

Усиление железобетонных пролетных строений плитой из сверхпрочного фибробетона

Н.А. КОВАЛЕНКО, А.В. ГУРЧЕВ
(ООО «Автодор-Инжиниринг»)

В статье представлен обзор технических решений по усилению балочных пролетных строений автодорожных мостов; приведены результаты предварительных расчетов балок, усиленных накладной плитой из сверхпрочного фибробетона.

Ключевые слова: грузоподъемность, усиленная балка, накладная плита, сверхпрочный фибробетон, мостовые сооружения, методика расчета.

В соответствии с программой РФ «Развитие транспортной системы» [1] в 2024 г. объем перевозок грузов по транспортному комплексу и грузооборот вырастут более чем на 10% к уровню 2021 г. В то же время Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г. [2] предусматривает увеличение протяженности дорожной сети общего пользования в РФ практически в 2 раза как за счет нового строительства, так и за счет реконструкции более 7,5 тыс. км федеральных автомобильных дорог.

Усиление пролетных строений позволяет обеспечить полноценное функционирование мостового сооружения даже при существенных проявлениях физического морального износа и является эффективным инструментом оптимизации затрат на эксплуатацию мостовых сооружений.

На территории стран Таможенного союза наиболее распространенными (до 90%) являются мостовые сооружения из сборного железобетона, в которых пролетные строения представлены типовыми конструкциями. Ниже приведены результаты выборки из 1875 сооружений на автомобильных дорогах Государственной компании «Автодор»:

- 86% – доля железобетонных балочных мостов из сборных конструкций;
 - 30% – мосты, запроектированные под нагрузки Н30 и ниже;
 - 12% – мосты, которые находятся в эксплуатации более 30 лет.
- Примерно 20% из числа сооружений, запроектированных под нагрузки А11 или Н30 и ниже, нуждаются в усилении, а в отдельных случаях требуют замены пролетных строений или полной реконструкции.

Таким образом, почти 5% общего числа мостовых сооружений на автомобильных дорогах нуждаются в усилении или замене, что особенно актуально при переводе дороги в более высокую категорию в условиях постоянной растущей интенсивности движения.

К настоящему времени получили распространение следующие виды усиления балочных пролетных строений [5]:

- наклейка швеллеров;
- наклейка углепластиковых ламелей и холстов;
- устройство внешнего напрягаемого армирования;
- устройство накладной железобетонной плиты.

Применение накладной железобетонной плиты имеет преимущество перед остальными способами в следующих случаях:

- организация доступа к нижней поверхности пролетного строения и обустройства для производства работ в этой зоне требует значительных затрат и/или перерывов в движении под путепроводами;
- по результатам диагностики все элементы ездового полотна на мосту подлежат замене;
- в ходе ремонтов предыдущих лет толщина дорожной одежды на мосту увеличилась более чем на 5 см, при этом, по условию запланированного ремонта, требуется сохранить существующую отметку верха проезжей части.

Накладная плита повышает несущую способность пролетного строения и жесткость как в продольном направлении за счет увеличения момента инерции сечения, так и в поперечном, за счет включения плиты в перераспределение усилий между балками. Чем толще плита, тем больше плечо внутренней пары сил и предельный момент сечения, однако увеличивающийся собственный вес плиты снижает эффективность усиления. Рассмотрим стадии устройства монолитной накладной плиты.

На плите пролетного строения, полностью освобожденной от элементов мостового полотна, устанавливают арматурный каркас и заливают бетонной смесью. На этой стадии балки пролетного строения получают дополнительные по отношению к собственному весу напряжения и прогибы от веса накладной плиты.

По накладной плите устраивают мостовое полотно и запускают движение. На этой стадии балки и накладная плита работают совместно по восприятию усилий от временной нагрузки и второй части постоянной нагрузки (вес всех элементов мостового полотна).

Таким образом, собственный вес накладной плиты воспринимается только балками, а не совместным сечением. Это обуславливает принципиальное отличие напряженно-деформированного состояния усиленного сечения от балки, изготовленной с изначально более мощной плитой.

В ВСН 51-88 «Инструкция по уширению автодорожных мостов и путепроводов» (действ. с 01.07.1989 по 10.03.2021) описан метод регулирования усилий, который позволяет включить накладную плиту в совместную работу по восприятию усилий от собственного веса. Для реализации требуется установка промежуточных опор в серединах усиливаемых пролетов и поддомкрачивание пролетных строений, что далеко не всегда целесообразно и выполнимо.

Собственный вес плиты может быть уменьшен за счет применения в накладной плите материала из сверхпрочного фибробетона, имеющего класс прочности на сжатие В150–В250. Многолетний опыт применения таких составов марки Дюкпаль® на реальных мостовых сооружениях [4, 7–9] показывает, что уменьшение собственного веса накладной плиты может быть достигнуто не только за счет меньшего объема материала (в силу его большей прочности), но и за счет отказа от применения гидроизоляции и покрытия проезжей части.

Авторы провели сопоставительные расчеты балок по типовому проекту серии №3.503.1-73 (Союздорпроект) [3], усиленных накладной плитой из монолитного бетона В25 толщиной 150 мм с устройством покрытия проезжей части 90 мм (рис. 1), и из сверхпрочного фибробетона Дюкпаль® В150 толщиной 50 мм без покрытия проезжей части (рис. 2).

Каждый из вариантов усиления рассчитан с учетом стадийности производства работ, влияющей на формирование напряженно-деформированного состояния балки. ГОСТ Р 59488-2021 устанавливает требования к учету стадийности загрузки, но не приводит методику расчета.

Ю.М. Егорушкин (канд. техн. наук, главный специалист ЦНИИС) предлагает следующий подход к учету стадийности. Предельный изгибающий момент, который может быть воспринят сечением элемента, следует рассчитывать по формуле:

$$M_{ult} = M_{1,ult} + (M_{2,ult} - M_{1,ult}) \cdot (M_{1,ult} - M_0) / M_{1,ult}$$

где $M_{1,ult}$ – предельный изгибающий момент, воспринимаемый исходным сечением сборной балки по условию прочности; $M_{2,ult}$ – предельный изгибающий момент, воспринимаемый усиленным сечением сборно-монолитной балки, определенный в предположе-

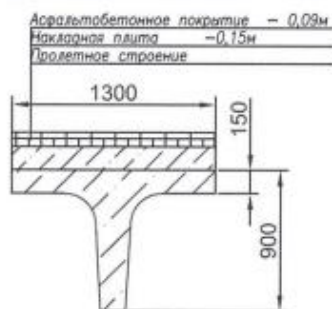


Рис. 1 Сечение балки с накладной плитой из бетона В25

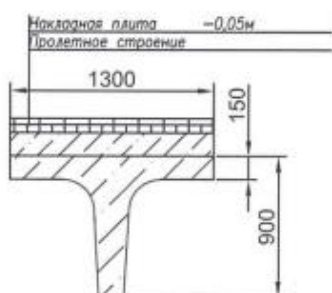


Рис. 2 Сечение балки с накладной плитой из сверхпрочного бетона В150

нии, что конструкция работает в одну стадию; M_0 – изгибающий момент от нагрузок первой стадии работы (собственного веса сборно-монолитной железобетонной балки).

Расчет при этом учитывает:

- работу накладной плиты в составе полного сечения на отдельные виды нагрузок;
- истинные прочностные характеристики бетона для элементов, входящих в поперечное сечение;
- перераспределение усилий между элементами сечения при переходе к очередной стадии нагружения конструкции;
- нелинейные зависимости деформирования бетона и ползучести.

Кроме того, расчет предполагает полную совместность работы накладной плиты с основной несущей конструкцией пролетного строения. Обоснованием этого допущения занимаются в настоящее время ООО «Цементум» и ООО «Сервис-МОСТ», в том числе и при циклическом нагружении, характерном для плиты проезжей части. Результаты испытаний указывают на возможность данного допущения в предварительных расчетах. В особенности это касается расположения элемента усиления в сжатой зоне, т.е. в середине между балками [8].

Полное включение накладной плиты в работу в теории может быть достигнуто при регулировании усилий, которое дает преимущество в 0,5–2К в классах грузоподъемности АК по моменту в середине сечения перед вариантом без регулирования усилий (таблица).

Увеличение толщины накладной плиты, с одной стороны – увеличивает несущую способность усиленного сечения, с другой стороны – приводит к увеличению собственного веса. На рис. 3 показано, что при увеличении толщины плиты прирост грузоподъемности постепенно снижается. Начальный класс грузоподъемности балки в данном примере составляет А7,2, поскольку для расчетов взята балка с двумя оборванными нижними стержнями рабочей арматуры в ребре. Такое повреждение было выявлено на 8 сооружениях на автомобильных дорогах, находящихся в доверительном управлении Государственной компании «Автодор». Анализ результатов расчетов, представленных на рис. 3, показывает, что при одинаковой толщине плиты класс грузоподъемности по варианту со сверхпрочным сталефибробетоном выше «обычного» на 2–3 единицы. При этом основной вклад в этот эффект вносит отсутствие покрытия проезжей части при устройстве накладной плиты из сверхпрочного фибробетона.

Уменьшение толщины накладной плиты при использовании сверхпрочного фибробетона играет двоякую роль: снижается собственный вес плиты, но также уменьшается и плечо внутренней пары сил, что приводит к снижению предельного момента усиленного сечения.

По предложению научного консультанта доцента Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), канд. техн. наук А.В. Анисимова авторы данной статьи рассмотрели возможность применения пустотообразователей в накладной плите для увеличения момента инерции при том же расходе бетона и провели серию расчетов, результаты которых представлены на рис. 4. Толщина накладной плиты во всех вариантах одинакова и равна 100 мм, класс прочности бетона в первом варианте В35, во втором и третьем – В150. Объем бетона в первых двух вариантах одинаковый, а в третьем варианте пустотность позволяет уменьшить расход бетона на 40%. Это приводит к уменьшению собственного веса накладной плиты, что определяет преимущество варианта №3 с пустотной плитой из сверхпрочного фибробетона по классу грузоподъемности: 13,4 против 12,7.

Принятая в качестве варианта № 3 модель плиты с пустотами не является окончательным вариантом, требует дополнительных расчетов в части уточнения параметров толщин стенок.

Применение пустотообразователей в накладной плите позволяет увеличить момент инерции и плечо внутренней пары сил без увеличения веса накладной плиты. Или наоборот, уменьшить вес плиты без заметного уменьшения внутреннего момента сил.

– Дальнейшие расчеты и исследования авторы планируют провести в следующих направлениях:

- определение минимально возможных толщин стенки и свода пустотной плиты, исходя из длины фибры и результатов расчетов на местную нагрузку;
- разработка методики подбора оптимальных конструктивных решений по усилению балочных пролетных строений накладными плитами из сверхпрочного сталефибробетона.

Описание	Способ устройства и расчета накладной плиты	M действующий т*м	M alt (M пред.) т*м	АК
Балка с накладной плитой высотой 15 см из бетона В25 с проезжей частью высотой 9 см	С регулированием усилий, при котором происходит полное включение накладной плиты в работу на собственный вес	117,6	123,23	12,1
	Без регулирования усилий, с учетом стадийности включения накладной плиты в работу		112,6	9,8
Балка с накладной плитой высотой 5 см из бетона СВПДАБ Ductal® В150 без покрытия проезжей части	С регулированием усилий, при котором происходит полное включение накладной плиты в работу на собственный вес	104,0	114,4	12,8
	Без регулирования усилий, с учетом стадийности включения накладной плиты в работу		109,1	11,8

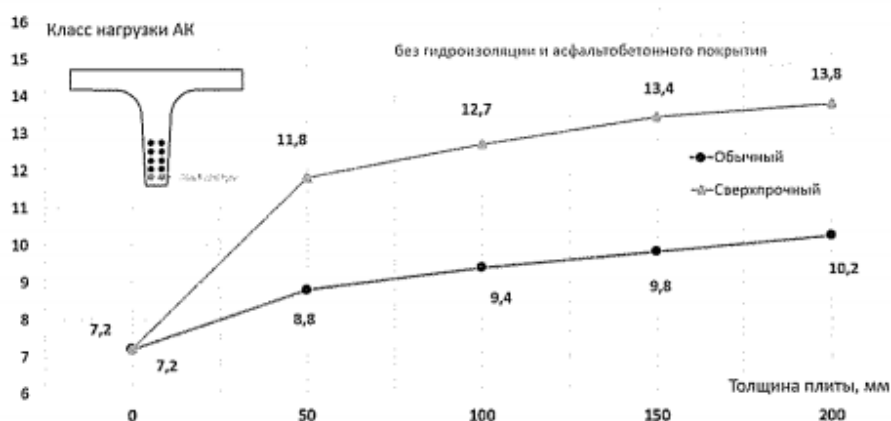


Рис. 3 Изменение класса грузоподъемности усиленной балки в зависимости от толщины накладной плиты

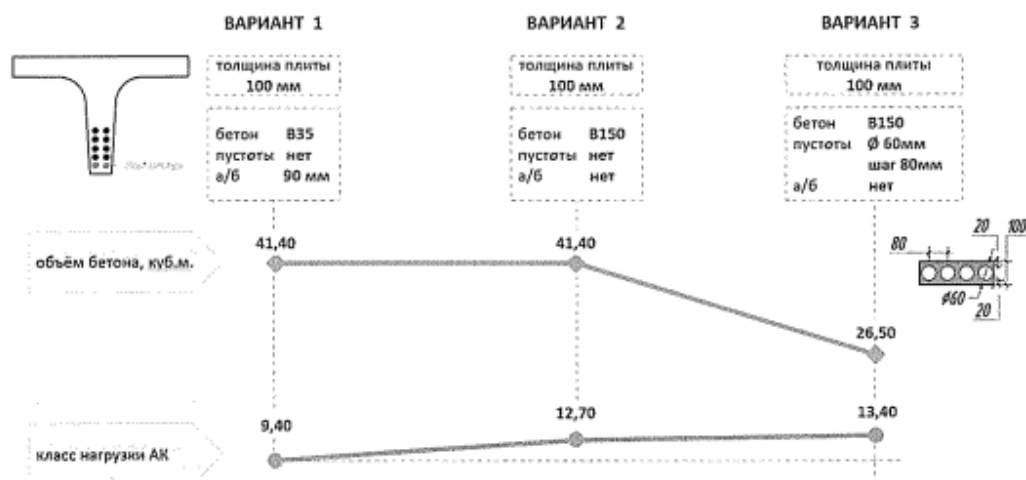


Рис. 4 Соотношение объема бетона накладной плиты и класса нагрузки усиленной балки

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 24.12.2021 № 2442 «О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации «Развитие транспортной системы».
2. Распоряжение Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363-р «О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года».
3. Технические решения по усилению железобетонных автодорожных мостов альбом № 1: ФДД, НПО «РосдорНИИ». – М., 1993.
4. Ойген Брювилер. Ремонт и усиление существующего моста с использованием сверхвысокопрочного фибробетона для усиления мостов. 13 ноября 2018 года Швейцарский федеральный технологический институт, Лозанна, Швейцария / E. Brühwiler. Structural UHPFRC to enhance bridges // 2nd International Conference on UHP Materials and Structures (UHPC 2018 – China). – Fuzhou, China, 2018. – P. 140–158.
5. Анисимов А.В. Современные решения для строительства, ремонта и реконструкции мостовых сооружений. Открытый микрофон // Мостовые сооружения. XXI век, спецвыпуск (45) 2020, с. 53.
6. Анисимов А.В., Ишкова А.В., Муха Ю.С. Опыт ремонта и усиления балочных пролетных строений // Дорожная держава. Санкт-Петербург, ООО «Отраслевая медиа-корпорация «Держава», № 91/2019, с. 40–43.
7. Ойген Брювилер. Улучшение прочностных и эксплуатационных характеристик мостовых конструкций с использованием сверхвысокопрочного фибробетона // Дорожная держава, 2020, № 95. – С. 52–59.

8. Сапронов И.М., Чурилов Р.С. Концепция добавленного слоя из сверхвысокопрочного фибробетона для железобетонных конструкций эксплуатируемых мостов // Дорожная держава, 2020, № 95. – С. 48–51.

9. Сапронов И.М., Чурилов Р.С., Бернарди С. О применении сверхвысокопрочного фибробетона DUCTAL® в российском мостостроении // Дорожная держава, 2020, № 94. – С. 78–85.

STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE SPANS WITH A SLAB OF HEAVY-DUTY FIBER-REINFORCED CONCRETE

Natalya A. Kovalenko, Aleksandr V. Gurchev

The article provides an overview of technical solutions for strengthening girder superstructures of road bridges. The results of preliminary calculations of beams reinforced with an overhead plate made of heavy-duty fiber concrete are presented.

Key words: load capacity, reinforced beam, overhead plate, heavy-duty fiber concrete, bridge structures, calculation method.

Статья поступила в редакцию 15.07.2023 г., принята к публикации 15.09.2023 г.

Авторы: Коваленко Наталья Александровна, начальник управления строительного контроля (центральный аппарат), e-mail: N.Kovalenko@avtodor-eng.ru; Гурчев Александр Викторович, главный специалист отдела диагностики искусственных сооружений ООО «Автотор-Инжиниринг», Москва.