-песчаного, так и содержащего крупный заполнитель) наблюдается при нагрузке ~ 50 % от проектной прочности бетона (соответственно: 23 МПа и 27 МПа) к 70 циклам; при нагрузке ~ 70 % от f_{c28} (соответственно: 32 МПа и 37 МПа) к 40...50 циклам; при нагрузке ~ 90 % от f_{c28} (соответственно: 41 МПа и 48 МПа) к 4...5 циклам "сжатия-отпуска" (сброс нагрузки). Очевидно «лавинοобразное» нарастание дест-

рукции бетона при переходе нагрузки за предел в 70 % от проектной прочности бетона. Одновременно с тем, налицо способность бетона к длительному сопротивлению сжимающей статической периодически прикладываемой нагрузки в пределах 30...40 % от ее проектных значений (соответственно равной 14...18 МПа и 16...21 МПа). Снижение прочности бетона к 70 циклам испытаний составило менее 10 %, а (по данным, не вошедшим в табл. 1) снижение на ≥ 20 % соответствовало более чем 120 циклам «сжатия-отпуска».

Полученные экспериментальные данные согласуются с теоретическими представлениями о поведении тяжелого бетона под механической нагрузкой, сформировавшимся в 60-70-ых годах прошлого века, и наиболее детально рассмотренных в исследованиях О.Я. Берга.

Согласно этой теории при нагружении бетона механической нагрузкой его состояние и способность сохранять «целостность» структуры и несущую способность связано с двумя параметрическими точками: f_T^o , или нижней границей трещинообразования, и f_T^V , или верхней границей трещинообразования. Напряжения, не превышающие уровень нижней границы трещинообразования f_T^o , не опасны для бетона при многократном приложении нагрузки или ее постоянном действии. В случае, если многократно повторяющаяся нагрузка находится в пределах $f_T^o < f_c < f_T^V$, то имеет место накопление «усталости» бетона и образец со временем разрушается. Естественно, что при уровне нагрузки и, соответственно, напряжений в бетоне для случая, если $f_c > f_T^V$, разрушение происходит ускоренно. Причины постоянного (или ускоренного) разрушения бетона видят в образовании микротрещин, за пределами напряжений, превышающих f_T^o , которые под действием повторяющейся нагрузки «развиваются» в макродефекты структуры, приводящие к необратимым деструктивным явлениям и потере прочности бетона.

Уровень статической нагрузки, %от f_{c28}	Прочность бетона, МПа, после числа циклов «сжатие-отпуск», циклы:											
	0*	1	2	3	4	5	10	20	30	40	50	
<i>Естественные условия твердения (под пленкой)</i>												
30	45**	-	-	-	-	45	46	45	44	44	43	
	53***	-	-	-	-	53	53	54	52	52	53	
50	45	-	-	-	-	45	45	43	43	43	40	
	53	-	-	-	-	53	53	52	51	50	49	
50****	43	-	-	-	-	43	42	40	38	37	35	
	52	-	-	-	-	52	52	50	48	47	45	
70	45	-	-	-	-	45	45	42	39	36	-	
	53	-	-	-	-	53	53	51	49	45	40	
70****	43	-	-	-	-	43	41	37	33	-	-	
	52	-	-	-	-	52	51	48	44	39	-	
90	45	44	42	40	38	35	-	-	-	-	-	
	53	52	50	48	45	42	-	-	-	-	-	

в возрасте 28 сут.; ** мелкозернистый бетон; *** бетон со щебнем; **** в водонасыщенном состоянии.

Таблица 1 Влияние статистической нагрузки на прочность бетона при циклическом нагружении

Согласно имеющимся в технической литературе данным о действии долговременной нагрузки на бетон, заметные изменения в его структуре и несущей способности отсутствуют примерно до ее уровня: до 65 % от значения призмной прочности бетона. Учитывая, что по данным О.Я. Берга $f_{c.np.} \sim 0,783 f_{c.cube}$ (кубиковая прочность бетона), то уровень безопасных для бетона напряжений будет примерно соответствовать: $0,65 \times 0,783 f_{c.cube} \sim 50\% f_{c.cube}$. В то же время нижняя граница трещинообразования по данным О.Я. Берга соответствует: $f_T^o \sim 0,46 f_{c.np.}$, или в пересчете на кубиковую прочность бетона: $0,45 \times 0,783 f_{c.cube} \approx 36\% f_{c.cube}$, то есть, 30...40 % от уровня «кубиковой» прочности бетона. Верхняя граница трещинообразования f_T^V характеризует уровень напряжений, при которых имеет место необратимое развитие и «раскрытие» трещин в объеме бетона. По разным данным их значения соответствуют 60...70 % от уровня прочности бетона на сжатие.

Таким образом, полученные нами экспериментальные данные соответствуют важнейшим теоретическим представлениям, связывающим процессы трещинообразования в бетоне под действием статической механической нагрузки с изменением его прочности. То есть, они с полным основанием могут служить базой и для оценки соответствующих изменений эксплуатационных свойств бетона.

Из полученных данных следует важный вывод: циклически действующая статическая механическая нагрузка, превышающая уровень 40...50 % от проектной прочности бетона и вызывающая соответствующие знакопеременные деформации материала, воздействует на его структуру практически так же, как и попеременное замораживание-оттаивание или циклическое насыщение-высушивание. Во всех этих случаях со временем образуются микротрещины, которые постепенно развиваются в макронарушения структуры бетона, приводящие к снижению его прочности.