

# ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БЕТОННОГО ЗАЩИТНОГО СЛОЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ МОСТОВОГО ПОЛОТНА

## STRESS-STRAIN ANALYSIS OF WATERPROOFING CONCRETE PROTECTIVE COAT OF BRIDGE DECK



**В. С. Артимович**, инженер республиканского дочернего унитарного предприятия «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ», г. Минск, Беларусь

**А. В. Бусел**, доктор технических наук, профессор, декан факультета транспортных коммуникаций Белорусского национального технического университета, г. Минск, Беларусь

*В статье исследована работа защитного слоя гидроизоляции мостового полотна под действием современных временных вертикальных нагрузок. Рассмотрены основные причины разрушения бетонного защитного слоя, которое приводит к преждевременному отказу гидроизоляции. Даны предложения по упрочнению бетонного защитного слоя гидроизоляции.*

*The article studies the operation of the waterproof protective coat of the bridge deck under the influence of modern temporary vertical load. The main causes of the concrete protective coat destruction, leading to premature failure of the waterproofing are given. Proposals for waterproofing concrete protective coat strengthening are provided.*

### Введение

В связи с увеличением потока грузоперевозок в Республике Беларусь все более жесткие требования предъявляются к долговечности мостовых сооружений. Согласно ТКП 45-3.03-232 [1] проектный срок службы для мостов устанавливается 100 лет. Одним из условий достижения такой долговечности является защита нижележащих конструкций пролетных строений от повреждений и дефектов.

Условия работы бетона защитных слоев и плит проезжей части пролетных строений мостов значительно отличаются от условий работы бетона других элементов. На бетон защитных слоев оказывают воздействие непосредственные динамические нагрузки и атмосферные факторы. Усугубляется это воздействие агрессивным влиянием противогололедных реагентов, применяемых при зимнем содержании дорог. В таких условиях защитный слой должен обеспечить плотное зажатие гидроизоляции, предохранить ее от механических повреждений (продавливания от действия тяжеловесных и крупногабаритных транспортных средств), а также защитить от сдвиговых тормозных и других динамических нагрузок.

В последние годы на дорогах Республики Беларусь наблюдается значительное увеличение транспортного потока, в том числе и транзитного, причем, наряду с ростом количества легковых автомобилей, резко возросло и число грузовых со значительной общей массой и осевой нагрузкой. Преобладают грузовые автомобили общей массой 21 т и выше и нагрузкой на ось 7 т и выше. В насто-

ящее время нормируемая минимальная толщина бетонного защитного слоя гидроизоляции мостового полотна составляет 60 мм. При действии нагрузок в таком тонком слое возникают высокие напряжения. Плюс ко всему большую сложность представляет цикличность работы защитного слоя, когда отрицательные напряжения сменяются положительными.

### Напряженно-деформированное состояние защитного слоя гидроизоляции мостового полотна

Условия работы защитного слоя гидроизоляции в отличие от условий работы полки балки значительно ухудшаются за счет того, что защитный слой работает на упругом основании. В соответствии с нормами гидроизоляция должна быть рулонная, наливная или напыляемая. Все эти виды гидроизоляции являются достаточно деформативными за счет малых модуля упругости и коэффициента Пуассона.

Наиболее широко сегодня в мостах республики представлены следующие конструкции пролетных строений:

- плитные и балочные железобетонные разрезные пролетные строения;
- балочные железобетонные неразрезные пролетные строения;
- сталежелезобетонные разрезные и неразрезные пролетные строения.

При проведении исследований для расчета разрезного железобетонного пролетного строения был взят пролет длиной 33 м. Балки, использованные в расчете, выполнены по типовому проекту 1970 года серии 3.503-12 (выпуск 8, инв. № 384/35) [2]. Мосты с балками по данному проекту эксплуатируются по настоящее время на территории Республики Беларусь.

Для расчета были приняты следующие исходные данные:

- класс бетона балок по прочности – В35 по СТБ 2221 [3];
- в поперечном сечении расположены три балки, установленные с шагом 2,5 м;
- ширина монолитных участков плиты между балками – по 0,7 м.

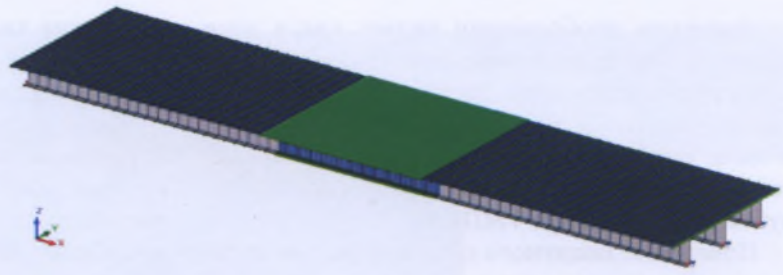


Рисунок 1 – Расчетная схема железобетонного пролетного строения длиной 33,0 м

Расчет выполнен в программе «SCAD» [4]. Расчетная схема пролета приведена на рисунке 1.

При расчете железобетонная балка задавалась как совокупность пластинчатых элементов: груша, ребро и полка. Поверх полки балки располагался слой гидроизоляции, а поверхность гидроизоляции – защитный слой из бетона (класс по прочности В35 по СТБ 2221 [3]) толщиной 60 мм, что отвечает требованиям ТКП 45-3.03-232 [1]. По центру балки, в местах непосредственного приложения временной нагрузки, размеры пластинчатых элементов составляли 5 см.

При проектировании конструкции мостов их рассчитывают на современные нагрузки. В исследованиях использовались нагрузки в виде двухосной тележки с давлением на ось 14 т и в виде четырехосной тележки с давлением на ось 28 т.

Для начала проанализируем поведение бетонного защитного слоя при наезде двухосной тележки с давлением на ось 14 т. Графическое изображение полученных напряжений представлено на рисунке 2.

Изначально полка балки и защитный слой гидроизоляции находятся в сжатой зоне. На

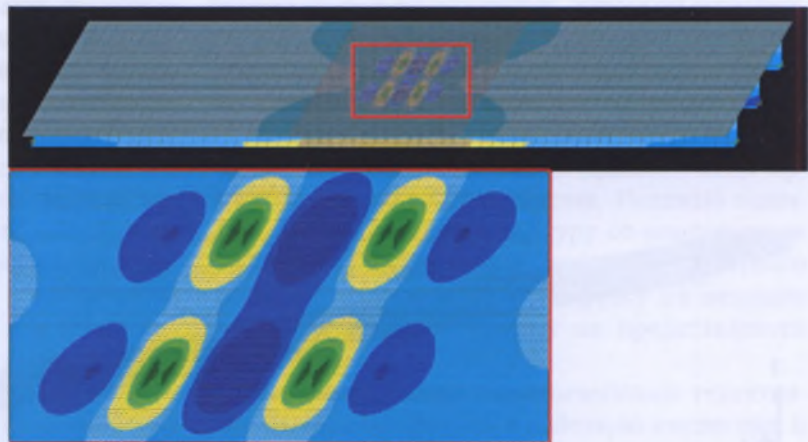


Рисунок 2 – Напряжения по нижней грани защитного слоя гидроизоляции, возникающие от действия двухосной тележки с давлением на ось 14 т



графическом изображении видно, как в зоне непосредственного приложения нагрузки возникают положительные растягивающие напряжения (желтый и зеленый цвет) величиной до 8 МПа. Кроме того, рядом возникают отрицательные сжимающие напряжения (синий и голубой цвет) до минус 4 МПа.

Поведение защитного слоя при наезде четырехосной тележки с давлением на ось 28 т показано на рисунке 3. Перепады напряжения заметны и здесь, причем за счет более тяжелой нагрузки значения напряжения получились: от минус 9 МПа (синий и голубой цвет) – значения сжимающих напряжений до 13 МПа – значения растягивающих напряжений (желтый и зеленый цвет).

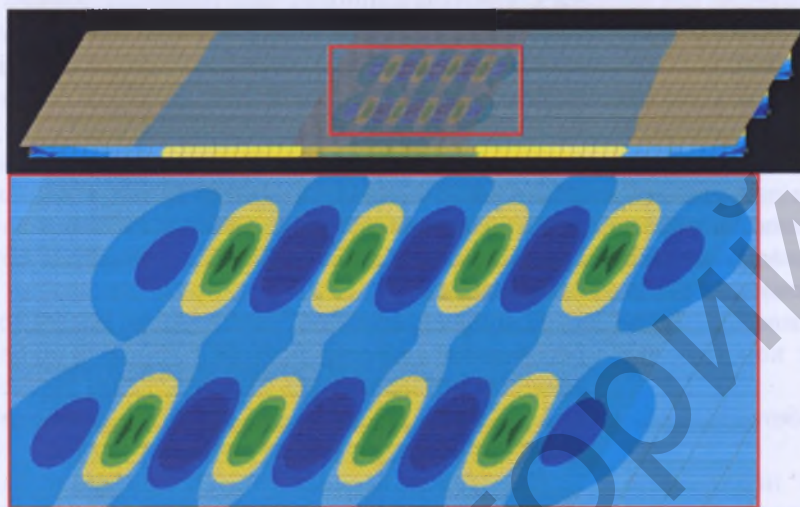


Рисунок 3 – Напряжения по нижней грани защитного слоя гидроизоляции, возникающие от действия четырехосной тележки с давлением на ось 28 т

Еще более сложные условия для работы защитного слоя складываются в неразрезных пролетных строениях. Временные нагрузки, проходящие по мосту, вызывают не только прогиб пролетного строения с появлением сжимающих напряжений в защитном слое гидроизоляции, но и создают растягивающие напряжения в надпорных участках.

Анализ данной ситуации проведем на примере неразрезного сталежелезобетонного пролетного строения.

Для расчета неразрезного сталежелезобетонного пролетного строения за основу был взят проект моста через р. Днепр, расположенного по левой полосе движения автомобильной дороги М-5/Е271 Минск – Гомель. Попролетная формула моста (в осях опирания) – 33+42+63+2×84+63+42+33 м. Расчетная схема приведена на рисунке 4. Для расчета были приняты следующие исходные данные:

- пролетное строение состоит из двух главных балок двутаврового сечения, жестко объединенных по верхнему поясу с монолитной железобетонной плитой проезжей части;

- высота главных балок – 3,64 м, материал – прокат низколегированный конструкционный из стали марок 10ХСНД, 10ХСНД-2, 15ХСНД, 15ХСНД-2 по ГОСТ 6713 [5];

- номинальная толщина монолитной железобетонной плиты в границах ездового полотна – 210 мм.

При расчете стальные главные балки задавались как совокупность пластинчатых элементов: нижний пояс, ребро, верхний пояс. Поперечные и продольные связи – стержнями. Поверх элементов располагалась железобетонная плита, гидроизоляция и защитный слой. Поверх гидроизоляции –

защитный слой из бетона (класс по прочности В35 по СТБ 2221 [3]) толщиной 60 мм.

Расчет показал, что при полной проектной нагрузке, приложенной в середине пролета, над опорой в защитном слое возникают растягивающие напряжения до 3 МПа. При наезде двухосной тележки с давлением на ось 14 т и четырехосной тележки с давлением на ось 28 т там воз-



Рисунок 4 – Расчетная схема неразрезного сталежелезобетонного пролетного строения с попролетной формулой 33+42+63+2×84+63+42+33 м



**Рисунок 5 – Фрагмент сталежелезобетонного пролетного строения с напряжениями в бетоне защитного слоя гидроизоляции, возникающими при наезде четырехосной тележки с давлением на ось 28 т**

никают растягивающие напряжения до 6 МПа (темно-фиолетовый цвет) и сжимающие – до минус 7 МПа (желтый цвет) (рис. 5).

Таким образом, расчет показал, что в бетонном защитном слое гидроизоляции мостового полотна при действии временных нагрузок возникают растягивающие напряжения, значение которых доходит до 13 МПа. Согласно [6] при контакте твердого тела с жидкой средой и при наличии растягивающих напряжений снижается прочность бетона и появляется хрупкость, вследствие чего уменьшается долговечность (эффект Ребиндера).

Расчетное сопротивление бетона В35 при растяжении на прочность (I группа предельных состояний) – 1,15 МПа, на трещиностойкость (II группа предельных состояний) – 1,95 МПа. Согласно [1] толщина бетонного защитного слоя должна быть не менее 60 мм, но и не очень большой по условиям нагружения несущих конструкций. При значениях напряжений, приведенных в расчетах, их перепаде и воздействии циклических нагрузок появление трещин практически неизбежно. При очень высокой интенсивности движения на дорогах высоких категорий, когда тяжеловесные транспортные средства двигаются в колоннах, интервал каждого последующего наезда составляет менее 5 с, вследствие чего в бетоне защитного слоя происходит рост остаточных деформаций. Под многократным воздействием колесной нагрузки вода в порах, как несжимаемая субстанция, провоцирует ускоренное разрушение бетона.

Трещины в бетоне защитного слоя являются серьезной проблемой. В них происходит попеременное замораживание и оттаивание воды, которая фильтруется через асфальтобетонное покрытие. Вода, увеличиваясь в объеме при

размораживании, разрушает структуру бетона. Синергетический разрушающий эффект наблюдается при совместном действии растворов противогололедных реагентов и их замораживания-оттаивания. Это провоцирует дальнейшее раскрытие и развитие трещин.

#### **Заключение**

Мониторинг состояния мостов в процессе эксплуатации и результаты расчетов показывают, что в защитном слое гидроизоляции возникают резкие перепады напряжений в бетоне. Совместное воздействие высокой интенсивности движения, увеличивающихся грузовых потоков и растворов реагентов приводит к преждевременному разрушению защитного слоя, что влечет за собой сокращение срока службы всего мостового сооружения. Замена поврежденной гидроизоляции требует серьезных материальных затрат, поэтому необходимо устраивать прочный защитный слой.

На данный момент для решения проблемы существует много вариантов упрочнения бетонного защитного слоя:

1. Армирование металлическими сетками. Существенным недостатком данного вида армирования является коррозия. 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. Высокая стойкость к действию кислотных и щелочных сред не спасает полимерный материал сеток от старения. Предотвратить это могут высокотехнологичные пропитки, над которыми сейчас трудятся целые научные институты [7].



На данный момент этот недостаток не устранен. Кроме того, большинство полимеров обладает пластичностью даже при небольших напряжениях.

3. Дисперсное армирование в следующих вариантах:

- армирование стекловолокном. Со временем в щелочной среде бетона стекловолокно разрушается и теряет свои свойства [8, 9]. Поэтому долговечность защитного слоя существенно снижается;

- 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 полиме-

ра приводит к нарастанию хрупкости волокон и соответствующему снижению надежности защитного слоя;

- армирование металлической фиброй. Преимуществами по сравнению с другими видами армирования являются: способность материала препятствовать возникновению и распространению трещин, повышение предела трещиностойкости; увеличение прочности на удар. Проблемой данного вида армирования является коррозия.

Применение высокопрочного бетона, армированного металлической фиброй БМЗ, – перспективное решение при условии создания на ней защитного слоя, предотвращающего коррозию и обеспечивающего сцепление с цементным камнем.

### Список использованной литературы

1. Мосты и трубы. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-3.03-232 (02250).
2. Типовой проект серии 3.503-12. Унифицированные сборные пролетные строения из предварительно напряженного железобетона для мостов и путепроводов на автомобильных и городских дорогах. Выпуск 8. Косые пролетные строения из цельноперевозимых балок длиной 15, 18, 21, 24 и 33 м / Союздорпроект. – М., 1970.
3. Бетоны конструкционные тяжелые для транспортного и гидротехнического строительства. Технические условия : СТБ 2221-2011.
4. Карпиловский, В. С., Криксунов, Э. З., Маляренко, А. А., Перельмутер, А. В., Перельмутер, М. А. SCAD Office. Формирование сечений и расчет их геометрических характеристик. – М. : АСВ, 2013. – 128 с.
5. Прокат низколегированный конструкционный для мостостроения. Технические условия : ГОСТ 6713-91.
6. Грачев, С. В., Бараз, В. Р., Богатов, А. А., Швейкин, В. П. Физическое материаловедение : учебник для вузов. – Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2001.
7. Бусел, А. В., Смыковский, А. И., Чистова, Т. А. Перспективы применения тонкослойных цементобетонных дорожных покрытий в условиях роста транспортных нагрузок // Технологии бетонов. – 2008. – № 2 (19). – С. 68–70.
8. Асланова, М. С., Колесов, Ю. И., Хазанов, В. Е. и др. Стекланные волокна / под ред. Аслановой М. С. – М. : Химия, 1979. – 256 с.
9. Зак, А. Ф. Физико-химические свойства стеклнного волокна. – М. : Ростехиздат, 1962. – 224 с.

Статья поступила в редакцию 17.04.2015