

Ссылка для цитирования

Марченко М.С. Первый опыт и перспективы применения отечественного сверхвысокопрочного сталефибробетона в автодорожных мостовых сооружениях // Автомобильные дороги. 2020. №10. С.48-50.

Марченко Максим Сергеевич, Директор по проектированию АО «Институт технологий преднапряжения», marchenko@tension.ru

## **ПЕРВЫЙ ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО СВЕРХВЫСОКОПРОЧНОГО СТАЛЕФИБРОБЕТОНА В АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЯХ**

*Совсем недавно бетоны с кубиковой прочностью выше 60 МПа считались редким явлением в отечественном строительном комплексе, но сегодня уже появился первый опыт применения составов с прочностью 140 МПа, а перспективы его использования в мостостроении, которые описаны в данной статье, выглядят довольно оптимистично.*

Действующие нормы по проектированию мостовых сооружений содержат максимально возможный класс бетона В60 для железобетонных конструкций. Однако в реальности, с учетом технологических и логистических сложностей, примеров применения бетонов с такой прочностью в мостостроении не так уж и много. Если не брать в расчет такие выдающиеся сооружения, как например «парящий» мост в Зарядье в Москве или мост на остров Русский, то количество мостовых конструкций даже с бетоном класса В50 будет довольно ограничено.

В тоже время по состоянию на 2018 год в международной практике мостостроения было известно более чем о 20 объектах с использованием бетонов кубиковой прочностью на сжатие 140 и выше [1]. Однако нельзя полагать, что отечественное материаловедение безнадежно отстаёт от зарубежного опыта, основная проблема применения новых материалов, как известно, это отсутствие информации об их наличии и свойствах. Так к 2013 году в результате исследований НИИЖБа и Предприятия Мастер Бетон был накоплен достаточный опыт и знания об отечественном сверхвысокопрочном сталефибробетоне [2].

Специалисты АО «Институт технологий преднапряжения» (АО «ИТП») по инициативе автора настоящей статьи в рамках работы по разработке проектной и рабочей документации на усиление существующих автодорожных балок, которая выполнялась по заказу ООО «СТС» в

2017-2018 годах, предложили использовать сверхвысокопрочный сталефибробетон для устройства накладных упоров для крепления внешней предварительно-напряженной арматуры.

Способ усиления балочных пролетных строений внешним предварительно напряжением известен нашим мостостроителям, так журнал «Автомобильные дороги» уже в 1995 году рассказывал об успешном опыте применении коллективом сотрудников СоюздорНИИ такого метода в 1994 году, когда было успешно произведено усиление двух железобетонных балочных мостов в Нижегородской области [3].

Сущность метода состоит в расположении предварительно-напряженной арматуры вне сечения балки (см. рис.1), с эксцентриситетом приложения усилия относительно центра тяжести, за счет чего на балку передается нагрузка, обратная по направлению к действующим нагрузкам от собственного веса и автотранспорта. Одним из главных достоинства данного метода является возможность провести работы по усилению быстро, качественно и без перерыва в движении транспорта [4].

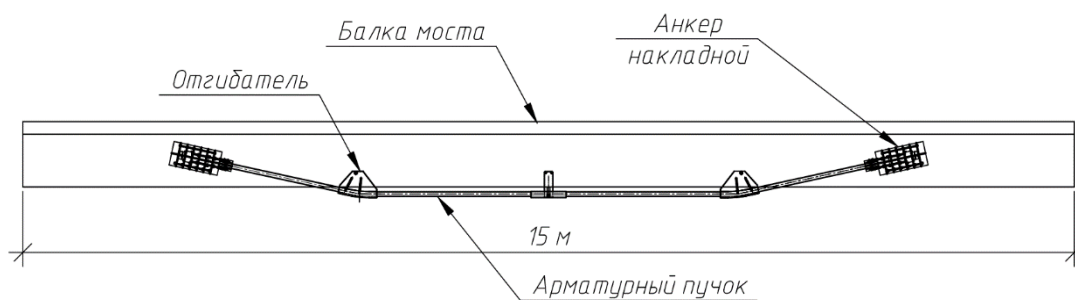


Рисунок 1 – Пример схемы к усилению балки длиной 15 м

Обычно анкера изготавливаются из металла, имеют сложную конфигурацию и повышенную трудоемкость, и потребность в существенной механообработке.



Рисунок 2 – Испытание упоров

Автором статьи были выполнены расчеты накладных упоров из сверхвысокопрочного сталефибробетона кубиковой прочностью на сжатие 140 МПа с использованием объемных конечных элементов, подготовлены рабочие чертежи. В лаборатории АО «ИТП» в 2018 году совместно со специалистами ООО «СТС» и ООО «Предприятие Мастер Бетон» были проведены полномасштабные испытания серии из 8 упоров (см. рис. 2).

Испытания моделировали объектные условия полностью, без каких-либо упрощений. В результате все образцы серии прошли испытания успешно, арматурные пряди были разорваны без деформаций сдвига упоров. Учитывая ограничения главы Стальные конструкции СП 35.13330 для стальных канатов, обычно расчетные усилия во внешних предварительно-напряженных элементах усиления едва достигают 60% от разрывного напряжения, таким образом, разрыв канатов без сдвига упоров показывает высокую надежность предложенной конструкции.

На основании успешных испытаний 4 упора из сверхвысокопрочного сталефибробетона с кубиковой прочностью на сжатие 140 МПа были установлены в 2018 году на объекте и показывают надежную работу (см. рис. 3).



Рисунок 3 – Упор на объекте

Достоинства накладных анкеров (упоров) из сверхвысокопрочного сталефибробетона - это в первую очередь простота и сроки изготовления, готовность материала к восприятию нагрузки уже на 3 суток (набор более 70% прочности), и как следствие общее снижение стоимости работ по усилению балочных пролетных строений.

Автором статьи были продолжены работы по различным вариантам применения сверхвысокопрочного сталефибробетона на основе зарубежного опыта. В последнее время в нашей стране появились различные решения со сборными балками, наряду с двутавровыми предварительно-напряженными балками длиной 12-28 м высотой 1,23 и длиной 33 м высотой 1,53 м в опалубке применительно к типовому проекту 1981 года, также применяются относительно новые конструкции сборных балок длиной 18-33 м с общей монолитной плитой [5].

В качестве альтернативного варианта рассмотренным выше автором статьи в 2017-2018 годах в рамках договора между АО «ИТП» и ООО «СТС» было разработано пролетное строение полной длиной 33 м из сверхвысокопрочного сталефибробетона с кубиковой прочностью 140 МПа (сечение см. рис.4). Так как отечественные нормы не содержат правил расчета и конструирования мостовых конструкций из такого материала, за основу был взят нормативный документ Швейцарии, как одного из лидеров по применению сверхвысокопрочного сталефибробетона [6].

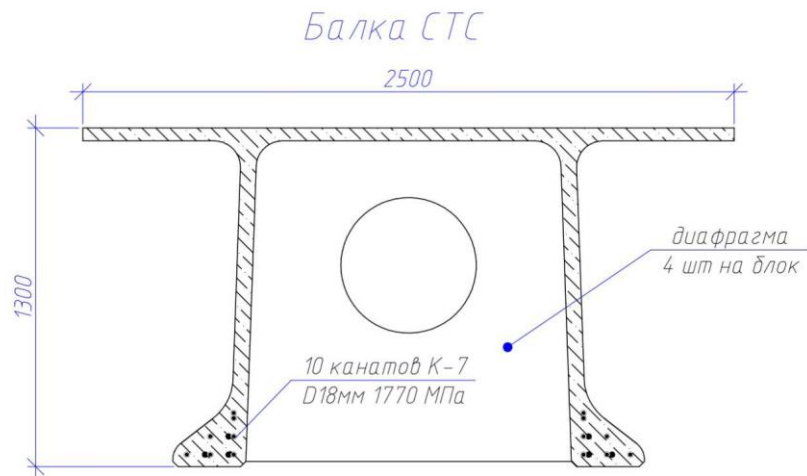


Рисунок 4 – Поперечное сечение балки длиной 33 м

Исходя из гипотезы плоских сечений для поперечного сечения сложной формы (см. рис.5) легко получить формулы для предельных состояний.

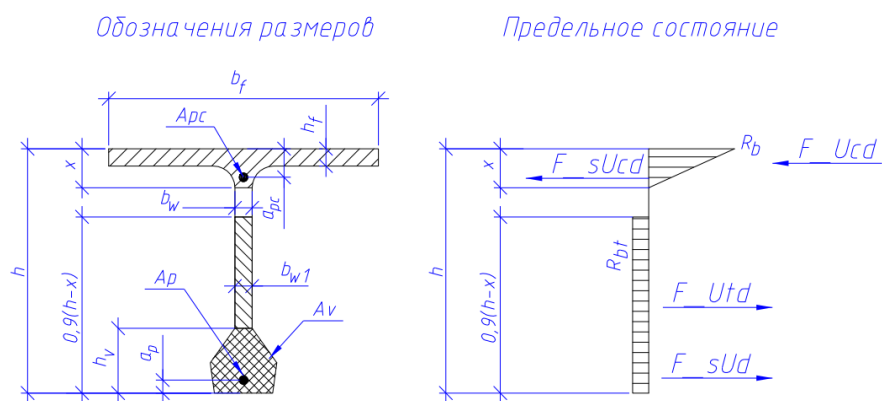


Рисунок 5 – Схема к определению предельного момента в сечении

Также автором было выполнено технико-экономическое сравнение с различными вариантами пролетных строений длиной 33 м для габарита Г-11,5. Результаты сравнения с приведением к 1 м<sup>2</sup> мостового сооружения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение вариантов сборных мостовых балок

Показатель	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Сборный бетон, м <sup>3</sup> / м <sup>2</sup>	0,38	0,3	0,15
Монолитный бетон, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	0,04	0,21	0,15
Выравнивающий слой, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	0,07	-	-
Арматура А240 и А400, кг/м <sup>2</sup>	89	96	18
Канаты (пряди) К7, кг/м <sup>2</sup>	28	22	14
Масса балки, т	61	56	30
Стоимость строительства в %	100	96	80

Вариант 1 состоит из 7 двутавровых балок с шагом 1,92 м в сечении, объединенных продольными монолитными швами. Вариант 2 включает 6 двутавровых балок с укороченной плитой, расположенных с шагом 2,2 м в сечении, объединенные поверху общей монолитной плитой 210 мм [5]. Вариант 3 содержит 6 балок из сверхвысокопрочного сталефибробетона с шагом 2,5 м в сечении, объединенных общей монолитной плитой 150 мм из классического бетона.

Как видно из таблицы, стоимость варианта 3 на 20% меньше самого распространенного решения. Конечно, до начала массового производства сверхвысокопрочного сталефибробетона рано говорить о существенной экономии. Однако, даже по расходу материалов вариант 3 является более привлекательным, что подразумевает уменьшение трудоемкости, а значит и сроков строительства. Одним из достоинств также будет являться малый вес монтируемых элементов в варианте 3.

При этом одним из самых главных достоинств нового материала является его повышенная водонепроницаемость, которая составляет более W20, что несомненно снизит эксплуатационные затраты и повысит экономическую целесообразность пролетных строений из сверхвысокопрочного сталефибробетона. Если же совсем отказаться от гидроизоляции, защитного слоя и нижнего слоя асфальтобетонного покрытия, заменив перечисленные слои на слой сверхвысокопрочного сталефибробетона толщиной 25-40 мм, то экономия будет гораздо более значительной. В настоящее время, АО «ИТП» по заказу ООО «СТС» проводит дальнейшие исследования в этом направлении.

#### Выводы

1. В российском мостостроении существует успешный опыт использования сверхвысокопрочного сталефибробетона отечественного производства с кубиковой прочностью 140 МПа и выше.
2. Перспективы применения сверхвысокопрочного сталефибробетона очевидны, начиная от простых изделий типа упоров, до гидроизоляции и конечно же полноценных балочных конструкций.
3. Существует необходимость проведения дополнительных исследований и научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок (НИОКР). Для массового применения также необходимо увеличивать количество объектов с опытной эксплуатацией.

## Литература

1. Mi Zhou, Wei Lu, Jianwei Song, George C. Lee. Application of Ultra-High-Performance Concrete in bridge engineering // Construction and Building Materials. – 2018. - №186. - pp. 1256–1267.
2. Каприелов С.С., Чилин И.А. Сверхвысокопрочный самоуплотняющийся фибробетон для монолитных конструкций // Строительные материалы. — 2003. — № 7. — С. 28–30.
3. Саканский Ю.Н., Семенов С.В., Архипов В.В., Насонов Д.Н. Опыт уширения габаритов и усиления балочных железобетонных пролетных строений мостов // Автомобильные дороги. — 1995. — № 3-4. — С. 13-15.
4. Анисимов А.В., Муха Ю.С., Ишкова А.В. Опыт ремонта и усиления балочных железобетонных пролётных строений // Дорожная держава. – 2019. - №91.
5. Суровцев А.Б. Предложения по конструкции нового типового проекта для пролётных строений мостов L=18 –33 м // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 3, №1 (2016) <http://t-s.today/PDF/05TS116.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
6. Recommendation: Ultra-High Performance Fibre Reinforced Cement-based composites (UHPC) Construction material, dimensioning and application. Swiss Federal Institute of Technology – Switzerland – 2016.