

УДК 666.972

*А.В. Мишутин, д.т.н., профессор, В.М. Митинский, к.т.н., доцент  
Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА АВТОДОРОГАХ В СЛОЖНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

*Показан метод повышения надежности и долговечности конструкций железобетонных водопропускных сооружений в сложных геологических условиях за счет применения модифицированных бетонов и фибробетонов. Разработан комплексный модификатор, включающий кольматирующую и пластифицирующую добавку, а также наполнитель, позволяющий снизить пористость бетона и получить композит тонкопористой структуры с повышенной однородностью пор.*

*Ключевые слова: долговечность, водопропускные сооружения, модификаторы, фибра, динамические нагрузки.*

*А.В. Мішутін, д.т.н., професор, В.М. Митинський, к.т.н., доцент  
Одеська державна академія будівництва і архітектури*

## **ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ І ДОВГОВІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ВОДОПРОПУСКНИХ СПОРУД НА АВТОШЛЯХАХ У СКЛАДНИХ ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ**

*Показано метод підвищення надійності і довговічності конструкцій залізобетонних водопропускних споруд в складних геологічних умовах за рахунок застосування модифікованих бетонів і фібробетонів. Розроблено комплексний модифікатор, що включає кальматуючу і пластифікуючу добавки, а також наповнювач, що дозволяє знизити пористість бетону і отримати композит дрібнопористої структури з підвищеною однорідністю пір.*

*Ключові слова: довговічність, водопропускні споруди, модифікатори, фібра, динамічні навантаження.*

*Shows a method of improving the reliability and durability of concrete culvert structures under difficult geological conditions. Used and modified concrete and fiber-concrete. A complex modifier, including bridging and plasticizing additives and fillers. Modifier reduces the porosity of the concrete and get the fine pore structure of the composite with high uniformity porosity.*

*Keywords: durability, culverts, modifiers, fiber, dynamic loads.*

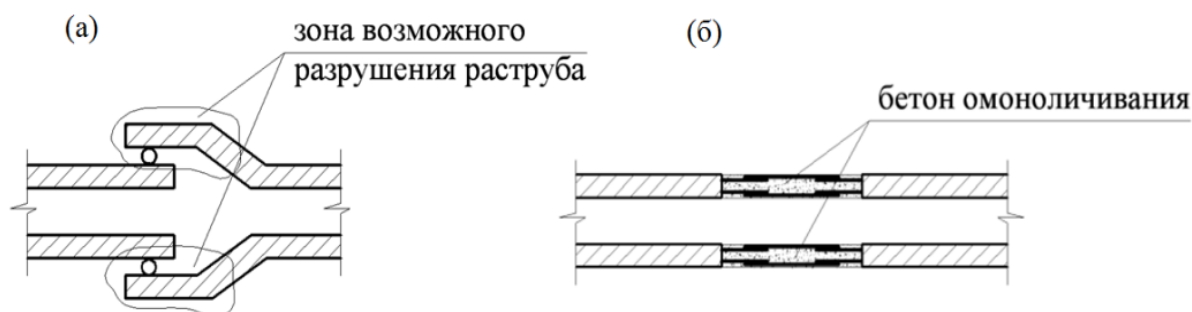
**Введение.** Обеспечение долговечности систем водоотведения на автомобильных дорогах является важной задачей, поскольку разрушение водопропускных сооружений приводит не только к нарушению нормальной эксплуатации дороги, но и развитию эрозий и оползней в прилегающей местности, а также к загрязнению окружающей среды. Одесский регион относится к сейсмической зоне, что накладывает

дополнительные требования к условиям эксплуатации дорог. К этому также следует отнести наличие просадочных грунтов, а на отдельных участках - обработанных территорий, так называемых «катакомб».

**Обзор последних источников исследований и публикаций.** Большую часть водопропускных сооружений, строящихся на автомобильных дорогах, составляют металлические и железобетонные трубы. Проведенный анализ работы системы «высокая насыпь – водопропускная труба – основание» показывал, 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 и т.п. Перечисленные нарушения водопропускных труб чаще всего могут быть также вызваны движениями грунта при развитии таких негативных процессов как просадки, вызванные локальным замачиванием грунтов, оползни, разжижение грунтов, обусловленные и сопровождаемые подземными толчками, а также другими негативными экзогенными процессами, развивающимися в основании.

Стабилизация негативных экзогенных процессов при строительстве дорог достигается на стадии подготовки дорожного полотна путем упрочнения или закрепления основания.

В сложных инженерно-геологических условиях при использовании типовой шарнирной схемы соединения железобетонных водопропускных труб возможен выход из строя сооружения по причине разрушения бетона раструба, рис.1.а. Данные анализа проведенных исследований позволяют рекомендовать применять омоноличивание стыков труб, рис. 1.б, поскольку такая схема более долговечна при неравномерных осадках грунтов.



*Рис.1. Основные варианты соединения водопропускных труб.*

*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).*

**Постановка задачи.** 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 [1].

**Основной материал и результаты.** Долговечность бетона является определяющей характеристикой и складывается из целого ряда качественных характеристик, к которым относится и коррозионная стойкость. Для бетона коррозионная стойкость является функцией его сопротивляемости различным видам воздействия внешней среды и определяется структурой и свойствами цементного камня, а также структурными особенностями композита в целом. 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 [2] долговечность связывал с адаптацией бетона, 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. 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, коррозионной стойкости и водонепроницаемости. Это применением специальных 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, в том числе водопропускных, 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, изменяя 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 20 мм, а также желательно 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 [3], во-вторых, кольматацию пор продуктами коррозии, и в-третьих, позднюю гидратацию цемента.

Для повышения долговечности бетона тонкостенных водопропускных сооружений был разработан комплексный модификатор [4], включающий кольматирующую и пластифицирующую добавку, а также мелкодисперсный наполнитель – молотый кварцевый песок. Модификатор позволяет не только уменьшить общий объем открытых 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 [5,6]. Применение разработанных комплексных модификаторов позволяет в 1.5-2 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 и фибробетона достигает уровня F500-F600, водонепроницаемость – W14-W16. Общая тенденция изменения водонепроницаемости и морозостойкости бетона за счет применения модификаторов и дисперсного армирования показана на рис.2.

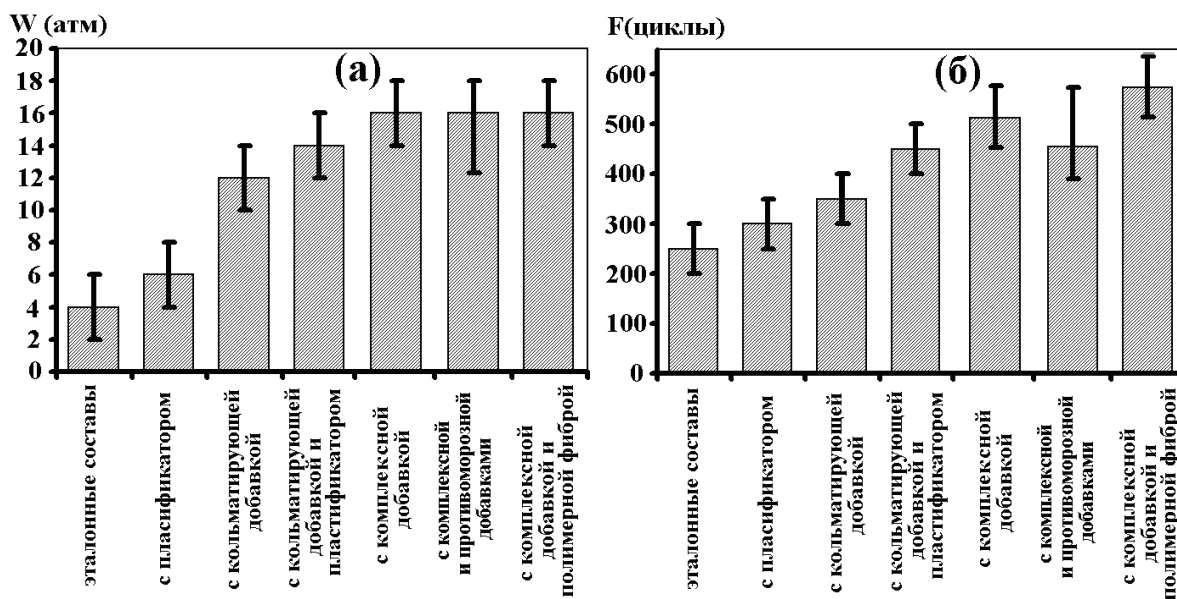


Рис.2. Изменение водонепроницаемости (а) и морозостойкости (б) бетона тонкостенных водопропускных сооружений за счет применения модификаторов и дисперсного армирования

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

- Регламент по технологии изготовления и применения бетонов с добавками системы Пенетрон 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 бетонных 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.)

Предложенные составы модифицированных бетонов и фибробетонов использовались при строительстве и восстановлении тонкостенных гидротехнических сооружений, в том числе водопропускных сооружений на автодорогах.

**Выводы.** За счет применения модифицированных бетонов возможно существенно повысить надежность и долговечность конструкций железобетонных водопропускных сооружений в сложных инженерно-геологических условиях. Для повышения долговечности бетона разработан комплексный модификатор, включающий современные кольматирующую и пластифицирующую добавку, а также наполнитель. Модификатор позволяет снизить пористость бетона и получить композит тонкопористой структуры с повышенной однородностью пор. По результатам исследований разработан и утвержден ряд нормативных документов. Предложенные составы модифицированных бетонов и фибробетонов использовались при строительстве и восстановлении тонкостенных гидротехнических сооружений.

#### *Литература*

1. Мишутин А.В. Повышение долговечности бетонов морских железобетонных плавучих и стационарных сооружений / А.В.Мишутин, Н.В.Мишутин. – Одесса: Эвен, 2011. – 292 с.

2. Чернявский В.Л. Адаптация бетона / В.Л. Чернявский – Днепропетровск: Нова ідеологія, 2002. – 216 с.

3. Бабушкин В.И. Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа / В.И. Бабушкин. – Харьков: Вища школа, 1989. – 168 с.

4. 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.

5. 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.

6. Патент № 32920, Україна, Бетонна суміш з наповнювачем (меленим піском), полімерною фіброю і комплексною добавкою [Пенетрон А + С-3] / Дорофеев В.С., Мишутін А.В., Кривяков С.О., Гапоненко К.О. заявник і утримувач патенту ОДАБА, 2008 р.