

Мишутин А.В., д-р техн. наук, Гапоненко Е.А., канд. техн. наук

ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА АВТОДОРОГАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННЫХ БЕТОНОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ

Анотація. Показано можливість підвищення довговічності та експлуатаційної надійності залізобетонних водопропускних споруд за рахунок застосування модифікованих бетонів. Підвищення довговічності бетону досягається при зниженні пористості з отриманням тонкопористий структури з підвищеною однорідністю пор, що забезпечується застосуванням комплексних модифікаторів. Розроблено комплексний модифікатор, що включає кольматуючу і пластифікуючі добавки, а також дрібнодисперсний наповнювач.

Ключові слова: водопропускні споруди, залізобетон, модифіковані бетони, довговічність, морозостійкість.

Аннотация. Показано возможность повышения долговечности и эксплуатационной надежности железобетонных водопропускных сооружений за счет применения модифицированных бетонов. Повышение долговечности бетона достигается при снижении пористости с получением тонкопористой структуры с повышенной однородностью пор, что обеспечивается применением комплексных модификаторов. Разработан комплексный модификатор, включающий кольматирующую и пластифицирующую добавку, а также мелкодисперсный наполнитель.

Ключевые слова: водопропускные сооружения, железобетон, модифицированные бетоны, долговечность, морозостойкость.

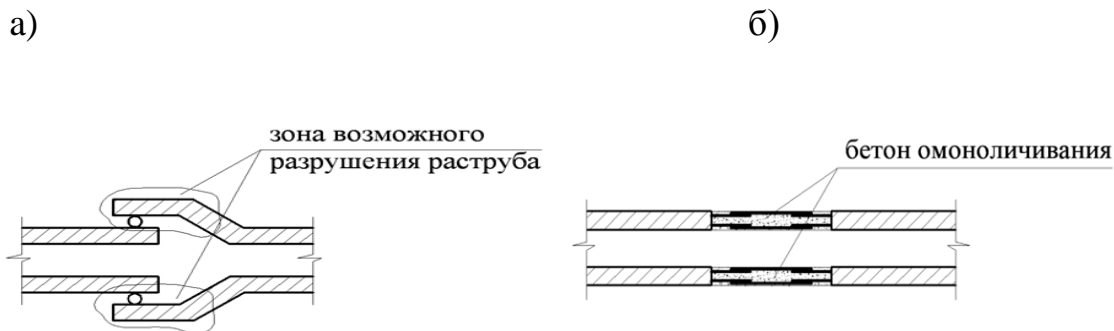
Annotation. The possibility of increasing longevity and reliability of reinforced concrete culverts through the use of modified concrete. Increased durability of concrete is achieved by reducing the porosity to produce finely porous structures with high

uniformity far that provided by the use of complex modifiers. Developed a comprehensive modifier, including bridging and plasticizers, and particulate filler.

Keywords: culverts, reinforced concrete, modified concrete, durability, resistance to frost.

Большую часть водопропускных сооружений на автомобильных дорогах составляют металлические и железобетонные трубы. Водопропускные трубы — это искусственные сооружения, предназначенные для пропуска под насыпями дорог небольших постоянных или периодически действующих водотоков. Они не меняют условий движения автомобилей, поскольку их можно располагать при любых сочетаниях плана и профиля дороги. Они практически не чувствительны к возрастанию временной нагрузки и динамическим ударам, требуют меньшего расхода материала на строительство и меньших затрат на содержание и ремонт, допускают высокие скорости течения воды в сооружении.

Проведенный анализ работы системы «высокая насыпь - водопропускная труба - основание» показывает, что закладка трубы в систему «насыпь - основа» имеет существенное влияние на изменение ее напряженно-деформированного состояния: растяжение трубы вдоль ее оси, проседание тела трубы относительно ее оголовков, проседание насыпи под трубой, образование трещин в теле трубы, заиливание отверстий в результате попадания грунта через образованные щели между кольцами при растяжении трубы, разрушение раструбов колец (рис.1) и т.п. Перечисленные изменения могут быть также вызваны движениями грунта в форме обвалов, оползней, селей, лавин, разжижением грунтов с последующей осадкой, обусловленных и сопровождаемых подземными толчками. На сегодняшний день при строительстве водопропускных сооружений достаточно широко применяются тонкостенные железобетонные конструкции. Например, стенки каналов и водопропускных сооружений изготавливаются толщиной 4-12 см. Бетон тонкостенных сооружений, эксплуатируемых в воде, воспринимает постоянные и временные нагрузки, подвержен динамическим, температурным и биологическим воздействиям. В процессе эксплуатации такой конструкции структура бетона подвержена непрерывным изменениям, которые должны быть учтены при ее проектировании. Примеры, характерного разрушения бетона водопропускных сооружений показаны на рис. 2.



а - расположение зоны возможного разрушения раструба трубы при их соединении, б - омоноличивание стыков труб (применяется для соединения сплошных труб при строительстве в сложных инженерно-геологических условиях)

Рисунок 1 – Основные варианты соединения водопропускных труб



Рисунок 2 – Примеры характерного разрушения бетона водопропускных сооружений

Долговечность бетона является определяющей характеристикой и складывается из целого ряда качественных характеристик, к которым относится и коррозионная стойкость. Коррозионная стойкость бетона является функцией его сопротивляемости различным видам воздействия внешней среды

и определяется структурой и свойствами цементного камня, а также структурными особенностями бетона как материала. Коррозионные процессы значительно усиливаются под влиянием климатических условий, многократного попеременного замораживания оттаивания, увлажнения - высушивания. Также причиной возникновения коррозии могут выступать ветровые и биологические факторы, отдельные механические воздействия. В.Л. Чернявский [1] долговечность связывал с адаптацией бетона (рис.3), направленной на удержание его структурных характеристик в пределах, обеспечивающих заданное функциональное состояние.

Для повышения качества и надежности работы бетона используется защита I и II видов.

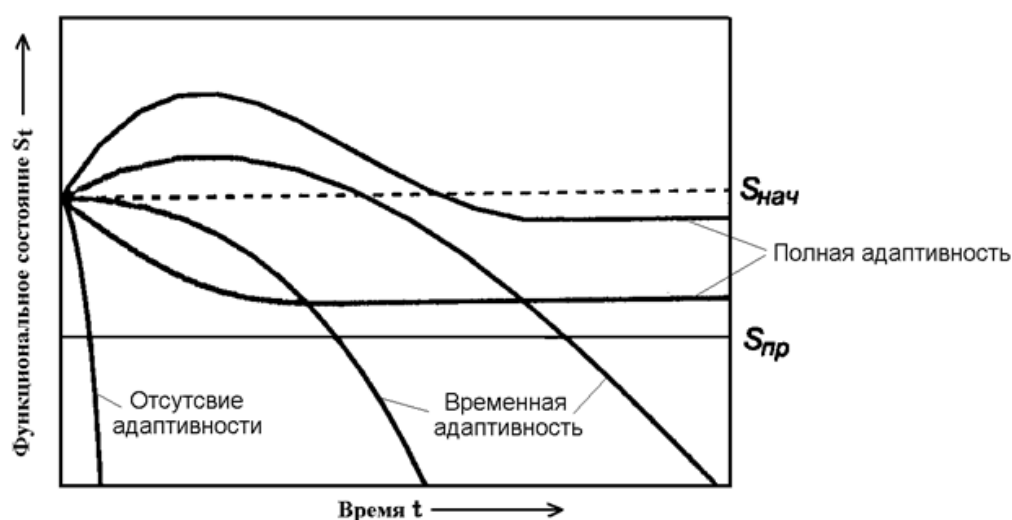


Рисунок 3 – варианты траекторий функционального состояния S_t , бетона во времени t в эксплуатационной среде. $S_{нач}$ – начальное функциональное состояние, $S_{пр}$ – предельно допустимое. По данным В.Л. Чернявского [1]

К защите I вида относится использование специальных видов цемента и комплексных химических добавок при строительстве новых и восстановлении эксплуатируемых сооружений.

К защите II вида относится использование покрытий для бетонов, когда методы защиты I вида недостаточны или малоэффективны.

Развитая современная строительная индустрия предлагает большой комплекс для решения вопросов о подвижности бетонной смеси, регулирования сроков ее схватывания и твердения, повышения прочности бетона, его плотности и коррозионной стойкости, водонепроницаемости с

применением цементов и комплексных химических добавок, а также всевозможные покрытия (типа «Ксайпекс», «Пенетрон» и т.п.), которые используются для повышения сроков эксплуатации конструкций при их восстановлении и реконструкции.

На основе данных, накопленных при исследовании тонкостенных транспортных сооружений, был проведен анализ механизмов формирования локальных и интегральных температурно-влажностных деформаций в бетоне конструкций данных сооружений. В гидротехнических сооружениях ввиду неравномерного распределения влаги по высоте конструкций деформации переходят от набухания, в подводной их части, к усадке, в зонах пониженного влагосодержания. Изменение уровня воды вызывает изменение распределения влаги по высоте и по сечению конструкции, что приводит к изменению величины и направления действия влажностных деформаций. В материале возникают «волны» интегральных влажностных деформаций, которые протекают как вдоль, так и по сечениям изделия. Аналогичное распределение деформаций связано с изменением температуры материала в конструкции. Интегральные деформации формируются путем взаимодействий локальных деформаций, которые зависят от капиллярно-пористой структуры материала.

К мероприятиям по целенаправленному изменению капиллярно-пористой структуры бетона следует отнести применение специальных добавок-модификаторов. Более равномерно распределять локальные деформации по объему материала, условия формирования интегральных деформаций, можно при помощи объемного дисперсного армирования.

В процессе эксплуатации сооружения структура его материала подвержена непрерывным изменениям, которые должны быть учтены при установке начальных требований к бетону и при проектировании его состава. Таким образом, для прогнозирования и обеспечения долговечности бетона тонкостенных водопропускных транспортных сооружений справедливо использовать рабочую схему, учитывающую:

- составы бетона. Ввиду специфики бетона тонкостенных водопропускных сооружений должен применяться сульфатостойкий портландцемент, щебень крупностью до 2.0 мм, а также желателен применять мелкодисперсный наполнитель;

- технологию приготовления. При обеспечении высокой подвижности смеси при низком водоцементном отношении и высоких физико-механических

характеристик должны применяться кольматирующие и пластифицирующие добавки, а в отдельных случаях также стойкая в среде эксплуатации фибра, например полипропиленовая;

- структуру, формирующуюся на начальной стадии производства тонкостенной конструкции. Ввиду особенностей эксплуатации бетона для тонкостенных водопропускных сооружений, наиболее важными структурными характеристиками можно признать общий объем и тип порового пространства.

- изменение структуры в результате эксплуатационных воздействий (напорного действия воды, замораживания и оттаивания, капиллярного подсоса, накопления солей и пр.) а также процессов, происходящих в структуре модифицированного бетона.

Среди положительных процессов, способствующих адаптации бетона тонкостенных конструкций водопропускных сооружений, следует назвать, во-первых, кольматацию пор за счет действия химдобавок [2], во-вторых, кольматацию пор продуктами коррозии, и в-третьих, позднюю гидратацию цемента.

Для повышения долговечности бетона тонкостенных водопропускных сооружений был разработан комплексный модификатор [3], включающий кольматирующую и пластифицирующую добавку, а также мелкодисперсный молотый кварцевый песок. Модификатор позволяет не только уменьшить общий объем пор, но и повысить однородность пор по размерам. На комплексные добавки [Пенетрон А + суперпластификатор С-3] и [Пенетрон А + С-3 + наполнитель] получены декларационные патенты [4,5].

Применение разработанных комплексных модификаторов позволяет в 1,5 – 2,0 раза увеличивать водонепроницаемость бетона и на 150 – 200 циклов его морозостойкость. Модификаторы снижают общую пористость материала на 10 – 12 %, а капиллярную почти в 2 раза. При их применении морозостойкость мелкозернистого бетона фибробетона достигает уровня P550-P650, водонепроницаемость – W16. Общая тенденция изменения водонепроницаемости и морозостойкости бетона за счет применения модификаторов и дисперсного армирования показана на рис. 4.

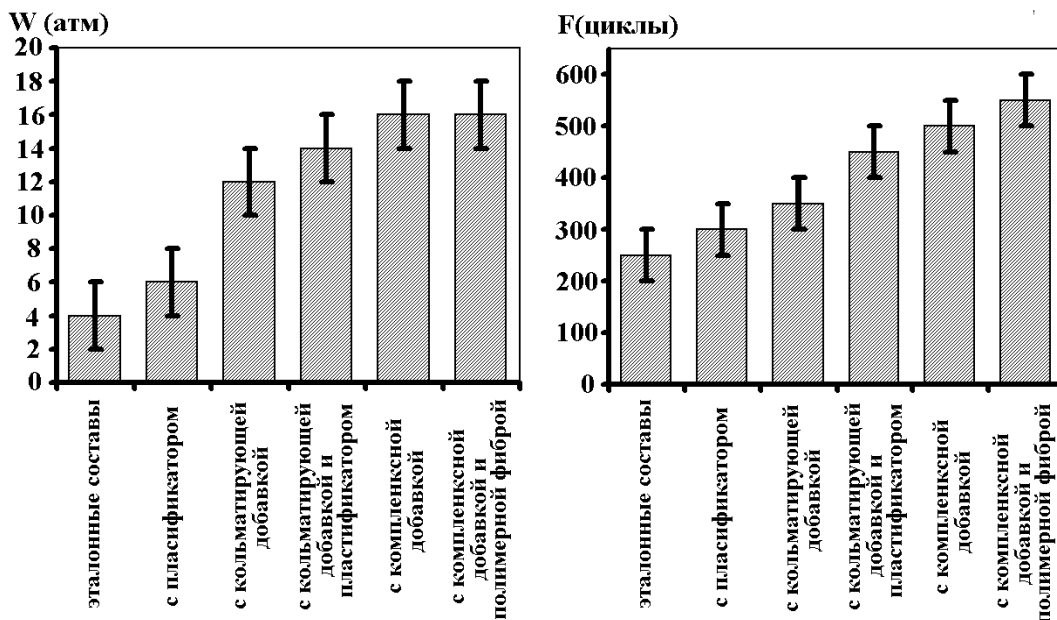


Рисунок 4 – Тенденция изменения водонепроницаемости (а) и морозостойкости (б) бетона тонкостенных водопропускных сооружений за счет применения модификаторов и дисперсного армирования

По результатам проведенных исследований были разработаны и утверждены следующие нормативные документы:

- Регламент по технологии изготовления и применения бетонов с добавками системы Пелетон и С-3 для изготовления и восстановления гидромелиоративных железобетонных сооружений (2005 г.).
- Регламент по технологии приготовления и применения модифицированного бетона для гидротехнических сооружений мелиорации и водопропускных сооружений автодорог с применением полимерной фибры (2006 г.).
- Регламент по приготовлению высокоподвижных смесей для ремонта тонкостенных гидротехнических сооружений (2007 г.).
- Регламент по обследованию и оценке технического состояния бетонных и железобетонных гидротехнических сооружений (2008 г.).
- Технологический регламент по технологии приготовления и применения модифицированных бетонов повышенной водонепроницаемости и морозостойкости (2009 г.).
- Регламент по технологии приготовления модифицированных бетонных смесей и покрытий для ремонта тонкостенных гидротехнических сооружений (2011 г.).

Примеры проведенного восстановления железобетона тонкостенных водопропускных сооружений с использованием разработанных составов модифицированных бетонов и технологических регламентов показаны на рис.5.



Рисунок 5 – Примеры восстановления железобетона тонкостенных водопропускных сооружений

Литература

1. Чернявский В.Л. Адаптация бетона / В.Л. Чернявский – Днепропетровск : Нова ідеологія, 2002. – 216 с.
2. Бабушкин В.И. Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа / В.И. Бабушкин. – Харьков : Вища школа, 1989. – 168 с.
3. 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. – Вип. 27. – Одеса : Місто майстрів, 2007. – С. 160–164.
4. Патент № 19814, Україна, Бетонна суміш з добавками Пенетрон А + С-3 / Дорофеев В.С, Мішутін А.В., Романов О.А. заявник і утримувач патенту ОДАБА, 2006 р.
5. Патент № 32920, Україна, Бетонна суміш наповнювачем (меленим піком), полімерною фіброю і комплексною добавкою [Пенетрон А - С-3] / Дорофеев В.С, Мішутін А.В., Кровяков С.О., Гапоненко К.О. заявник і утримувач патенту ОДАБА, 2008 р.