

5. Редуан Сулейман Ибрагим. Особенности малоэтажного строительства в условиях республики Ливан / Редуан Сулейман Ибрагим // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – 2004. – № 55. – С. 346–349.
6. Ливан: недвижимост, строительство. – Электронный ресурс: режим доступа <http://polpred.com/news/?cnt=88&sector=17> (15.01.2016). – Назв. с экрана.
7. Набокова Я. С. Эффективные строительные материалы и способы возведения зданий / Я. С. Набокова // Инженерный вестник Дона. – 2008. – № 4. – С. 36–40.
8. Бадеян Г. В. Технологические основы возведения монолитных железобетонных каркасов в высотном жилищном строительстве: дисс. ... доктора техн. наук: спец. 05.23.08 «Технология и организация промышленного и гражданского строительства» / Г. В. Бадеян. – К: КНУСА, 2000. – 409 с.

УДК 692:693.5

**Шмуклер В.С.,**

*Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова*

**Бугаевский В.А., Бугаевский С.А.**

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

**СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ПРОЛЕТНЫЕ СТРОЕНИЯ ДЛЯ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ПРОЛЕТОВ МОСТОВ**

**Введение.** В настоящее время за рубежом и в отечественном мостостроении сталежелезобетонные пролетные строения получили широкое развитие и рассматриваются как современный вид мостовых конструкций для автодорожных и городских мостов.

**Анализ публикаций.** Для систематизации современных решений пролетных строений сталежелезобетонных мостов воспользуемся классификацией, приведенной в докладе профессоров G. Hanswille и G. Sedlacek (Германия) [1]:

1. Типовые сталежелезобетонные мосты с применением балок двутаврового и коробчатого сечения (typical composite road bridges with open sections and box girders).
2. Сталежелезобетонные балки коробчатого сечения с увеличенными консолями железобетонной плиты (composite box girders with wide cantilevering concrete decks).
3. Сталежелезобетонные арки с затяжкой (composite bowstring arches).
4. Сталежелезобетонные сквозные фермы (composite trusses).

5. Сталежелезобетонные мосты для перекрытия малых и средних пролетов (composite bridges for small and medium spans).

6. Вантовые мосты (cablestayed bridges).

7. Мосты через каналы (canal bridges).

Хотя в классификации в п. 5 приведены отдельно сталежелезобетонные мосты для перекрытия малых и средних пролетов, однако конструкции п. 1 и п. 4 также применяются в этом диапазоне пролетов. Дадим краткую характеристику каждой разновидности сталежелезобетонных мостов.

Типовые сечения пролетных строений сталежелезобетонных мостов можно разделить на три категории (рис. 1): железобетонная плита с тремя прокатными или сварными балками двутаврового сечения (plate girder bridge with threerolled or welded main girders), поперечное сечение с двумя отдельными балками коробчатого сечения (cross-section with two separated box girders) и коробки-балки (box girder).

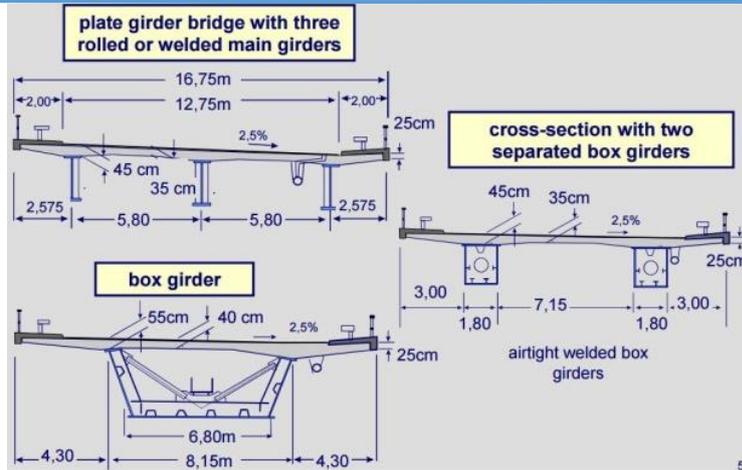
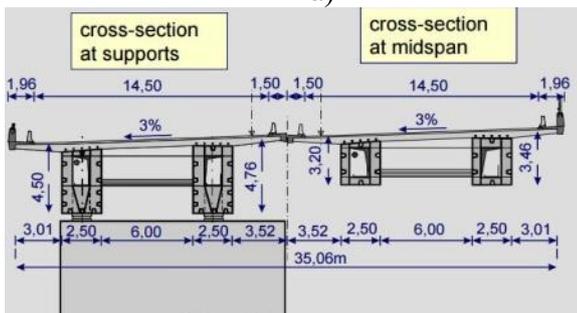


Рис. 1. Типовые сечения пролетных строений сталежелезобетонных мостов [1]

Применяется в сталежелезобетонных пролетных строениях коробчатого сечения дополнительное бетонирование в пролете и на опорах (рис. 2, а, б). Балка коробчатого сечения с обетонированным нижним поясом называется двойной сталежелезобетонной коробкой-балкой (double composite box girder) [2, 3].

а)



б)

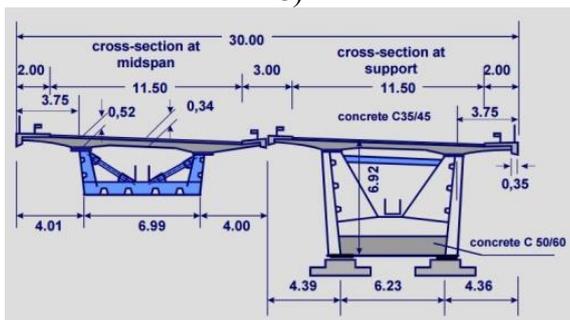


Рис. 2. Поперечные сечения пролетного строения в пролете и на опоре: а) при двух балках коробчатого сечения; б) при одной балке коробчатого сечения [1]

Одной из разновидностей сталежелезобетонных пролетных строений коробчатого сечения являются коробки-балки с гофрированными стенками (box girders with corrugated webs), приведенные

на рис. 3. При этом гофра стенки имеет трапецидальную форму [4, 5].

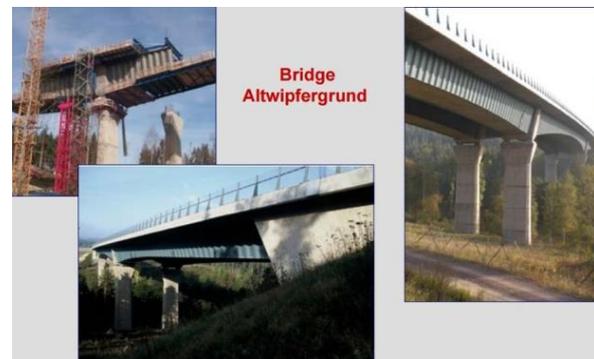


Рис. 3. Сталежелезобетонные пролетные строения коробчатого сечения с гофрированными стенками [1]

Для возведения мостов на автомобильных дорогах высоких категорий применяются сталежелезобетонные балки коробчатого сечения с увеличенными консолями железобетонной плиты (рис. 4).

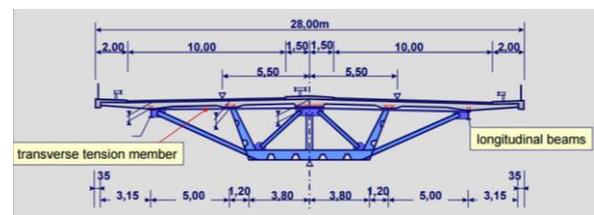


Рис. 4. Сталежелезобетонная балка коробчатого сечения с увеличенными консолями железобетонной плиты [1]

Для перекрытия больших пролетов мостов широко применяются арочные конструкции и ажурные фермы (рис. 5, б). Сталежелезобетонные арки – часто используемая система при ограничении

строительной высоты пролетного строения, особенно для мостов через каналы и реки. Конструкция проезжей части связана со стальной конструкцией арки по концам моста и выступает в качестве элемента натяжения в основной системе.



Рис. 5. Сталежелезобетонная арка с затяжкой [1]

Сталежелезобетонные мосты для малых и средних пролетов подразделяются на несколько типов, имеющих существенные различия как в конструкции, так и в технологии их возведения [1, 6, 7]. В зависимости от общей длины моста и транспортных условий могут быть запроектированы пролеты длиной до 34 м (при заводском изготовлении металлических балок) или, в исключительных случаях, до 45 м.

Пролетные строения, имеющие объединение металлических продольных балок поперечными железобетонными балками над опорами (longitudinal reinforcement at internal supports), обладают преимуществом в виде объединения в неразрезную конструкцию без выполнения сварных или болтовых соединителей (рис. 7). При этом конструкция плиты проезжей части может быть либо полностью монолитной, либо сборно-монолитной при применении сборных элементов длиной, равной шагу балок в поперечном сечении, служащих несъемной опалубкой при бетонировании.

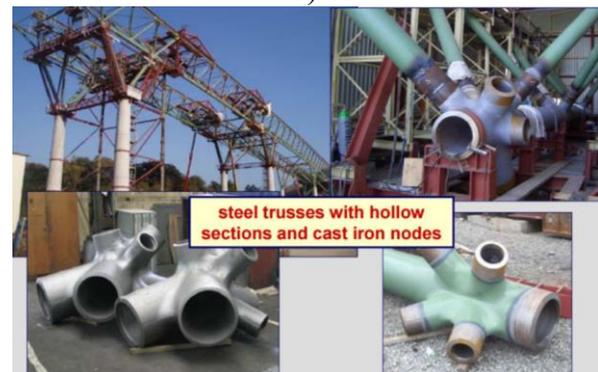
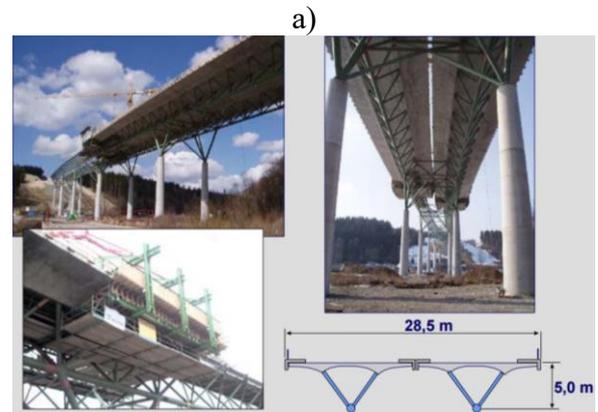


Рис. 6. Сталежелезобетонные сквозные фермы: а) конструкция пролетного строения; б) элементы ферм из полых трубчатых профилей и литые узлы [1]

Для ускорения процесса строительства сталежелезобетонных пролетных строений применяют сборные балки (VFT-bridges with welded or rolled I-sections), состоящие из стальной стенки и сборного бетонного элемента (рис. 8). Объединение балок осуществляется укладкой бетонной смеси без применения опалубки. Сборные балки имеют меньший монтажный вес, по сравнению с предварительно напряженными железобетонными балками.

VFT-filler балки (VFT-filler beams) в виде двух спаренных металлических балок и сборного бетонного элемента, первоначально разработанные только для железнодорожных мостов, в течение последних нескольких десятилетий нашли широкое применение при строительстве и автодорожных мостов (рис. 9). Основные достоинства конструкции заключаются в высокой несущей способности и минимальной строительной высоте.

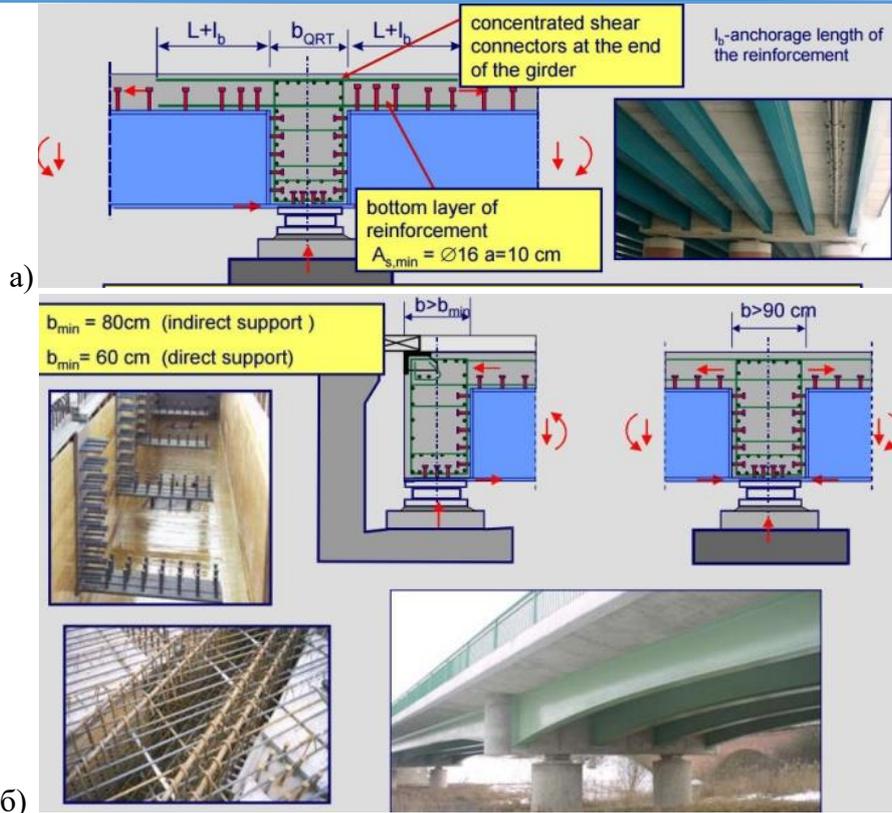


Рис 7. Сталежелезобетонные пролетные строения, имеющие объединение железобетонными балками над опорами: а) конструкция пролетного строения; б) конструкция объединения [1]

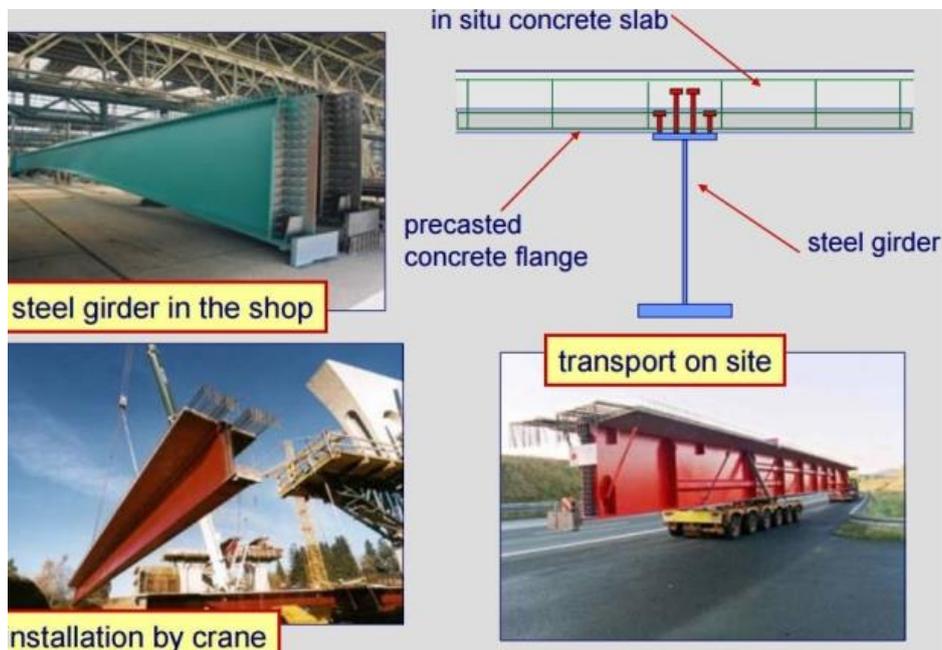


Рис 8. Сборные комбинированные балки сталежелезобетонного пролетного строения [1]

Префлексы (preflex-beams), применяемые для сталежелезобетонных пролетных строений, имеют особенность в их изготовлении, заключающуюся в предварительном изгибе прокатной балки, с последующим обетонированием нижней

полки. Бетонная часть, сжатая таким образом, получает предварительное напряжение, что приводит к повышению сопротивления изгибу и минимальным прогибам балок при эксплуатации моста.

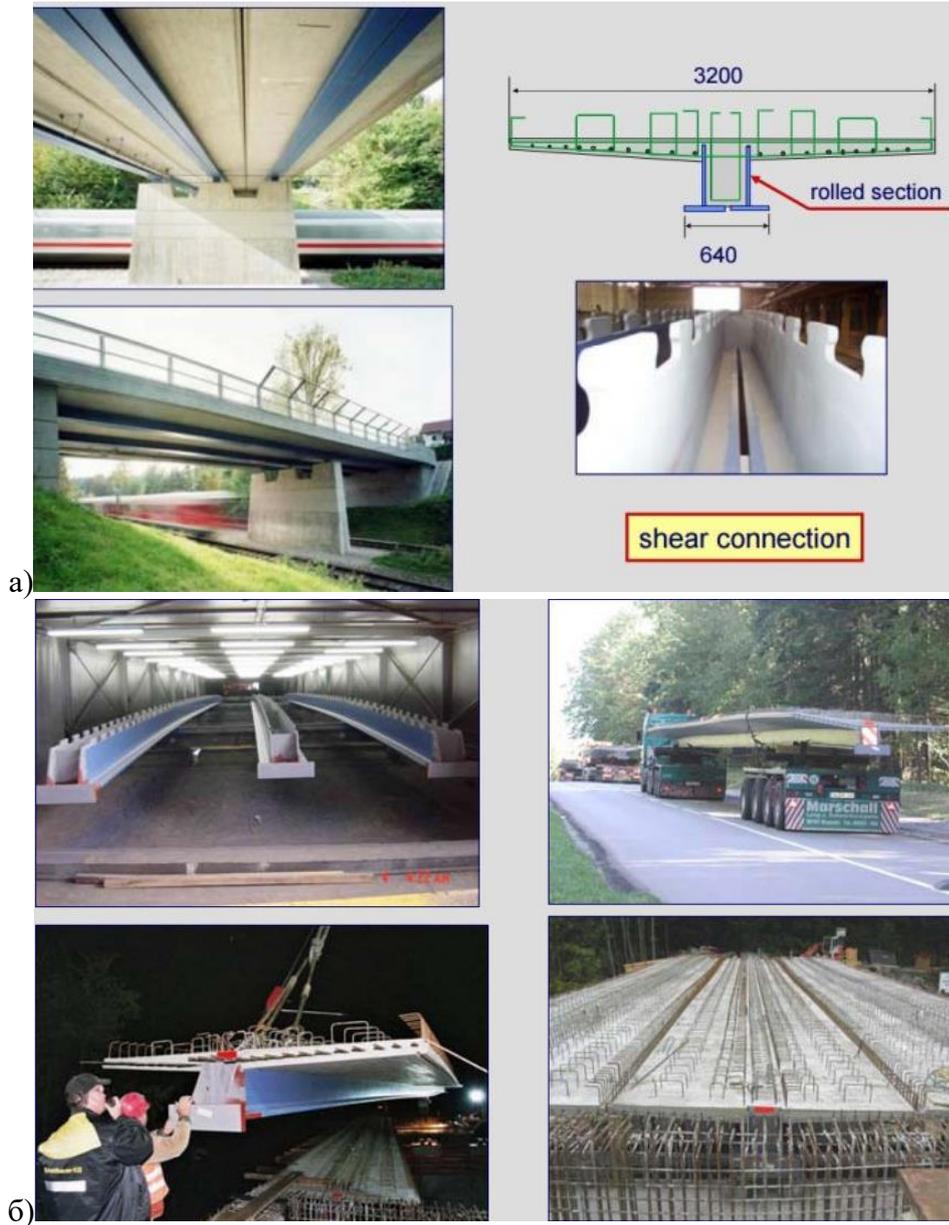


Рис 9. Сталежелезобетонные пролетные строения с применением VFT-filler балки: а) конструкция пролетного строения; б) конструкция балки [1]



Рис 10. Сталежелезобетонные пролетные строения с применением prefle-балки [1]

И в заключение классификации приведем примеры вантовых мостов и мостов через каналы (рис. 11).

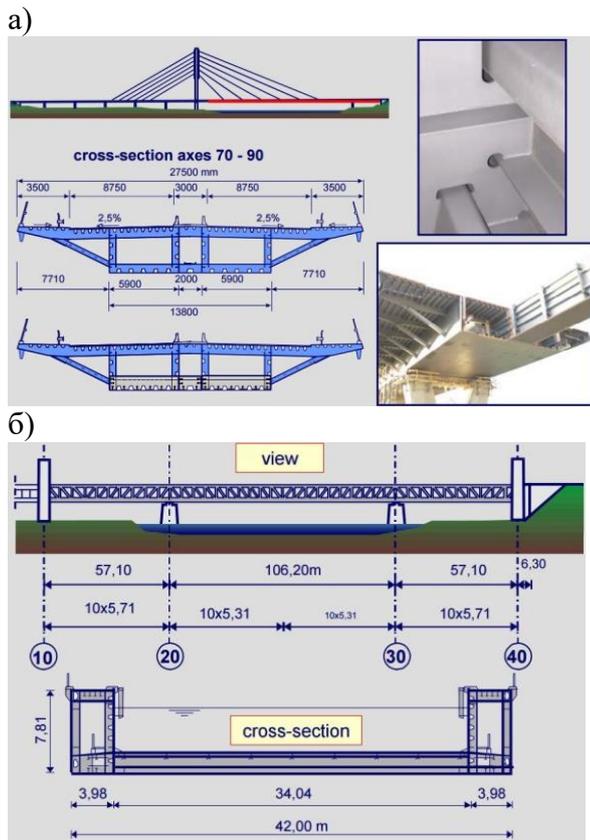


Рис. 11. Сталежелезобетонные мосты: а) вантовые; б) мосты через канал [1]

Одним из направлений развития сталежелезобетонных пролетных строений является применение сквозных балок, получаемых путем зигзагообразного разреза сплошной стенки прокатной двутавровой балки и сварки встык по выступам разреза с образованием сквозных отверстий [8].

**Цель и постановка задачи.** Целью данной работы является создание конструкции сталежелезобетонного пролетного строения для возведения автодорожных мостов малых и средних пролетов.

В основу разработки поставлена задача снижения материалоемкости пролетного строения и повышения крутильной жесткости конструкции.

**Конструктивная реализация сталежелезобетонного пролетного строения.** Работа по созданию конструкции сталежелезобетонного пролетного строения для проектирования автодорожных мостов малых и средних пролетов выполнена

в продолжение развития конструкций, предложенных Крулем Ю.Н. [9].

Конструкция пролетного строения разработана для капитального ремонта автодорожного моста через р. Сухой Торец в г. Барвенково. На основании обследования в 2014 г. кафедрой мостов, конструкций и строительной механики ХНАДУ предусмотрена полная замена существующих пролетных строений.

В работе принята следующая конструкция пролетных строений – балочные разрезные сталежелезобетонные длиной 14,06 м. Конструкция пролетных строений выполнена в виде сварной перфорированной многосвязной пространственной оболочки, составленной из стальных листов. Толщина листов  $\delta_1 = 8$  мм;  $\delta_2 = 30$  мм; ( $\delta_1$  – толщина стенок;  $\delta_2$  – толщина нижней полки). Сталь марки 15ХСНД. Посредством специальной системы сдвиговых связей к оболочке крепится железобетонная плита толщиной 200 мм. Бетон класса С 30/35; арматура – каркасы и сетки из элементов класса А500С.

Геометрическая неизменяемость оболочки обеспечивается системой перфорированных листовых диафрагм, установленных с шагом 1,6 м. Топология (структура) пролетного строения образована отдельными блоками, имеющими габариты 3,2x14,06 м. В поперечном сечении всего устанавливается 3 блока. Все блоки изготавливаются на заводе по безотходной технологии. Кроме собственно оболочки на заводе устанавливается профилированный лист ТП 60x1,0, являющийся одновременно несъемной опалубкой. Кроме опалубочного профиля устраивается система сдвиговых связей и арматурная система плиты. Таким образом, каждый отдельный блок является конструкцией высокой степени заводской готовности. Габариты и вес блоков обеспечивают их стандартную транспортировку к месту проводимого капитального ремонта. На монтаже производится укрупнительная сборка, проводимая путем объединения блоков между собой на высокопрочных болтах. Монтаж ведется с колес при использовании 2-х автомобильных кранов.

Завершающей операцией является укладка монолитного бетона. С целью

уменьшения собственного веса пролетного строения (по сравнению с существующими, железобетонными) тротуары выполняются в виде кессона, устраиваемого по плите, с использованием захороняемых вкладышей из пенополистирола. Данное обстоятельство позволяет снизить собственный вес проектируемого пролетного строения, по сравнению с существующим. В совокупности разработанная конструкция представляет собой современную эффективную систему, применение которой минимизирует общие затраты и трудоемкость процесса капитального ремонта.

Особенность конструктивного решения – в следующем. Главные балки, сваренные из листового проката, и поперечные диафрагмы, а также сплошной нижний пояс балок выполнен из металлического листа с шестиугольными отверстиями и консолями по внешним сторонам главных балок. На верхние пояса главных балок уложен профилированный лист и приварены вертикально дискретно-непрерывные связи сдвига в виде швеллеров или сваренных в коробку уголков, объединенных с металлическими арматурными стержнями продольного и поперечного направления плиты проезжей части. Железобетонная плита проезжей части в конструкции тротуара содержит вкладыши из легкого эффективного материала. Объединение блоков в единую пространственную систему в виде оболочки выполнено с помощью железобетонной плиты проезжей части и связей по нижним поясам. Расстояние в поперечном направлении пролетного строения между главными балками в блоке и между блоками одинаково. Поперечные диафрагмы выполнены в виде сквозного листа или решетчатой конструкции, а профилированный лист укладывают на верхний пояс главных балок поперек оси пролетного строения. Профилированный лист служит несъемной опалубкой для бетонирования ребристой конструкции железобетонной плиты проезжей части моста. Элементы сквозной стенки и сплошного нижнего пояса выполнены из металлического листа и полу-

чены путем зигзагообразного реза сплошных листов и сварки друг к другу по выступам разреза с образованием шестиугольных отверстий.

На чертежах представлена конструкция пролетного строения: на рис. 12 – конструкция блока пролетного строения моста, на рис. 13 – поперечные сечения блока пролетного строения моста, на рис. 14 – компоновка пролетного строения моста.

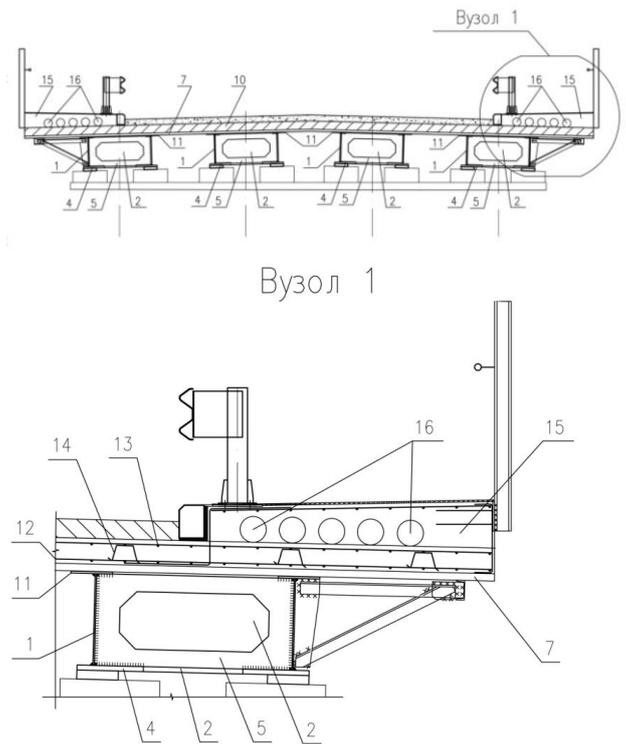


Рис. 12. Компоновка пролетного строения моста

Пролетное строение моста содержит главные балки со сквозной стенкой 1 с шестиугольными отверстиями 2, выполненные путем соединения сварными швами 3 листового проката. К нижней грани вертикальной стенки главных балок 1 приварен нижний пояс 4 в виде металлического листа с шестиугольными отверстиями 2, а в поперечном направлении главные балки объединены с помощью промежуточных 5 и опорных диафрагм 6.

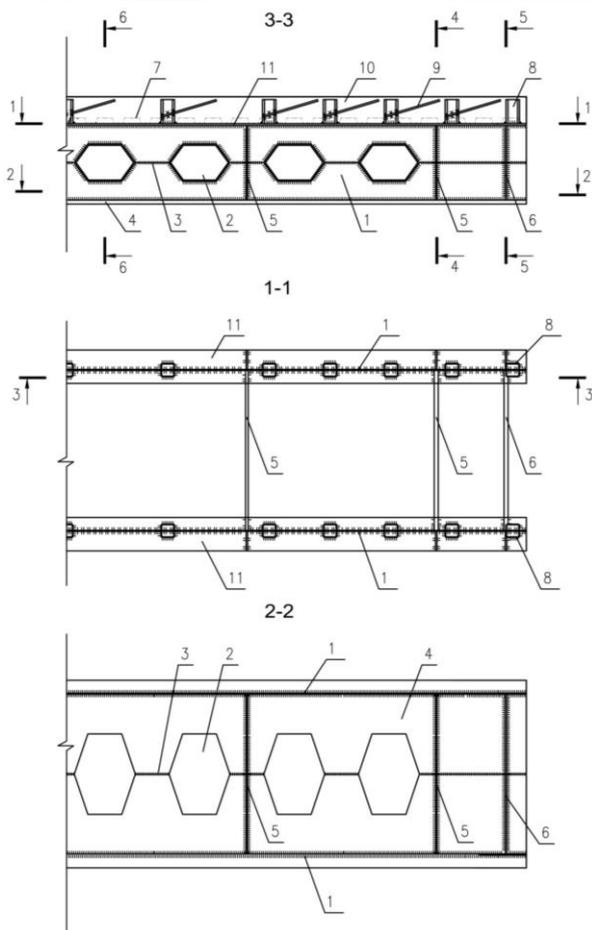


Рис. 13. Конструкция блока пролетного строения моста

Поверх верхних поясов главных балок 11 уложен профилированный лист 7, являющийся несъемной опалубкой для бетонирования железобетонной плиты проезжей части 10, приварены связи сдвига в виде комбинированного упора, имеющего жесткий элемент 8 (швеллер или уголки, сваренные в коробку) и гибкий элемент 9 (выпуски арматуры). По профилированному листу 7 раскладывают нижнюю арматурную сетку 12 плиты проезжей части 10 и приваривают ее к жестким элементам связей сдвига 8. После установки хомутов 14 укладывают верхние арматурные сетки 13, в местах тротуарных блоков 15 размещают из легкого эффективного материала вкладыши 16 и бетонировать плиту проезжей части 10.

Пролетное строение моста транспортируется блоками. Объединение блоков в пространственную систему реализуется бетонированием монолитной железобетонной плиты проезжей части.

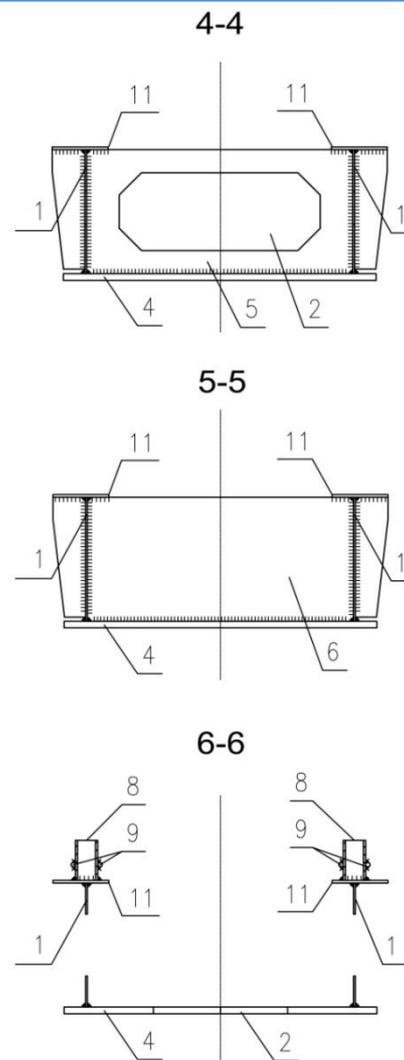


Рис. 14. Поперечные сечения блока пролетного строения моста

**Выводы.** Предложенная конструкция совершенствует пролетное строение моста путем снижения материалоемкости и повышения крутильной жесткости конструкции и может быть использована в сталежелезобетонных мостах с монолитной железобетонной плитой проезжей части, преимущественно для автодорожных мостов малых и средних пролетов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. G. Hanswille, Institute for Steel and Composite Structures University of Wuppertal Germany, Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Dr. h.c. G. Sedlacek, Institute for Steel and Lightweight Structures RWTH Aachen Germany. Steel composite bridges in Germany. State of the Art. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stal-forbund.com/Staldag2007/> Steel\_composite\_bridges\_Germany.pdf.

2. Rajan Sen, Steven Stroh. Design and Evaluation of Steel Bridges with Double Composite Action. Final report. February, 2010. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.dot.state.fl.us/research-center/Completed\\_Proj/Summary\\_STR/FD\\_OT\\_BD544-18\\_rpt.pdf](http://www.dot.state.fl.us/research-center/Completed_Proj/Summary_STR/FD_OT_BD544-18_rpt.pdf).
3. Patel Purvik. LRFD design of double composite box girder bridges. 2009. Graduate Theses and Dissertations. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://scholarcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3130&context=etd>.
4. Prestressed composite box girder bridges with corrugated webs. A critical comparison with flat steel webs. Ing. Gabriele Bertagnoli. Politecnico di Torino. October, 2010. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.aces.upatras.gr/userfiles/file/2nd\\_Workshop/ACES\\_workshop\\_Oct\\_2010\\_Bertagnoli.pdf](http://www.aces.upatras.gr/userfiles/file/2nd_Workshop/ACES_workshop_Oct_2010_Bertagnoli.pdf).
5. Balázs KÖVESDI. Patch loading resistance of girders with corrugated webs. PhD Dissertation. Budapest, 2010. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://hsz.bme.hu/hsz/kutat\\_prog/fajlok/11/kovesdi\\_balazs\\_phd.pdf](http://hsz.bme.hu/hsz/kutat_prog/fajlok/11/kovesdi_balazs_phd.pdf).
6. Bridges. With rolled sections. ArselorMittal Europe – Long Products Sections and Merchant Bars. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/Sales\\_programme\\_Brochures/Bridge/Bridges\\_EN.pdf](http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/Sales_programme_Brochures/Bridge/Bridges_EN.pdf).
7. Composite bridge design for small and medium spans. PRF Report №13202. Design Guide with standard solutions documented in drawings and static analysis. 2002. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/pdf/PRF\\_133-02.pdf](http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/pdf/PRF_133-02.pdf).
8. Сквозные балки пролетных строений автомобильных мостов: монография / В.М. Картопольцев, А.В. Картопольцев, Е.В. Балашов, А.Г. Боровиков ; под общ. ред. В.М. Картопольцева. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2015. – 136 с.
9. Круль Ю. Н. Сталежелезобетонное пролетное строение нового типа: дис. ... кандидата техн. наук: 05.23.01 / Круль Юрий Николаевич. – Харьков, 2015. – 260 с.

УДК 69.07

**Бойко Т.К.**

*Харківський національний університет будівництва і архітектури*

### **ОЦІНКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ НИЖНІХ ДВОСТУЛКОВИХ ВОРІТ СУДНОПЛАВНИХ ШЛЮЗІВ**

При дослідженні технічного стану нижніх двостулкових воріт судноплавних шлюзів встановлено, що в процесі їх експлуатації в металоконструкціях воріт, в силу особливостей діючих циклічних навантажень, виникають втомні тріщини.

Теоретичний процес тріщиноутворення дуже різноманітний. Залежно від інтенсивності експлуатації розвиток тріщин відбувається з різною швидкістю. Дослідження показали, що основним місцем появи тріщин є елементи зі змінним поперечним перерізом, де змінюється напружений стан металоконструкцій, особливо при дії динамічних навантажень.

Необхідно визначити, чи зупинився розвиток тріщини або в конструкції створені деякі стаціонарні умови для її зростання. Рішення про можливість подальшої експлуатації металоконструкцій потрібно приймати на основі дослідження кінетики втомної тріщини.

При наявності в листових елементах металоконструкцій втомної тріщини в околиці її вершини виникає область концентрації напружень (рис. 1, точка А).

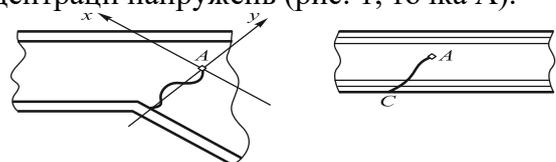


Рис. 1. Схема контуру концентратора напружень у вершині тріщини