

Эффективные водонепроницаемые бетоны нового поколения для морских и речных ГТС

**к.т.н. Титова Л.А.,
НИИЖБ им. А.А. Гвоздева
НИЦ «Строительство»**

На сегодня разработано много строительных материалов, которые могут обеспечить то или иное требование к конструкциям. В наиболее полной мере получение заданных характеристик возможно основным строительным материалом современности – бетоном.

Основные достоинства бетона как конструкционного строительного материала хорошо известны. К недостаткам обычного бетона следует отнести сравнительно невысокую, по сравнению со сжатием, прочность при растяжении, явление усадки цементного камня в процессе твердения бетона, а при эксплуатации конструкций морских и речных сооружений - снижение их долговечности.

Проблеме долговечности бетона посвящено много исследований в нашей стране и за рубежом. Одним из способов повышения долговечности конструкций является применение напрягающего бетона.

Среди большой гаммы бетонов напрягающий бетон занимает особое место. Это материал с уникальными свойствами, конкурирующими по ряду показателей с керамикой и полимерами. Поэтому напрягающий бетон на конгрессе ФИП в Вашингтоне еще в 1997 году был определен материалом XXI века.

Применение такого бетона позволяет за счет регулируемого расширения в процессе твердения нейтрализовать проявление усадки и создать в железобетонной конструкции напряжение всей находящейся в ней растягиваемой при этом (за счет сцепления с бетоном) арматуры и получать собственное обжатие (самонапряжение) бетона без дополнительных операций и

использования специальных машин и оборудования. В результате повышается трещиностойкость конструкции. У этого бетона повышенная прочность на растяжение и лучшее сцепление со старым бетоном.

По величине самонапряжения напрягающие бетоны классифицируются на бетоны с компенсированной усадкой (S_p от 0,6МПа до 1,0МПа) и напрягающие (S_p от 1,0МПа до 4,0МПа).

Механизм твердения напрягающего бетона основан на создании направленного кристаллообразования в твердеющем цементном камне и обеспечении тем самым регулируемого объема расширения, которое происходит в пластической структуре материала, при этом в условиях ограничения расширения развивается самонапряжение, компенсирующее растягивающее напряжение.

В таких бетонах в качестве вяжущего применяется напрягающий цемент, состоящий из портландцемента и расширяющего компонента (расширяющей добавки). В настоящее время расширяющая добавка может выпускаться как самостоятельный продукт и, как показал зарубежный и российский опыт, может быть использована для получения бетонов с компенсированной усадкой и напрягающих.

При этом процесс приготовления бетонной смеси и изготовления из нее конструкций принципиально не отличается от обычной технологии бетонных работ. В настоящее время выпущен нормативный документ на напрягающий бетон (ГОСТ 32803).

Конструкции из напрягающего бетона выполняют функции несущих конструкций и гидроизоляционного ковра, поэтому согласно СП 70.13330 могут выполняться без любой гидроизоляции.

Благодаря введению расширяющей добавки в бетонную смесь появляется возможность регулировать свойства бетона уже в процессе его приготовления (таблица 1), а также регулировать структуру образования бетона (таблица 2).

Для приготовления бетонной смеси были использованы следующие материалы:

- портландцемент ЦЕМ 142,5Н, ГОСТ 30515, ОАО «Мальцовский ПЦ»;
- расширяющая добавка – ТУ 5743-023-46854090-98, ООО «Триол»;
- гранитный щебень фракции 5÷20мм, ГОСТ 8267, ООО «КарелИнвест»;
- песок, ГОСТ 8736, изготовитель – ЗАО «Багаевский карьер»;
- пластифицирующие и противоморозные добавки по ГОСТ 24211.

Таблица 1

Физико-механические свойства бетонов при изменении количества РД

№№ п/п	Состав вяжущего		Самонапряжение, МПа			Расширение, %			Прочность при сжатии, МПа			Водоне- проница- емость, W _{ати} 28с.	Морозо- стой- кость, марка Зс.
	ПЦ	РД	Зс.	14с.	28с.	Зс.	14с.	28с.	Зс.	14с.	28с.		
1	100		-	-	-	-	-	-	22,4	34,1	49,4	8	250
2	95	5	0,2	0,4	0,7	0,04	0,08	0,06	23,1	34,1	52,2	14	300
3	90	10	0,6	0,9	1,2	0,07	0,11	0,20	28,1	37,8	56,4	14	300
4	85	15	0,7	1,4	1,6	0,10	0,20	0,30	27,1	39,2	56,4	18	400
5	80	20	0,9	1,6	2,0	0,12	0,24	0,36	24,1	39,8	56,6	20	500

Как видно из данных таблицы показатели бетонов меняются при изменении количества расширяющей добавки: уже при введении 5% добавки в состав вяжущего увеличивается прочность, водонепроницаемость и морозостойкость бетона.

При оценке структуры бетонов с компенсированной усадкой и напрягающих необходимо учесть, что этот бетон в строительных конструкциях всегда находится в условиях упругого ограничения деформации расширения. Полученная структура склонна к пластическим деформациям, но не к образованию трещин, поэтому при расширении в бетоне постепенно

приложенные нагрузки не приводят к их образованию, а микротрещины кальматируются продуктами новообразований, в результате самонапряжения, возникающее в бетоне, служит улучшению его структуры.

Поровое пространство бетона характеризуется интегральными и дифференциальными показателями. По интегральным показателям (полная, открытая или условно замкнутая пористость) можно только приблизительно судить об ожидаемой деформативности бетона. Наиболее полное представление о свойствах бетона можно получить, имея кроме интегральных показателей еще и дифференциальные показатели пористости, которые в соответствии с ГОСТ 12730.4 характеризуются показателями среднего размера пор (λ) и однородности размера пор (α). Интегральную пористость (W_o) определяли по кинетике водонасыщения.

Таблица 2

Характеристики структуры различных бетонов

Вид бетона и вяжущего	Класс бетона	Водопоглощение		Пористость	
		по массе, $W_m, \%$	по объему $W_o, \%$	λ	α
Обычный на ПЦ	B25	5,2	9,2	1,23	0,96
	B40	4,35	7,4	0,98	0,84
С компенсированной усадкой на РД	B25	4,65	7,4	0,69	0,83
	B40	3,66	6,98	0,68	0,81
Напрягающий на РД	B25	4,18	6,9	0,66	0,81
	B40	3,04	6,3	0,5	0,76
Напрягающий на НЦ	B40	4,32	6,93	0,69	0,8

Оценивая структуру бетона по показателям пористости, можно сделать вывод, что введение расширяющей добавки в состав вяжущего (при прочих равных условиях) способствует улучшению структуры бетона за счет уменьшения среднего размера пор и количества открытых пор, доступных для

воды. Полученные свойства напрягающих бетонов позволили рекомендовать их для возведения гидротехнических конструкций.

Напрягающий бетон ранее был применен при возведении емкостных сооружений (бассейнов, резервуаров) как монолитных, так и сборно-монолитных, в подземных конструкциях жилых и общественных зданий. В настоящее время напрягающий бетон предполагается применять при возведении трубобетонных конструкций опор мостов, укреплений набережных, подземных конструкций портовых сооружений и др.

Для оценки возможности применения напрягающих бетонов в таких сооружениях проводились исследования коррозионной стойкости этого бетона при воздействии морской воды соленостью 3-х кратной концентрации.

Введение расширяющей добавки в бетонную смесь обеспечивало образование ГСАК в начальный период при полном связывании оксидов алюминия и ангидрида серной кислоты (массовая доля Al_2O_3 и $SO_3 - 1,3:1$).

Бетон в самонапряженных конструкциях может находиться как в условиях одноосного, так и двуосного ограничения деформаций расширения, поэтому исследования при испытании в морской воде (для зоны подводного уровня) проводили как на образцах-призмах (одноосное ограничение), так и образцах – кольцах (двуосное ограничение, см. таблицу 3).

Таблица 3

Физико-механические свойства бетона в морской воде

№№ п/п	ПЦ, %	РД, %	Вид ограничения деформаций	Прочность, МПа, в возрасте		Самонапряжение, МПа	
				28	200	28	200
1	100	0	-	32	28	-	-
2	80	10	одноосное	34	36,5	0,8	1,1
3	80	10	двуосное	38	39	1,2	1,32
4	НЦ Подоль- ского завода	-	одноосное	33	34,3	1,0	1,08
			двуосное	36	37	1,1	1,15

Результаты анализа развития прочности и самоупругения показали, что в возрасте 200 суток наблюдается прирост физико-механических свойств самоупругающего бетона. Бетон при воздействии морской воды уплотняется вследствие образования ГСАК, обладая при этом мелкопористой и диффузионно-непроницаемой прочной структурой. Незначительный прирост самоупругения и прочности при воздействии морской воды позволяют рекомендовать такой бетон в подводной части.

Наиболее частые разрушения морских сооружений наблюдаются в зоне переменного уровня воды, где к химическому взаимодействию солей добавляется совместное и взаимоускоряющее действие физических факторов.

В зоне переменного уровня морских сооружений свойства (самоупругение и расширение) самоупругающих бетонов могут изменяться при высушивании и увлажнении материала при периодическом погружении конструкций в минерализованную воду. Для данного вида испытания был выбран следующий цикл: высушивание при $t = +35^{\circ}\text{C}$ – 16 часов и увлажнение в морской воде – 8 часов. Изменения самоупругения самоупругающего бетона класса В30 представлены на рис.1 и рис.2. При испытании до 300 циклов самоупругение увеличилось на 20%. Стабилизация самоупругения и расширения произошла при 250 циклах. Кривые изменений самоупругения и деформаций имеют в основном один и тот же характер, что связано с накоплением солей в порах поверхностного слоя бетона при взаимодействии с морской водой.



Рис. 1

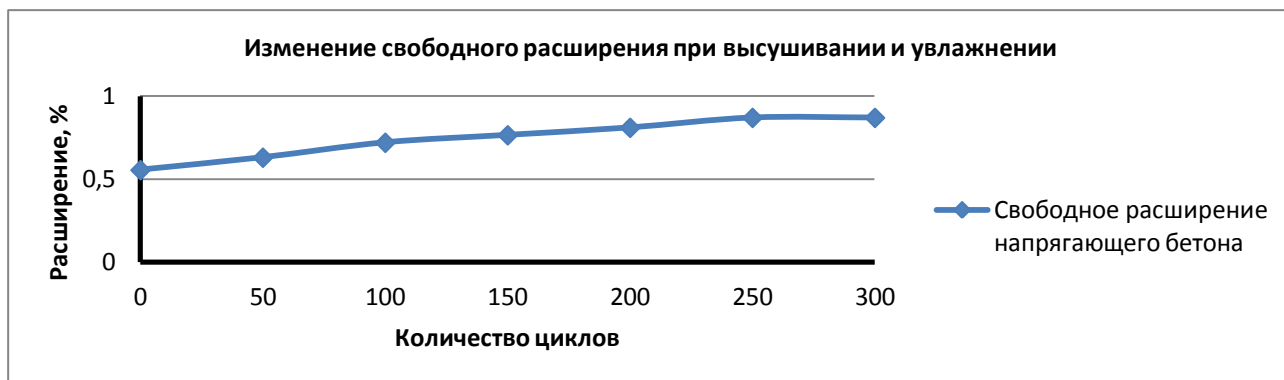


Рис. 2

При оценке морозостойкости бетона конструкций в зоне переменного уровня оценивалось изменение самонапряжения, как основной характеристики напрягающего бетона. Замеры самонапряжения проводились через каждые 50 циклов замораживания и оттаивания в морской воде (рис.3). Как видно из графика, самонапряжение увеличилось на 27%, а при дальнейших испытаниях снизилось на 50%, что свидетельствует об интенсивном развитии свободных деформаций в поверхностном слое конструкций и спаде прочности.

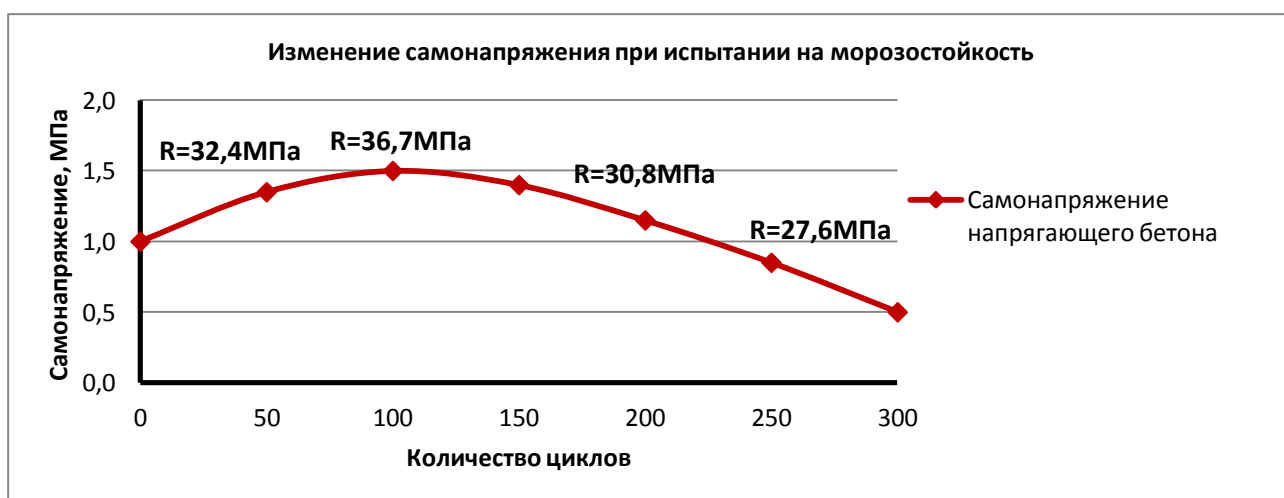


Рис. 3

Создание в поверхностном слое максимально плотной структуры с высоким сопротивлением деформациям было получено путем дисперсного армирования базальтовым волокном (6% объема). Как видно на рис.4 при испытании на морозостойкость (при замораживании и оттаивании в морской воде) величина самонапряжения увеличивается на 22% в первые 100 суток, затем стабилизируется и не изменяется при дальнейших испытаниях.

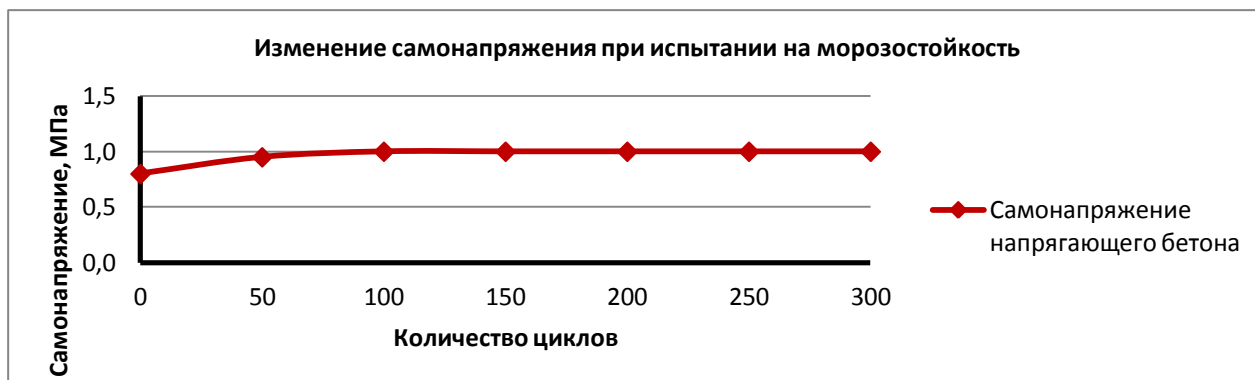


Рис. 4

В натуральных условиях Черного и Баренцева морей были организованы испытания опытно-промышленных конструкций самонапряженных плит размером 3000 x 1200 x 160мм с применением базальтового волокна и без дисперсного армирования при оценке прочности.

Прочность бетона в возрасте 16 месяцев определялась в соответствии с ГОСТ 22690 и составляла в плитах без использования базальтового волокна – 40,6МПа при испытании (прирост прочности по сравнению с проектной величиной составил 12%). В плитах с базальтовым волокном прочность составила 51,6МПа. Следов разрушения в этих плитах не обнаружено, однако у плит без дисперсного армирования наблюдалось разрушение кромок.

Представленные результаты исследований показали, что напрягающий бетон различного состава может быть использован для гидротехнических конструкций морских и речных ГТС.

Экономический эффект может быть получен за счет отказа от гидроизоляции в ряде конструкций и составил от 400 до 2500 руб. на куб бетона. При этом сокращаются сроки строительства, увеличивается срок межремонтных работ, долговечность конструкций увеличивается в 1,5 раза.