

## **Повышение устойчивости структуры дорожного дисперсно-армированного бетона**

Бусел А.В., Артимович В.С.  
ГП «БелдорНИИ»

*В докладе приведены основные способы повышения прочности бетона защитного слоя мостового полотна. Предложено техническое решение для повышения устойчивости структуры дисперсно-армированного бетона. Для достижения надежного сцепления металлической фибры с бетоном разработано специальное антикоррозионное покрытие.*

### *Введение*

Мостовые сооружения являются неотъемлемой частью автомобильных дорог. В последние годы на дорогах Беларуси наблюдается значительный рост транспортного потока, в том числе и транзитного, причем наряду с увеличением количества легковых автомобилей резко возросло и число грузовых со значительной общей массой и осевой нагрузкой. Преобладают грузовые автомобили общей массой более 21 т и нагрузкой на ось 10 т и выше. Контактные напряжения в бетоне мостового полотна от реальной динамической транспортной нагрузки значительно превышают нормативный уровень. Кроме того, при скорости транспортного средства более 90 км/час интервал наезда колеса трехосной тележки на одну и ту же точку составляет всего 0,05 с, т.е. в бетоне возникает наложение нагрузок. При действии часто повторяющихся высоких напряжений происходит накопление остаточных деформаций и разрушение в первую очередь бетона защитного слоя гидроизоляции мостового полотна в пределах колеи.

Это подтверждается диагностикой мостовых сооружений, которая показывает, что на каждом третьем сооружении гидроизоляция под защитным слоем находится в неудовлетворительном техническом состоянии. Повреждение гидроизоляции влечет за собой попадание влаги и химических реагентов непосредственно на несущие конструкции, что снижает долговечность мостовых сооружений до 30–40 лет, вместо расчетных 100 лет.

При проектировании конструкции мостов их рассчитывают на современные нагрузки: в виде двухосной тележки по 14 т на ось, работающей совместно с равномерно-распределенной нагрузкой интенсивностью 14 кН и толпой на тротуарах, а также в виде четырехосной тележки по 28 т на ось.

При таких нагрузках железобетонные пролетные строения могут прогибаться на пролетах 24 м до 6 см и на пролетах 33 м до 9 см. При этом в защитном слое возникают циклические напряжения сжатия и растяжения до 20 МПа [1]. Если используются преднапряженные пролетные строения, которые имеют строительный подъем, то в этом случае защитный слой работает на изгиб совместно с пролетным строением. При этом в нем могут возникать сжимающие напряжения до 14 МПа. При таких циклических нагрузках избежать трещин практически невозможно. Учитывая то, что согласно ТКП 45-3.03-232 толщина бетонного защитного слоя должна быть не менее 60 мм, но и не сильно большой по условиям нагружения несущих конструкций, необходимо обеспечить гибкость такого относительно тонкого слоя без нарушения его сплошности.

Трещины в бетоне защитного слоя являются серьезной проблемой. В них происходит попеременное замораживание и оттаивание воды, которая фильтрует через асфальтобетонное покрытие. Вода, увеличиваясь в объеме при размораживании, разрушает структуру бетона. Синергетический разрушающий эффект наблюдается при совместном действии растворов противогололедных реагентов и их замораживании-оттаивании. Это провоцирует дальнейшее раскрытие и развитие трещин.

Техническое решение задачи.

На сегодняшний день существует несколько решений, способствующих упрочнению тонкого слоя бетона. Самыми распространенными являются следующие варианты:

1. Армирование металлическими сетками, одно из самых распространенных решений. Существенным недостатком данного вида армирования является коррозия арматуры. Надежно защитить металлическую арматуру от коррозии не увеличивая существенно толщину защитного слоя, а следовательно и нагрузку на несущие балки, на данный момент не представляется возможным.

2. Армирование синтетическими геосетками [2]. Высокая стойкость к действию кислотных и щелочных сред не спасает полимерный материал сеток от старения. На данный момент этот недостаток не устранен. Кроме того большинство полимеров обладает пластичностью даже при небольших напряжениях.

3. Армирование стеклосеткой. Существенный недостаток данного вида армирования – разрушение при длительном нахождении в щелочной среде бетона [3, 4]. Долговечность такого типа армирования не высокая. В настоящее время появляются технологии, улучшающие качество этой арматуры, однако цена значительно увеличивается.

4. Дисперсное армирование. На данный момент дисперсное армирование существует в следующих вариантах:

- армирование полимерной фиброй. Дисперсное армирование полимерами повышает прочность бетона на растяжение и снижает вероятность образования трещин на всех уровнях его структуры, что способствует повышению его долговечности. Однако старение полимера приводит к нарастанию хрупкости волокон и соответствующему снижению надежности защитного слоя;

- армирование металлической фиброй. Преимуществами по отношению к другим видам армирования являются: способность материала препятствовать возникновению и распространению трещин, повышение предела трещиностойкости; увеличение прочности на удар. Проблемой данного вида армирования является коррозия.

Стальная фибра по своим показателям лучше всего подходит для армирования защитного слоя. При оптимальном процентном соотношении к бетону, фибра повышает не только прочность на растяжении при изгибе, но и придает бетонной матрице определенную пластичность, что повышает трещиностойкость. Основные требования, которые предъявляются к стальной фибре при ее использовании в сталефибробетоне, это способность противостоять действию химических реагентов и иметь сцепление с компонентами в составе бетонной матрицы.

Для достижения надежного сцепления с бетонной смесью фибру изготавливают различных форм и размеров. Известны различные виды стальных арматурных элементов (фибр) для дисперсного армирования бетона: отрезки металлического волокна различных форм; отрезки металлического волокна в виде плоского протяженного основания со сквозной перфорацией, снабженного анкерами из кристаллитов металла; отрезки проволоки с равномерно деформированными участками, имеющими выступы и впадины в виде волны в трехмерном измерении; проволочный тор эллипсоидного или сферического профиля с выпусками-анкерами в виде усов. На данный момент на Белорусском металлургическом заводе производят два вида стальной фибры: волновая и анкерная. Волновая фибра своей извилистой формой закрепляется в бетонной смеси. Анкерная фибра имеет как правило продолговатое «тело», а на конца располагаются отгибы, при помощи которых она закрепляется в бетоне.

В зарубежных аналогах встречаются и комбинированные формы. К примеру стальная фибра фрезерованная из сляба. Ее форма, серповидного сечения, имеет скручивание по продольной оси. А на концах имеются анкерные отгибы длиной до 2 мм. У пластины имеются два вида поверхности: с одной стороны она шероховатая, с другой она имеет гладкую поверхность.

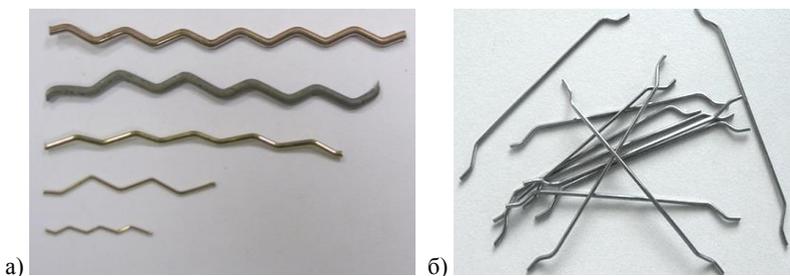


Рис. 1. а) волновая стальная фибра; б) анкерная стальная фибра



Рис. 2. Стальная фрезерованная фибра из шлаба

Волновая фибра плохо себя зарекомендовала при испытаниях бетона на изгиб, поэтому для исследований была использована анкерная фибра, которая имеет концевые участки, обеспечивающие надежную анкеровку. Однако при этом прямолинейная средняя часть способна беспрепятственно растягиваться под нагрузкой. Это вызывает растрескивание бетона и раскрытие трещин на ширину равную произведению модуля упругости материала дисперсной арматуры на длину прямолинейной части. Поэтому для этой фибры необходима дополнительная шероховатость в прямолинейной части для более жесткого защемления в бетоне и передачи нагрузки на бетон по всей её длине.

Кроме того, для успешного применения в защитных слоях мостовых сооружений необходимо разработать практически приемлемую и экономически целесообразную технологию противокоррозионной обработки металлической фибры. В связи с этим было предложено обрабатывать фибру специальным составом способным вступать в физико-химическое взаимодействие как с металлом, так и с продуктом гидротации цемента. Этот материал наносится на арматурный элемент, тем самым придавая шерохова-

тость и антикоррозионную устойчивость. Для этого стальную фибру до закладки в бетонную смесь предварительно обезжиривают, затем обрабатывают коллоидным раствором на водной основе, содержащим ортофосфорную кислоту, фосфаты цинка и мелкодисперсную глину, после чего высушивают.

Сравнение фактуры поверхности обработанной фибры с необработанной, полученное при помощи микроскопа представлено на рисунках 3 и 4.

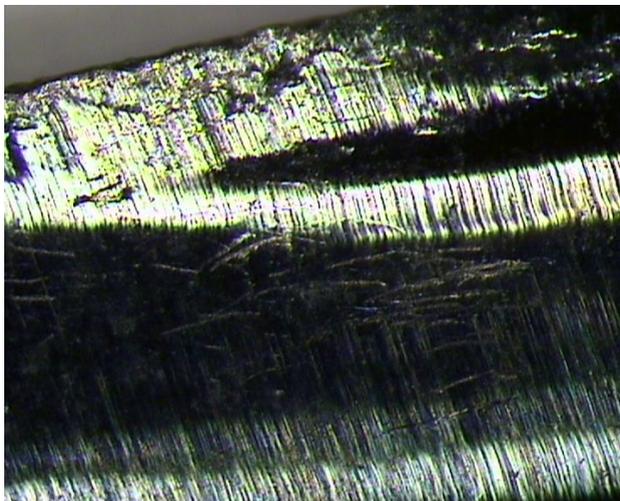


Рис. 3. Необработанная фибра (увеличением в 100 раз)



Рис. 4. Обработанная фибра (увеличение в 100 раз)

### *Экспериментальная часть*

Эффективность предложенного способа обработки фибры проверена на образцах из сталефибробетона следующего состава: песка – 5,5 кг, цемента марки ПЦ–500 – 1,8 кг, воды – 0,9 л (водоцементное соотношение В/Ц = 0,5), фибра – 0,235 кг. Образцы готовили в форме балок размером 40×40×160 мм. После формования образцы хранились 28 суток в камере нормального твердения, затем подвергались испытаниям на растяжение при изгибе в соответствии с ГОСТ 310.4–81. Для сравнительных испытаний готовили образцы четырех типов:

- 1) без фибры;
- 2) с необработанной фиброй;
- 3) с фиброй, обработанной фосфатом цинка без глины;
- 4) с фиброй, обработанной смесью фосфата цинка, ортофосфорной кислоты и глины.

Предел прочности образцов при изгибе вычисляли как среднее арифметическое значение двух наибольших результатов испытаний трех образцов. Получены следующие результаты испытаний пределов прочности на растяжение при изгибе  $\sigma$ :

- 1) образцы без фибры –  $\sigma = 5,3$  МПа;
- 2) образцы с необработанной фиброй –  $\sigma = 6,7$  МПа;
- 3) образцы с фиброй, обработанной фосфатом цинка без глины –  $\sigma = 6,9$  МПа;
- 4) образцы с фиброй, обработанной смесью фосфата цинка, ортофосфорной кислоты и глины –  $\sigma = 11,6$  МПа.

Как видно из полученных результатов, использование стальной фибры, обработанной смесью фосфата цинка, ортофосфорной кислоты и глины, позволяет увеличить предел прочности сталефибробетона более чем в 1,5 раза, по сравнению со сталефибробетоном с необработанной фиброй. Это объясняется лучшим защемлением фибры с цементным камнем и физико-механическим взаимодействием глины и фосфатов с продуктами гидратации цемента.

### *Заключение*

1. Дисперсное армирование защитного слоя мостового полотна для увеличения долговечности искусственных сооружений является перспективным техническим решением.

2. Применение антикоррозионной обработки металлической фибры в сочетании с повышением ее шероховатости и физико-механической активности по отношению к твердеющему цементу позволяет получить существенное увеличение прочности бетона при изгибе, а следовательно и его трещиностойкости.

3. Способ применения фибры, равно как и технология приготовления сталефибробетона, прост и не отличается от приготовления обычного бетона. Поставка стальной фрезерованной фибры в емкостях по 25 кг делает удобной дозировку её в мешалки.

4. В продолжение настоящих исследований стоит задача изучения коррозионной стойкости дисперсно-армированного бетона в растворах противогололедных реагентах при циклическом нагружении.

### **Литература**

1. Артимович, В. С. Исследование напряженно-деформированного состояния бетонного защитного слоя гидроизоляции мостового полотна / В. С. Артимович, А. В. Бусел // Автомобильные дороги и мосты. – 2015. – № 1. – С. 36–40.

2. Бусел А.В., Смыковский А.И., Чистова Т.А. Перспективы применения тонкослойных цементобетонных дорожных покрытий в условиях роста транспортных нагрузок. Информационный научнотехнический журнал «Технологии бетонов» №2 (19), 2008 г. 68–70 с.

3. Асланова М. С., Колесов Ю. И., Хазанов В. Е. и др. Стекланные волокна. Под ред. Аслановой М. С. М.: Химия. 1979 г. 256 с

4. Зак А.Ф., Физико-химические свойства стекланного волокна. М.: Ростехиздат. 1962. – 224 с.

УДК 691.545

## **Использование карбонатсодержащих отходов для изготовления изделий строительного назначения**

Евсеева Е.А., Кречко Н.А., Шагойко Ю.В.  
Белорусский национальный технический университет

*В работе представлены результаты исследования физико-механических свойств композиционного материала на основе шлама химводоочистки, цемента и тонкомолотого песка, изготовленного методом полусухого прессования.*

В процессе снижения жесткости воды на стадии предварительной очистки на тепловых электроцентралях и в котельных образуются десятки тысяч тонн шлама. Это результат взаимодействия известкового молока с растворенными в воде карбонатами кальция, магния и железа. Химический