

- для балок серии Б-II -  $\theta = 37,4^\circ$
- для балок серии Б-III -  $\theta = 36,29^\circ$

Графическое сравнение опытных и расчетных значений углов наклона критической трещины для испытанных сборно-монолитных балок показано на рисунке 5. Как видно из представленного сравнения, предложенная методика определения углов наклона критической трещины дает хорошее совпадение с опытными данными и позволяет повысить точность расчета наклонных сечений сборно-монолитных балок с двузначной эпюрой изгибающих моментов.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНБ 5.03.01 «Бетонные и железобетонные конструкции» - Мн.: Стройтехнорм, 2003 г. - 139 с.
2. ENV 1992-1-1, Eurocode 2 «Design of concrete structures. Part 1-1: General Rules and Rules for Building». - Comission of European Communities, Dec 1991. p.253.
3. Knauff M. Wplyw sily poprzecznej na zbrojenie podluzne belek zelbetowych - uwagi o zasadach konstruowania // Inzynieria I Budownictwo. -2004. №10, p. 549-552.
4. Пособие по проектированию сборно-монолитных конструкций/ Госстрой СССР.— М.: Стройиздат, 1989.— 73 с.
5. Проектирование и изготовление сборно-монолитных конструкций, под ред. проф. А. Б. Голышева - Киев, Будівельник, 1987, - 220 с.
6. Тур В.В., Кондратчик А. А. Расчет железобетонных конструкций при действии перерезывающих сил. - Брест: изд. БГТУ, 2000 - 400 с.
7. Тур В.В., Шалобыта Т.П., Щербач А.В. Общий метод расчета сборно-монолитных балок с неупругими связями сдвига при совместном действии изгибающих моментов и перерезывающих сил// Вестник БГТУ. Строительство и архитектура.- 2004. №1.
8. Щербач А. В. Экспериментальное определение прочности наклонных сечений самонапряженных сборно-монолитных балок со знакопеременной эпюрой изгибающих моментов// Вестник БГТУ. Строительство и архитектура.- 2003. №1.

УДК 624.012.464.4

Образцов О.Л.

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ БЕЗ СЦЕПЛЕНИЯ НАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ С БЕТОНОМ НА ПРИМЕРЕ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ВНЕШНИМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ (ОПЫТ ГЕРМАНИИ)

#### ВВЕДЕНИЕ

В недалеком прошлом строители большим нагрузкам пытались противопоставить большие размеры сечений конструкции и большие прочностные характеристики материалов. Это продолжалось до того времени, пока не возникла идея о том, чтобы нагрузке противопоставить нагрузку. Это было начало предварительно напряженных конструкций [1].

Отдельную группу предварительно напряженных конструкций составляют конструкции без сцепления напрягаемой арматуры с бетоном. Несмотря на реализацию уникальных проектов с использованием таких конструкций (например, Останкинской телевизионной башни в г.Москве), применение их было ограничено по следующим причинам: отсутствие адекватных методов расчета, надежных анкерных систем и систем создания предварительного напряжения, способов защиты напрягаемой арматуры от агрессивных воздействий.

Предварительно напряженные конструкции, у которых напрягаемая арматура не имеет сцепления с окружающим ее бетоном, относятся к специфическим конструкциям, для которых практическое применение намного опередило теорию их расчета.

В послевоенные годы при постоянно возрастающих объемах нового строительства в Европе имела место обширная конкуренция при выборе конструктивных решений и методов их исполнения для мостовых конструкций. В 50-е годы разрабатывались нормативные документы для предварительно напряженных мостов. В первую очередь применялись предварительно напряженные конструкции с последующим инъецированием каналов, которое обеспечивало сцепление напрягаемой арматуры и бетона. При использовании и развитии этих конструкций естественно появлялись проблемы. Между

тем накопленный международный опыт и известные недостатки такого рода конструкций в середине 80-х годов содействовали проявлению интереса к конструкциям с внешним предварительным напряжением. [2, 3]

По конструктивному решению принято рассматривать предварительно напряженные элементы с внешней напрягаемой арматурой, располагаемой вне тела бетонного сечения и элементы, в которых напрягаемые стержни размещают в заранее выполненных каналах без последующего инъецирования последних цементным раствором [4].

## 1. ПРИМЕРЫ ВОЗВЕДЕНИЯ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

### 1.1. Виадук «Verbke», земля Заарланд, Германия

Одним из самых больших событий в области новостроек скоростных автомагистралей Германии явилось строительство автомагистрали BAB A46 в Заарланде.

В 1986 году фирма Karl Schäfer Co. GmbH получила заказ на строительство виадука «Verbke», который был первым транспортным сооружением, выполненным названной фирмой из пролетных конструкций с внешним предварительным напряжением (см. рис.1).

Строители предложили использовать технологию пошагового возведения и создания предварительного напряжения. Проект виадука был разработан Prof. Dr.-Ing. J. Eibl [2]. Напрягаемая арматура располагалась в элементах коробчатого сечения прямолинейно-внешним образом по отношению к бетону. Для создания предварительного напряжения была использована система BBRV-SUSPA [5], которая позволила создать усилие преднапряжения 2430 kN. Напрягаемая арматура, не имевшая сцепления с бетоном, была заанкерена в железобетонных пиллястрах толщиной 1.6м. В них же была выполнена стыковка внахлестку напрягаемой арматуры, не имевшей сцепления с бетоном (рис. 2).

Мост сооружался поточным методом при длине отдельных секций 22,5 м. Поперечные диафрагмы жесткости и поперечные опоры для железобетонных пиллястр бетонировались одновременно с участками, к которым они принадлежали [5].

Напрягаемая арматура имела двойную длину такта и устанавливалась как сборный напрягаемый элемент в соответствии с проектом производства работ, разработанным при возведении пролетных строений моста.

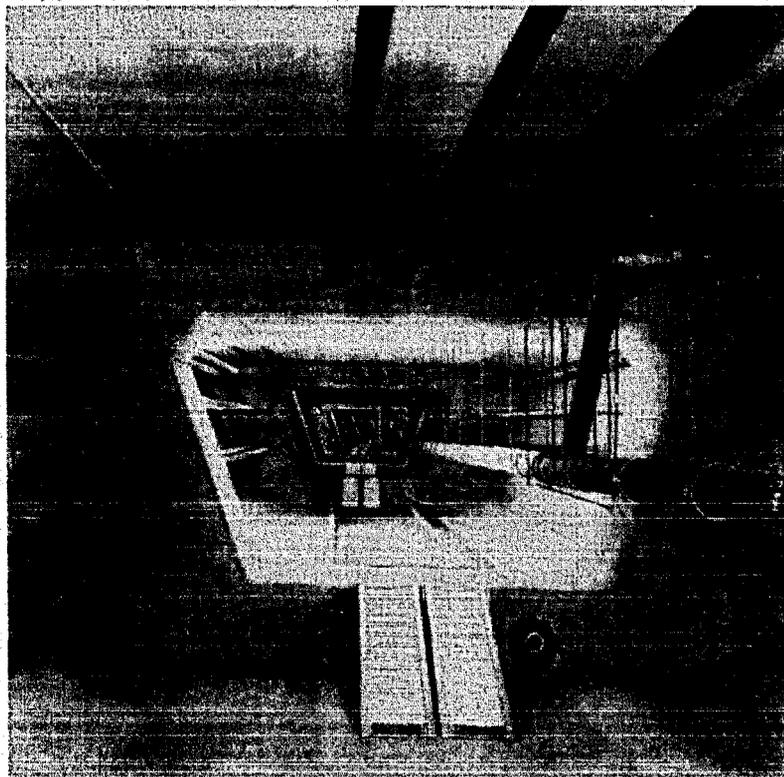
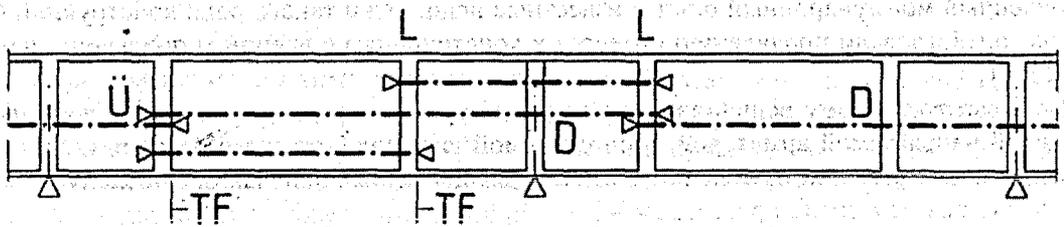


Рисунок 1 – Виадук «Verbke», коробчатое сечение с внешними продольными предварительно напряженными стержнями [5]

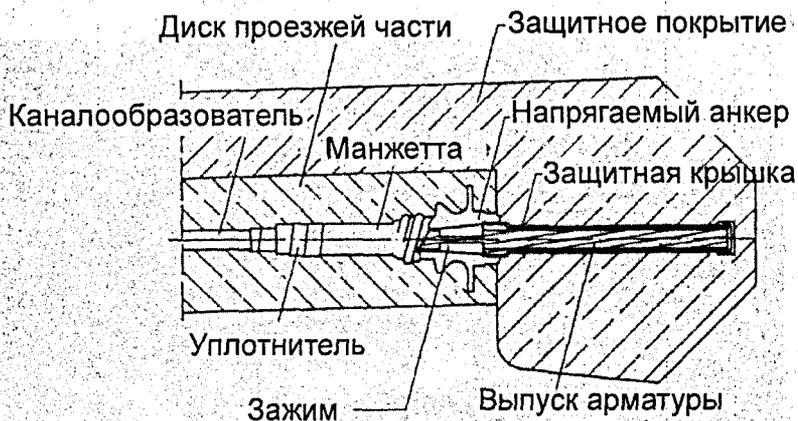


(L – преднапряженная железобетонная пилястра, Ü – стык внахлестку, D – трассировка, TF – шаг)

**Рисунок 2** – Схема расположения напрягаемых стержней в конструктивном решении виадука «Verbke» [5]

Расчет пролетного строения моста производился в соответствии с концепцией, которая в Германии до сих пор не получила большого применения: создание частичного преднапряжения (DIN 4227-2) и предварительного напряжения арматурными элементами, не имеющими сцепления с бетоном (DIN V 4227-6). При этом особое внимание было уделено ограничению ширины раскрытия трещин в железобетонных элементах пролетного строения. Результат был достигнут путем выбора соответствующего расхода арматурной стали (коэффициента продольного и поперечного армирования бетонного коробчатого сечения).

Диск проезжей части в поперечном направлении был также преднапряжен при помощи арматуры, не имеющей сцепления с бетоном (с забетонированными элементами системы VSL-MONOLITZEN [5]). Напрягаемая арматура выступала за анкерное устройство. Выступающий конец арматурного элемента не отрезался после создания преднапряжения, а оставался защищенным от коррозии в пределах каналообразователя. Поверх выпуска устраивалось съемное защитное покрытие из бетона (рис. 3). Это позволяет регулировать величину обжатия бетона на свободном участке диска проезжей части в процессе эксплуатации. Для этого достаточно демонтировать защитное бетонное покрытие.



**Рисунок 3** – Схема размещения анкера (VSL-MONOLITZEN [5]) при создании предварительного напряжения в поперечном направлении диска проезжей части моста при использовании напрягаемой арматуры без сцепления с бетоном

### 1.2. Мост „Strothetalbrücke“

В 1991-1992 году был возведен виадук Strothetal (рис. 4).

Для строительства моста применялся пошаговый поточный метод ведения работ. Предварительное напряжение пролетных конструкций достигалось при использовании напрягаемой арматуры как со сцеплением, так и без сцепления с бетоном.

Напрягаемая арматура с последующим инъецированием каналов устанавливалась в диске основания проезжей части. Дополнительно использовались напрягаемые стержни без сцепления арматуры с бетоном (тип SUSPA VI [9]), которые обеспечивали обжатие в поперечном направлении.

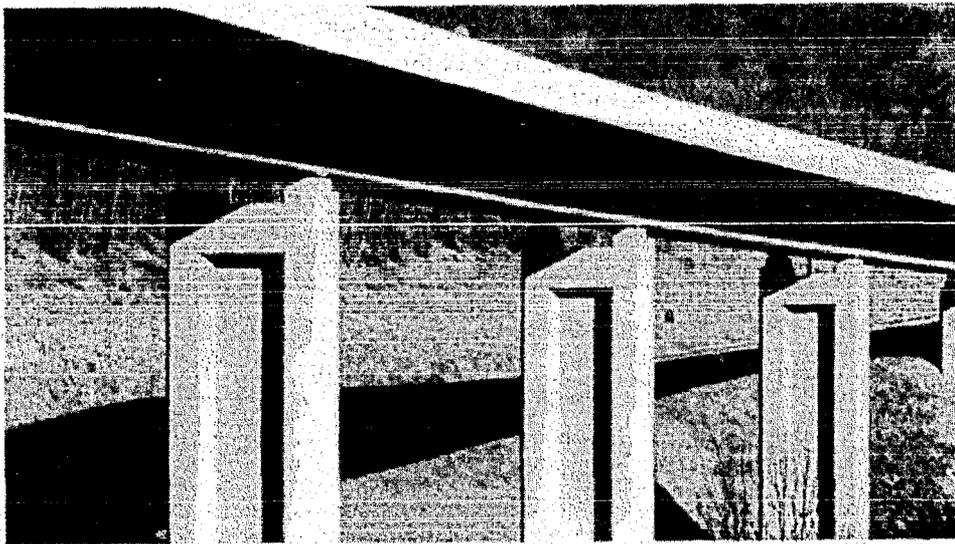
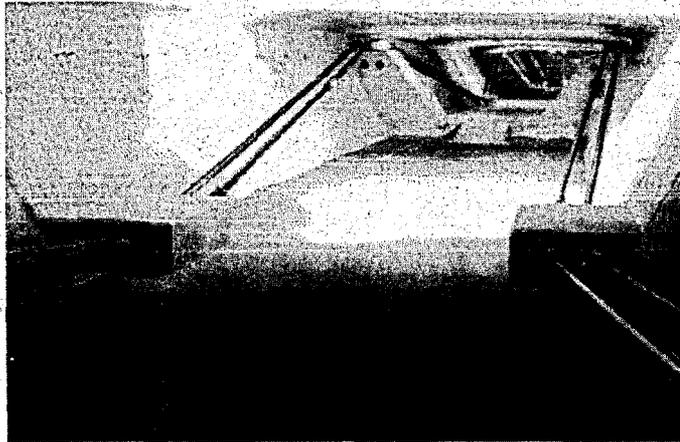


Рисунок 4 – Фрагмент моста Strothetalbrücke

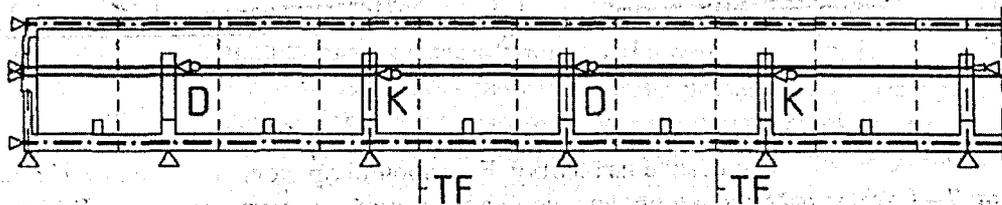
В завершающей стадии возведения моста напрягаемые стержни, которые располагались внешне по отношению к бетонному сечению, извлекали; через специально устроенные подушки в опорах и в середине пролета изменяли направление их трассировки и вновь выполняли натяжение арматурных элементов, располагавшихся ранее горизонтально (рис. 5).

При этом строительстве были апробированы все теоретические возможности внешнего предварительного напряжения: сброс силы натяжения, демонтаж напрягаемой арматуры, соединение, повторная сборка, натяжение, последующее натяжение.

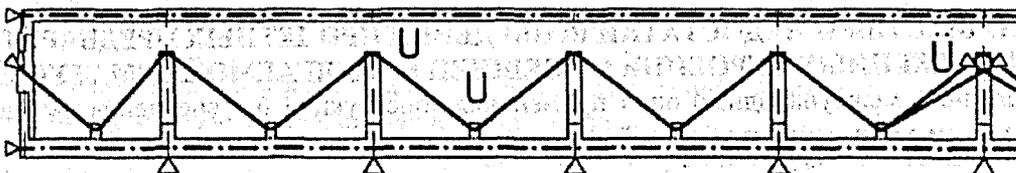
а)



б)



в)



(К – соединение, D – трассировка, TF – шаг, U – отклонение, Ü – стык)

Рисунок 5 – Общий вид (а) и принципиальные схемы размещения напрягаемых стержней в стадии возведения (б) и стадии эксплуатации (в) моста Strothetalbrücke [9]

### 1.3. Виадук „Rümmecke“

В 1996 фирма Karl Schäfer-Ko. приступила к строительству виадука «Rümmecke» по проекту, разработанному профессором Dr.-Ing. J. Eibl [2].

В отличие от обоих вышеназванных мостов с поэтапным возведением, было предложено на каждом этапе строительства применять опалубочный каркас (рис. 6). Для этого использовалась передвижная опалубка.

Продольная напрягаемая арматура при трассировке отгибалась через отгибающие устройства, размещаемые в подпятовой балке и в четверти рабочего пролета. Сопряжение напрягаемых элементов осуществлялось внахлестку (рис. 7, 8).

Пролетное строение моста было рассчитано с использованием положений теории частичного преднапряжения и предварительного напряжения без сцепления напрягаемой арматуры с бетоном (DIN V 4227-6).

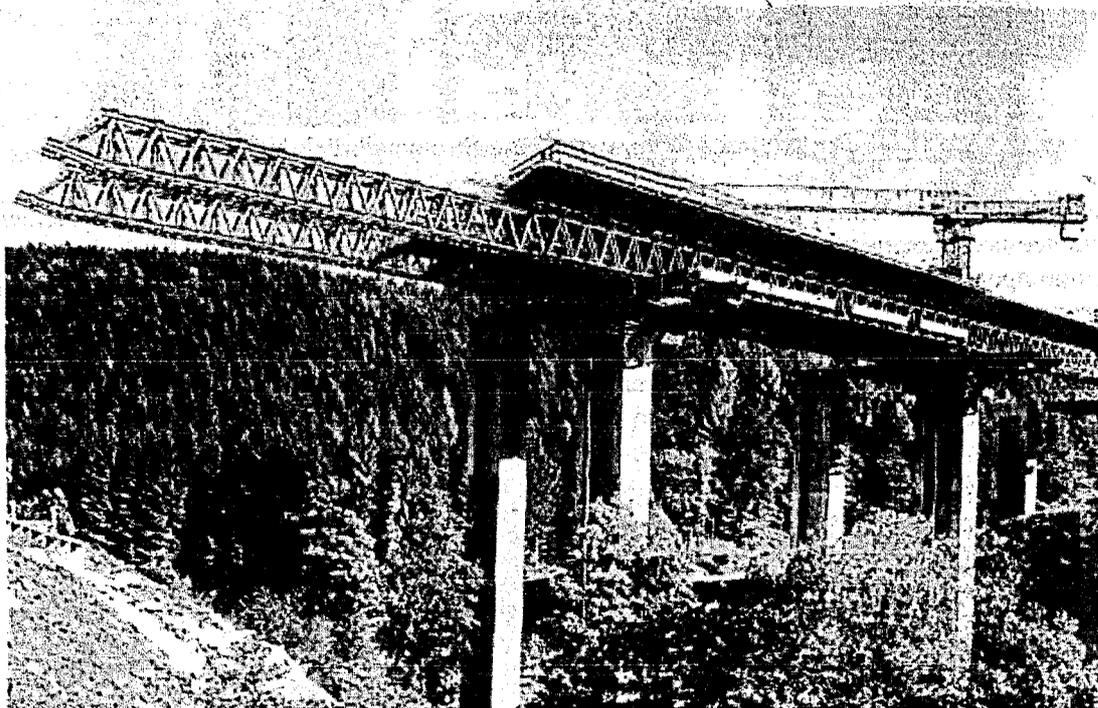
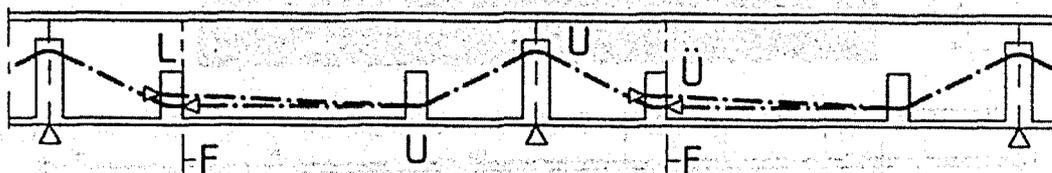


Рисунок 6 – Виадук „Rümmecke“. Возведение пролетного строения виадука с использованием передвижной опалубки [10]



(L – преднапряженная железобетонная пилястра, U – отклонение, Ü – стык в нахлестку, F – рабочий пролет)

Рисунок 7 – Схема трассировки продольной напрягаемой арматуры виадука «Rümmecke»

## 2. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ВОЗВЕДЕНИЯ ПРОЛЕТНЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ СТРОЕНИЙ С ВНЕШНЕЙ НАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРОЙ

Накопленный международный опыт применения конструкций без сцепления напрягаемой арматуры с бетоном указывает, что данный тип конструкции является для строительства технически возможным.

Опираясь на рассмотренные примеры конструктивных решений пролетных строений виадуков можно выделить следующие преимущества и недостатки, которые имеют место при возведении мостов с внешней предварительной затяжкой и коробчатым поперечным сечением [6, 10]:

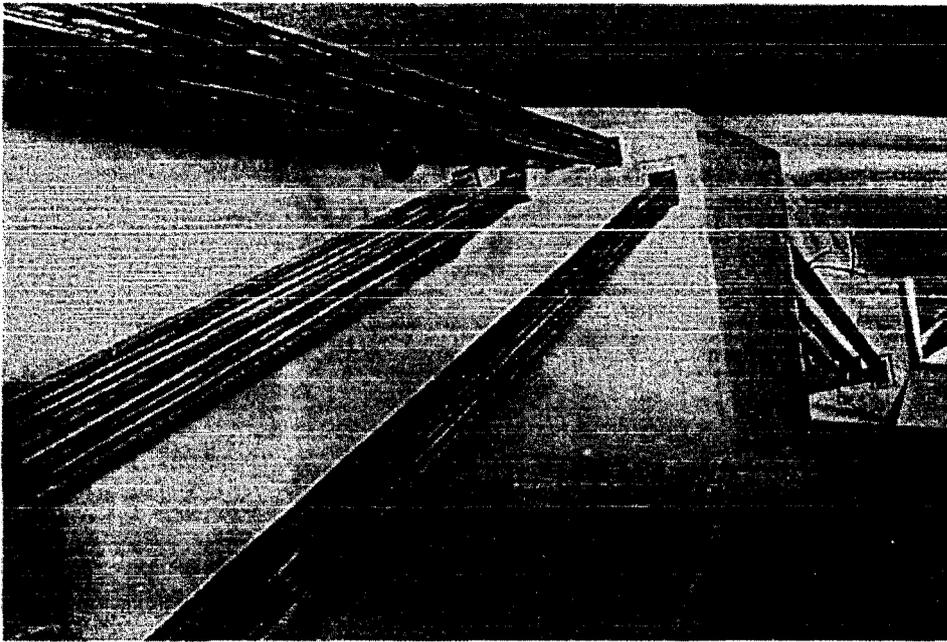


Рисунок 8 – Виадук «Rümmeske», коробчатое сечение с внешними продольными напрягаемыми элементами VT-CMM-D [10]

**Преимущества:**

- 1. Устройство перегородок жесткости коробчатого сечения - удобные и простые элементы, позволяющие выполнять трассировку напрягаемой арматуры.
- 2. Пролетное строение - хорошие технологические возможности при укладке и уплотнении бетона.
- 3. Диск проезжей части: - удобное с технологических позиций размещение напрягаемой арматуры,  
- очень хорошие условия для укладки бетона,  
- оптимальные условия уплотнения и ухода за бетоном,  
- отсутствие трубок для удаления воздуха.
- 4. Напрягаемые элементы: - использование напрягаемых элементов заводского изготовления,  
- заводская защита от коррозии,  
- неоднократная защита от коррозии.
- 5. Возведение: - возможность выполнения работ независимо от сезонного колебания температур и погодных условий,  
- возможность проведение работ зимой,  
- отсутствие дополнительных работ в зонах преднапряжения.

**Недостатки:**

- технологические сложности, возникающие при изготовлении преднапряженных железобетонных пилястр,
- сложные технологические схемы размещения арматуры в области железобетонной пилястры и поперечной опорной балки,
- сложности, возникающие при монтаже анкерных устройств в местах отгибов при трассировке напрягаемых стержней,
- частичный отказ от использования крана, вследствие этого возросшая трудоемкость и количество работ, выполняемых вручную.

С точки зрения служб, которые ответственны за эксплуатацию мостовых сооружений, дополнительно необходимо отметить еще и следующие преимущества [7]:

- напрягаемая арматура легко инспектируется в любое время года в течение всего срока эксплуатации конструкции,
- напрягаемые элементы легко взаимозаменяемы,
- при необходимости может осуществляться дотяжка напрягаемых стержней,

- отсутствие напрягаемой арматуры в перегородках коробчатых балок,
- улучшается качество бетона перегородок и диска проезжей части, а, следовательно, и их долговечность.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Очень часто при рассмотрении конструктивных решений, в которых использованы элементы с внешней предварительно напряженной арматурой, в качестве основного недостатка выделяют повышенные издержки, необходимые для возведения такого рода конструкций. Оцениваются, к сожалению, только производственные расходы. Если, тем не менее, принять во внимание повышение качества и долговечности таких мостов, что исключает необходимость выполнения последующих усиленных пролетных конструкций и т.д., то такие конструктивные решения мостов окажутся не так дороги, как это часто кажется при первичном анализе. Если предположить, что в будущем будет возводиться все больше мостов с внешней напрягаемой арматурой, это приведет, в конечном итоге, к снижению их стоимости, а также повышению конкурентоспособности по сравнению, например, с преднапряженными мостами, у которых напрягаемые стержни имеют сцепление с бетоном.

Министерство транспорта Германии приняло конструкции с внешней предварительно напряженной арматурой в качестве стандартного типа мостовых конструкций. Это обстоятельство, в свою очередь, приветствовалось проектировщиками [8]. В заключении можно добавить, что современные стандарты качества при применении конструкций с внешней преднапряженной арматурой исключают такое определение как "дешевое решение".

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ajdukiewicz A., Mames J. Konstrukcji sprężone.- Arkady, 1982. - 431 p.
2. Eibl, J und Voss, W.: Zwei Autobahnbruecken mit externen Vorspannung. Beton- und Stahlbetonbau 84 (1989), H.11, S.291-296.
3. Metzler, H und Schmitz, Ch.: Spannbetonbruecken mit externer Vorspannung – Historischer Rueckblick und Erfahrungen einer Strassenbauverwaltung. Bauingenieur 73 (1998), S.83-88.
4. Образцов О.Л. Прочность комбинированно предварительно напряженных элементов без сцепления напрягаемой арматуры с бетоном при действии изгибающих моментов. Дис. ... канд.техн.наук. -Брест, 2002.
5. Krautwald, W., Thormaehlen, U. Und Schuett, K.: Talbruecke Berbke, Taktschiebebruecke mit externer Vorspannung. Wiesbaden: Deutscher Betonverein e.V., Spannbetonbruecken in der Bundesrepublik Deutschland 1987-1990.
6. Krautwald, W., Thormaehlen, U.: Prestressed Concrete Bridges with external Prestressing – Experience in the Areas of Design and Construction, FIP Structural Concrete 1997-1998.
7. Standfuss, F.: Neue Entwicklungen im Brueckenbau – 8.Dresdener Brueckenbausymposium 1998.
8. Standfuss, F., Abel, M. und Haveresch, K.-H.: Erlauterungen zur Richtlinie fuer Betonbruecken mit externer Spannglieder. Beton- und stahlbetonbau 93 (1998), H.9, S.264-272.
9. Metzler, H., Peuckert, L. und Schmitz, Ch. Strothetalbruecke – Taktschieben mit interner und externer Vorspannung. Beton und Stahlbetonbau 90 (1995), H.1, S. 10-15.
10. Krautwald, W. Extern vorgespannte Bruecken – Erfahrungsbericht eines Bauausfuehrenden. Externe Vorspannung und Segmentbauweise, Workschop, 5.-7. Oktober 1998, Karlsruhe.

УДК 624.074.4.014.2

Давыдов Е.Ю.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ПАНЕЛЕЙ-ОБОЛОЧЕК ПОКРЫТИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Стальные панели-оболочки разработаны для покрытий зданий и сооружений массового применения. Особенностью панелей-оболочек является геометрическая форма – гиперболический параболюид и материал пролетной конструкции – стальной профилированный настил, образующий поверхность отрицательной гауссовой кривизны (см. рис.1). Использование в панелях-оболочках поверхности отрицательной кривизны предопределяет наиболее благоприятное распределение усилий в элементах опорного контура, упрощает устройство водоотвода (отметка средней точки превышает от-