

## МОДИФИЦИРОВАННЫЕ БЕТОНЫ ДЛЯ ТОНКОСТЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА

Мишутин А.В., Гапоненко Е.А., Кровяков С.А. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

**Проаналізовано вплив середовища на бетон тонкостінних конструкцій водогосподарчого комплексу. Показано, що знизити градієнти деформацій можливо за рахунок створення структури із зниженої загальною пористістю. Досягнути цього дозволяє введення пластифікатору разом з кольматуючою добавкою і наповнювачем. Перерозподілити деформації за об'ємом дозволяє армування фіброю. Отримані модифіковані бетони та фібробетони підвищеної довговічності.**

Южный регион Украины имеет развитую инфраструктуру сооружений водохозяйственного назначения – каналы, шлюзы, насосные станции, водопропускные сооружения. Гидротехнические сооружения строились преимущественно как массивные, но с 70-х годов прошлого века широкое применение нашли тонкостенные железобетонные конструкции толщиной 8-16 см [1]. Распространение тонкостенных гидротехнических конструкций обусловлено их низкой материалоемкостью и простотой монтажа, однако в сложных условиях эксплуатации актуальной остается проблема разрушения бетона таких конструкций под действием напорного действия воды, а также замораживания и оттаивания. То есть основными показателями, обеспечивающими долговечность тонкостенных конструкций водохозяйственного назначения в климатической зоне Украины являются водонепроницаемость и морозостойкость бетона.

Проведенные обследования бетона стенок каналов и водопропускных сооружений показали, что наибольшая глубина повреждений наблюдается в зоне переменного увлажнения и высушивания. Типичные примеры разрушения бетона гидротехнических сооружений мелиорации показаны на рис.1.

Проанализирован механизм формирования локальных и интегральных температурно-влажностных деформаций в бетоне и конструкциях тонкостенных гидротехнических сооружений. Изменение влагосодержания в материале вызывает индивидуальное развитие влажностных деформаций в каждом сечении конструкции [2]. При этом материал претерпевает деформации набухания в подводной зоне, которые переходят в деформации усадки в верхней зоне, что вызывает неравномерное распределение влажностных деформаций по высоте изделия. Так как уровень воды может изменяться, это приводит к изменению величины и даже направления действия влажностных деформаций. В материале конструкции возникают «волны» влажностных деформаций, которые протекают как вдоль, так и по сечениям изделия.



Рис.1. Примеры разрушения бетона гидротехнических сооружений мелиорации

Наиболее опасна с точки зрения частой смены влажностных деформаций зона переменного уровня воды. Формирование интегральных «волн» деформаций в значительной степени определяется капиллярно-пористой структурой материала. В качестве объекта анализа примем конусный капилляр (рис.2.а). При заполнении капилляра водой образуется мениск, радиус которого определяется радиусом капилляра и его смачиваемостью. Исследования многих авторов показали, что при этом возникает капиллярное давление  $P_k$ ,

которое давит на материал стенок капилляра, что вызывает общую усадку. Предположим, что под действием капиллярного давления стенки капилляра раздвигаются на величину  $2\Delta a$ , рис.2.б. В этом случае увеличивается объем капилляра, что ведет к снижению давления в участке незаполненном водой. Снижение давления ведет к миграции влаги с окружающего материала как капиллярно-пористого тела и ее «накоплению» в устье капилляра. Также увеличение капилляра ведет к увеличению радиуса мениска, что снижает капиллярное давление. В это время, за счет накопления влаги в устье капилляра формирует мениск с радиусом  $r_2$ , который меньше радиуса  $r_1$ . В устье капилляра возникает капиллярное давление  $P_K^2$ , которое позволяет капилляру «схлопнуться» и вызывает, с учетом проявления «эффектов Ребиндера», увеличение длины капилляра до  $l_1$ . Дальнейшее насыщение капилляра водой вызывает расклинивающее действие воды и ведет к увеличению объема капилляра и общему увеличению объема материала.

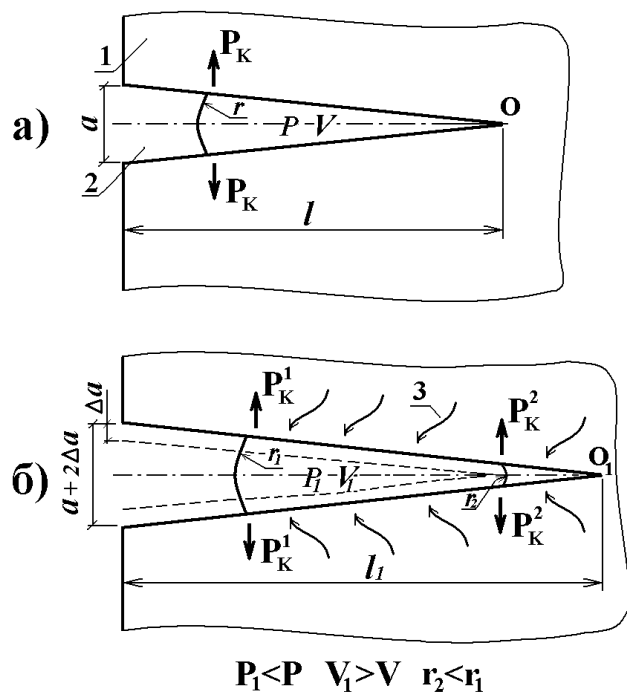


Рис.2. Схема изменения геометрических характеристик капилляра.

а – модель капилляра;

б – внутренний влагоперенос при изменении геометрических параметров капилляра.

1 – матричный материал;

2 – капилляр;

3 – направление миграции влаги из матричного материала в капилляр;

$r_1, r_2$  – радиусы менисков;  $P_K, P_K^1, P_K^2$  – капиллярное давление;

$l, l_1$  – длина капилляров;

$V, V_1$  – объем капилляров.

В бетоне присутствуют капилляры различных размеров с различными радиусами, что вызывает взаимодействие расположенных рядом капилляров при заполнении водой. В случае параллельного расположения капилляров различного размера уровень жидкости в них будет различным с разными радиусами менисков, что вызовет не равные по величине и месту приложения давления ( $P_1 \neq P_2$ ). Можно заключить, что несовпадение капиллярного давления для параллельных капилляров с различными радиусами может привести к развитию деформаций сдвига. В случае взаимодействия капилляров одного размера, но различной ориентации могут возникать деформации сдвига. Возникающие деформации могут быть причиной нарушения целостности материала. Таким образом, изменение геометрии индивидуального капилляра и взаимодействия капилляров при различии их геометрических характеристик способствуют изменению капиллярно пористой структуры материала и накоплению остаточных деформаций, что вызывает деструкцию бетона.

То есть в процессе эксплуатации структура бетона в сооружении подвержена непрерывным изменениям, которые должны быть учтены при проектировании его состава. Для прогнозирования и обеспечения долговечности бетона тонкостенных гидротехнических сооружений необходимо учитывать:

- составы бетона. Ввиду специфики эксплуатации бетона необходимо применять сульфатостойкий портландцемент и наполнитель;

- технологию приготовления. При обеспечении высокой подвижности смеси и высоких физико-механических характеристик должны применяться кольматирующие и пластифицирующие добавки, а также стойкая в среде эксплуатации фибра;

- структуру, формирующуюся на начальной стадии производства тонкостенной конструкции. Наиболее важными структурными характеристиками можно признать общий объем и тип капиллярно-порового пространства;

- изменение структуры в результате эксплуатационных воздействий (напорного действия воды, капиллярного подсоса, накопления солей и пр.) а также процессов, происходящих в структуре модифицированного бетона. При этом следует выделить кольматацию пор за счет действия специальных добавок (при применении современных кольматирующих модификаторов в структуре бетона формируются нерастворимые кристаллические образования) а также кольматацию пор продуктами коррозии [3]. В гидротехнических сооружениях интенсивно проходят коррозионные процессы, которые можно отнести к третьему виду по классификации В.М. Москвина. Также следует учитывать позднюю гидратацию цемента, которая способствует уплотнению структуры бетона, т.е. является основным источником самозалечивания. Влажные условия эксплуатации, характерные для гидротехнических сооружений, являются оптимальными для ее проявления.

Нами разработана комплексная добавка [Пенетрон А + С-3 + наполнитель] (патент № 14937), позволяющая не только уменьшить общий объем открытых пор, но и повысить однородность пор по размерам. За счет применения комплексной добавки с наполнителем возможно получение микропористых ( $\lambda \leq 0.5$ ) бетонов и фибробетонов с высокой однородностью пор ( $0.7 < \alpha \leq 1.0$ ) для тонкостенных сооружений водохозяйственного комплекса. Добавка позволяет в 1.5-2 раза увеличивать водонепроницаемость бетона и на 100-150 циклов его морозостойкость. Дополнительного увеличения морозостойкости модифицированного бетона позволяет добиться применение дисперсного армирования полимерной фиброй [4,5].

Наши исследования показывают, что бездобавочный бетон при условии обеспечения его технологичности (подвижность ОК=14-18 см при крупность щебня до 10 мм) имеет морозостойкость от 200 до 300 циклов и водонепроницаемость от W2 до W4. За счет применения суперпластификатора морозостойкость бетона повышается примерно на 50 циклов, а водонепроницаемость на одну марку. Современные кольматирующие добавки (Пенетрон, Ксайпекс, Виатрон) позволяют повысить водонепроницаемость бетона на 4-6 атмосфер. Комплексный модификатор, включающий, как указано выше, кольматирующую добавку Пенетрон А, суперпластификатор С-3 и наполнитель (молотый кварцевый песок) позволяет получить бетоны для тонкостенных сооружений водохозяйственного комплекса с морозостойкостью от F450 до F550 при водонепроницаемости от W12 до W18. За счет применения комплексного модификатора совместно с полимерной фиброй морозостойкость композита достигает марки F650. Помимо того, совместное применение дисперсного армирования стойкой к коррозии полимерной фиброй и наполнителя позволяет повысить ударостойкость бетона в 3 раза и трещиностойкость более чем на 40%. Также совместное применение фибры и наполнителя на 10-15 МПа повышается прочность бетона при сжатии и на 2-2.5 МПа прочность на растяжение при изгибе. Наполнитель участвует в процессе самоорганизации структуры и позволяет эффективно управлять технологической поврежденностью бетона, соответственно изменять общий объем и тип межкластерного пространства.

Таким образом, доказана необходимость учета изменения структуры бетона при проектировании состава бетона для тонкостенных сооружений водохозяйственного комплекса. Показано, что снизить градиенты локальных знакопеременных влажностных деформаций возможно за счет создания условий для получения капилляров одного размера при условии снижения общей пористости. Для перераспределения локальных деформаций следует обеспечить передачу знакопеременных деформаций по объему конструкции через объемное армирование материала не подверженной коррозии фиброй.

Получены модифицированные бетоны и фибробетоны для тонкостенных сооружений водохозяйственного комплекса с высокими эксплуатационными характеристиками и долговечностью за счет снижения капиллярной пористости и создания системы замкнутых пор малого размера при использовании комплексного модификатора [суперпластификатор + кольматирующая добавка + наполнитель] и объемного дисперсного армирования.

Также разрабатывались технологические приемы изготовления и применения модифицированных бетонов для строительства и восстановления тонкостенных сооружений водохозяйственного комплекса [6]. Были разработаны и утверждены Госводхозом Украины «Регламент по технологии изготовления и применения бетонов с добавками системы Пенетрон и С-3 для изготовления и восстановления гидромелиоративных железобетонных сооружений», а также «Регламент по технологии приготовления и применения модифицированного бетона для гидротехнических сооружений мелиорации с применением полимерной фибры».



Рис.3. Применение модифицированного бетона при восстановлении гидротехнического тоннеля канала Днепр-Донбасс и конструкций главного шлюза дамб обвалования канала Дунай – Сасык

### **Заключение**

Разработанные Регламенты и составы модифицированных бетонов использовались при восстановлении и строительстве тонкостенных конструкций гидротехнических сооружений мелиорации. В частности, при восстановлении бетона гидротехнического тоннеля канала Днепр-Донбасс и конструкций главного шлюза дамб обвалования канала Дунай – Сасык (рис.3).

### **Литература**

1. Мишутин А.В. Повышение долговечности бетонов тонкостенных плавучих и портовых гидротехнических сооружений / А.В. Мишутин, Н.В. Мишутин – Одесса: Одесский центр научно-технической и экономической информации, 2003 – 192 с.
2. Выровой В.Н. Механизм изменения структуры строительных композитов в условиях переменной влажности /В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, А.В. Мишутин, Л.И. Резникова, Г.В. Суханов // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, Випуск 29 - Одеса, 2008, – С. 54-63.
3. Мишутин А.В. Модель процессов коррозии бетона плавучих железобетонных сооружений / А.В. Мишутин, А.С. Файвусович // Мат-ли науково-практичного семінару «Бетони і розчини з використанням ефективних добавок та відходів промисловості» – Київ: Полипром, 2008. – С. 173-181.
4. Патент № 19814, Україна, Бетонна суміш з добавками Пенетрон А + С-3 / Дорофеев В.С., Мишутін А.В., Романов О.А. заявник і утримувач патенту ОДАБА, 2006 р.
5. Патент № 32920, Україна, Бетонна суміш з наповнювачем (меленим піском), полімерною фіброю і комплексною добавкою [Пенетрон А + С-3] / Дорофеев В.С., Мишутін А.В., Кровяков С.О., Гапоненко К.О. заявник і утримувач патенту ОДАБА, 2008 р.
6. Дорофеев В.С. Повышение долговечности бетона тонкостенных гидротехнических сооружений за счет применения комплексных модификаторов / В.С. Дорофеев, А.В. Мишутин // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, Випуск 27 - Одеса: Місто майстрів, 2007, - С. 160-164.