

УДК 624.016

## Применение сталежелезобетонных конструкций в мостовых сооружениях

**В. В. Веселов**

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** Веселов В. В. Применение сталежелезобетонных конструкций в мостовых сооружениях // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2023. — Т. 20. — Вып. 3. — С. 633–644. DOI: 10.20295/1815-588X-2023-3-633-644

### Аннотация

**Цель:** Выполнить анализ возможного применения комбинированных конструкций для пролетных строений мостов, расширить номенклатуру сталежелезобетонных конструкций, исследовать инновационные конструктивные решения балок, обладающих низкой материалоемкостью при повышенной надежности и долговечности. **Методы:** Анализ преимуществ известных комбинированных конструкций, применяемых для их проектирования материалов, расчет вариантов конструкции пролетных строений с применением существующих инженерных методик и с привлечением расчетных программ. **Результаты:** Традиционные конструктивные решения пролетных строений мостовых сооружений не всегда обладают достаточной надежностью и долговечностью. На кафедре «Строительные конструкции, здания и сооружения» ПГУПС разработан ряд эффективных балочных конструкций, которые можно использовать в мостовых сооружениях. Приводятся новые разработки балок с применением сталежелезобетона и сталефибробетона. Предложена комбинированная конструкция пролетного строения моста с применением сталежелезобетона и сталефибробетона, защищаемая патентами на изобретения. Выполнен статический и конструктивный расчет вариантов пролетных строений с привлечением вычислительного комплекса SCAD, проанализировано напряженно-деформированное состояние конструкции, произведен анализ снижения материалоемкости, трудоемкости и других преимуществ комбинированной конструкции пролетного строения в сравнении с традиционными решениями конструкций пролетных строений из стали и железобетона. **Практическая значимость:** Выявлены преимущества комбинированных конструкций для мостовых сооружений, установлено снижение материалоемкости и трудоемкости предлагаемых конструктивных решений при повышении изгибной жесткости пролетного строения, его надежности и долговечности. Предложенные конструктивные решения балок могут быть использованы для мостов больших пролетов в условиях тяжелых динамических нагрузок.

**Ключевые слова:** Мосты, пролетное строение, сталежелезобетонная конструкция, комбинированные балки, сталефибробетон, труботетон, материалоемкость, надежность, долговечность.

### Введение

В мировом строительстве мостов и других транспортных сооружений все большее внимание уделяют комбинированным (гибридным) конструкциям с применением стали, бетона, древе-

сины и композитов в различных сочетаниях [1, 2], как при возведении, так и при восстановлении. При тяжелых подвижных нагрузках рациональнее к применению сталежелезобетонные и сталефибробетонные конструкции, в которых макси-

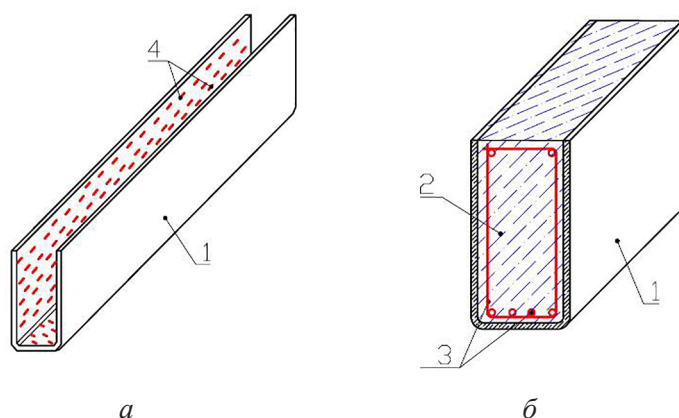


Рис. 1. Гибридная балка:

*a* — до бетонирования; *б* — после бетонирования; 1 — сталефибробетонный профиль опалубки, 2 — бетон омоноличивания, 3 — регулярная арматура, 4 — стальная фибра

мально эффективно используются преимущества стали, бетона и фибры [3, 4].

Сталежелезобетонные конструкции мостов могут быть различных очертаний и конструктивных схем (балочная, арочная, висячая), что зависит от пролета моста, места расположения, архитектурных требований, величины нагрузки. Выбор материалов для конструкции пролетного строения осуществляется непосредственно проектировщиком в зависимости от пролета, условий эксплуатации, нагрузок, района строительства, технико-экономических показателей и других факторов [5].

Традиционные конструктивные решения пролетных строений мостовых сооружений не всегда обладают достаточной надежностью и долговечностью [6, 7], что связано с коррозией материалов, усталостными разрушениями и т. п. В современной практике мостостроения часто используется сталежелезобетонное пролетное строение, состоящее из железобетонного настила, объединяемого со стальными балками упорами. Такое решение апробировано десятилетиями и имеет нормативную основу [8–10].

При этом бетон настила обеспечивает высокую прочность конструкции при сжатии, а сталь балок — при растяжении. Более того, бетон удерживает стальные профили от местного и бокового

кручения, обеспечивает защиту от коррозии и высоких температур. Однако номенклатура комбинированных конструкций развита недостаточно.

На кафедре «Строительные конструкции, здания и сооружения» ПГУПС разработан ряд инновационных комбинированных балок и ферм [11–15], которые можно использовать в мостовых сооружениях.

### Практическое применение и результаты

Разработанные конструкции комбинированных и гибридных балок (рис. 1–5) могут быть использованы при проектировании мостов и позволяют снизить материалоемкость и трудоемкость конструкции пролетного строения при повышении его надежности и долговечности.

Гибридная балка (рис. 1), защищенная патентом на изобретение, представляет собой несъемную опалубку из сталефибробетонных профилей из стенок и поясов, заполняемую на месте монолитным бетоном и арматурным каркасом. Сталефибробетонные профили выполняются из мелкозернистого бетона с армированием стальными фибрами, расположенными согласно полям напряжений, с длиной стальных фибр не меньшей 1,25 толщины поперечного сечения элементов профиля несъемной опалубки в растянутой зоне для направленной ориентации фибр,

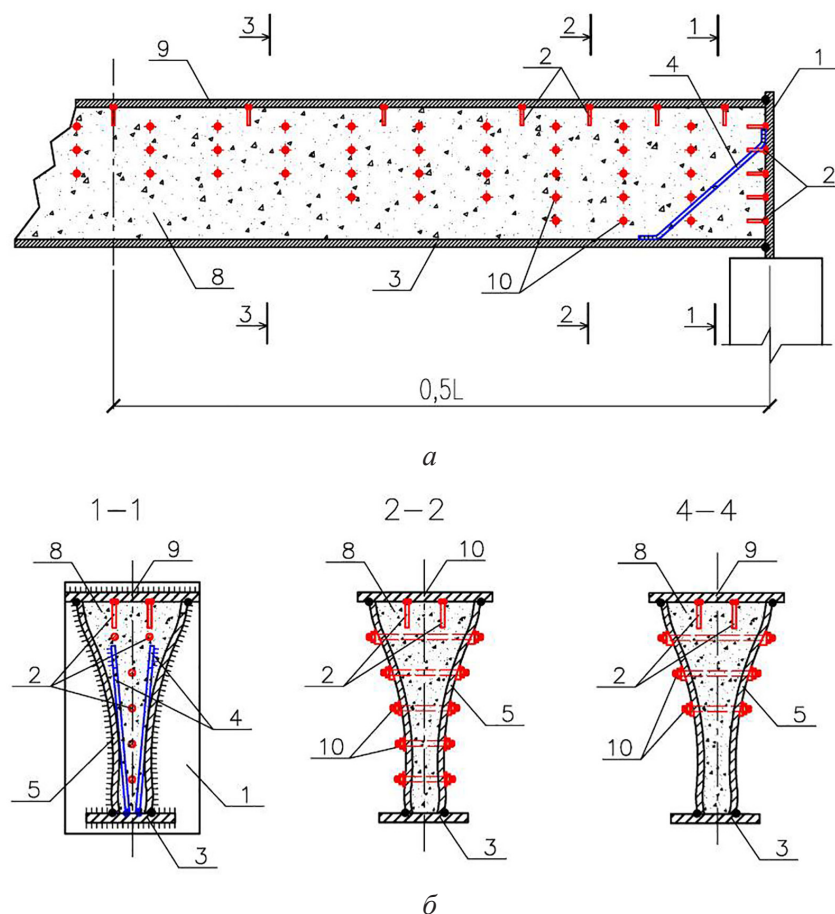


Рис. 2. Сталебетонная балка:

*a* — вид в пролете; *б* — поперечные сечения; 1 — опорная диафрагма, 2 — упоры, 3 — нижний пояс, 4 — фиксатор, 5 — стенка, 6 — отверстия под шпильки, 6, 7 — отверстия в стенке, 8 — бетон, 9 — верхний пояс, 10 — стяжная шпилька

и с длиной стальных фибр меньшей толщины поперечного сечения в сжатой зоне для хаотичной ориентации фибр. Бетон заполнения выполняется мелкозернистым с крупностью заполнителя до 10 мм и дополнительно по расчету может содержать армирование стальными фибрами. Арматурный каркас выполняется из продольных стержней или проволоочной арматуры, расположенных в бетоне омоноличивания. Сталефибробетонный профиль несъемной опалубки снабжен с внутренней стороны выступающими стальными волокнами в виде участков фибр, выступающих за пределы профиля на 0,25–0,5 своей длины для более эффективного сцепления с бетоном омоноличивания, что подтверждается

результатами экспериментально-теоретических исследований.

Данное конструктивное решение может быть использовано для второстепенных балок (пролетом до 12 м) пролетного строения монолитно с железобетонным настилом.

Сталебетонная балка (рис. 2), защищенная патентом на изобретение, представляет собой составное коробчатое сечение из стальных стенок и поясов с опорными диафрагмами и упорами, заполненное монолитным бетоном.

При этом расстояние между стенками к верхнему поясу больше, чем к нижнему, что обеспечивает уменьшение объема бетона в нижней, растянутой части сталебетонной балки. Между

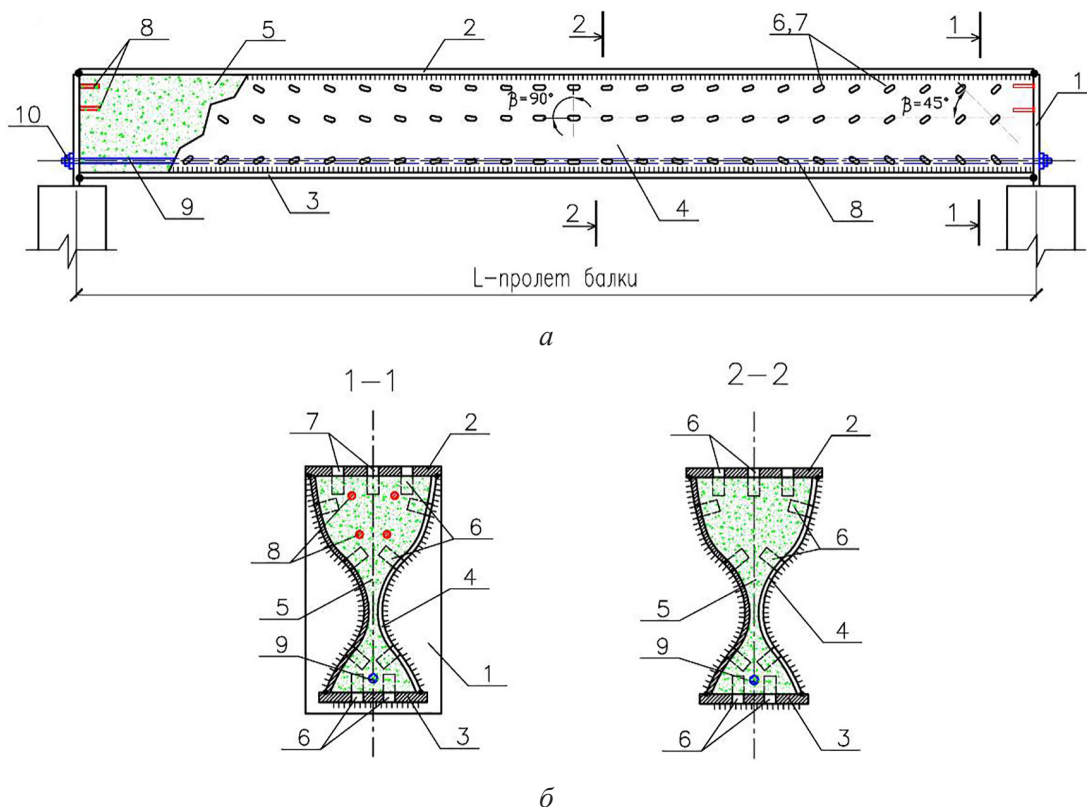


Рис. 3. Сталежелезобетонная балка:

*a* — вид в пролете; *б* — поперечные сечения; 1 — опорная диафрагма, 2 — верхний пояс, 3 — нижний пояс, 4 — стенка, 5 — бетон омоноличивания, 6 — выштапковка, 7 — отверстие, 8 — упор, 9 — напрягаемая ариатура, 10 — анкер (натяжное устройство)

стенками установлены предварительно напряженные стяжные шпильки для придания стенкам криволинейного очертания и предварительного напряжения отвердевшего бетона.

Данное конструктивное решение может быть использовано для главных балок пролетного строения, выполненного по разрезной статической схеме.

Сталежелезобетонная балка (рис. 3), защищенная патентом на полезное изобретение, представляет собой составное коробчатое сечение из стальных стенок и поясов с опорными диафрагмами и упорами, заполненное монолитным бетоном.

При этом пояса и стенки имеют выштампованные анкерные элементы вытянутой овальной формы, получаемые прорезкой и отгибом фрагментов листовой стали вовнутрь сечения балки

под углом  $90^\circ$ . Опорные диафрагмы соединены напрягаемой арматурой. Стенки по высоте сечения балки имеют выпукло-вогнутую форму сечения, соответствующую в верхней части сечения балки эпюре нормальных напряжений в бетоне от внешней нагрузки, в нижней части сечения балки — эпюре нормальных напряжений в бетоне от натяжения напрягаемой арматуры.

Данное конструктивное решение может быть использовано для главных балок большого пролета пролетного строения, выполненного по разрезной статической схеме.

Многопролетная несущая балка (рис. 4), защищенная патентом на полезную модель, представляет собой составное поперечное сечение из двух стенок, верхнего пояса и нижнего пояса, часть которого заполнена бетоном. Балка снабжена

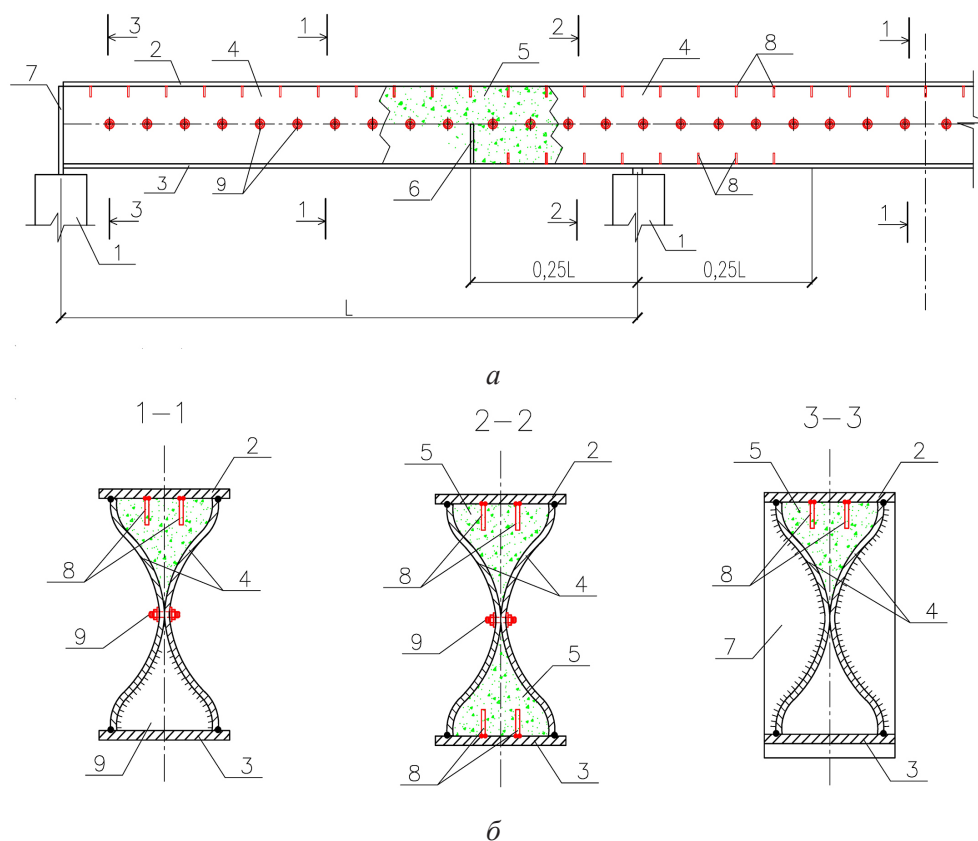


Рис. 4. Многопролетная сталебетонная балка:

*a* — вид в пролете; *б* — поперечные сечения; 1 — опора, 2 — верхний пояс, 3 — нижний пояс, 4 — стенка, 5 — бетон, 6 — промежуточное ребро, 7 — опорное ребро, 8 — упоры, 9 — стяжные шпильки

по концам над крайними опорами поперечными опорными диафрагмами и рядом с промежуточными опорами (в зоне нулевых изгибающих моментов) — поперечными промежуточными диафрагмами. Стенки в поперечном сечении имеют дугообразную вогнутую внутрь пустотелого профиля форму и объединены стяжными шпильками в зоне их контакта.

Бетон расположен в верхней части сечения пустотелого профиля по всей длине балки и находится в замкнутом контуре, образованном стенками верхним поясом и поперечными опорными диафрагмами. Бетон расположен в нижней части сечения пустотелого профиля у промежуточных опор и находится в замкнутом контуре, образованном стенками, нижним поясом и попереч-

ными промежуточными диафрагмами. К внутренним поверхностям верхнего пояса и нижнего пояса прикреплены упоры в виде стержневой арматуры, пластин или уголковых профилей.

Данное конструктивное решение может быть использовано для главных балок пролетного строения, выполненного по неразрезной статической схеме.

Сталебетонная ферма (рис. 5), защищенная патентом на полезную модель, включает верхний пояс из стальной трубы, заполненный бетоном, опорные диафрагмы из листовой стали, нижний пояс из стальной трубы, заполненный бетоном, внутри которого расположены преднапряженные стержни, закрепленные к заглушкам на торцах, и элементы раскосной решетки из стальных

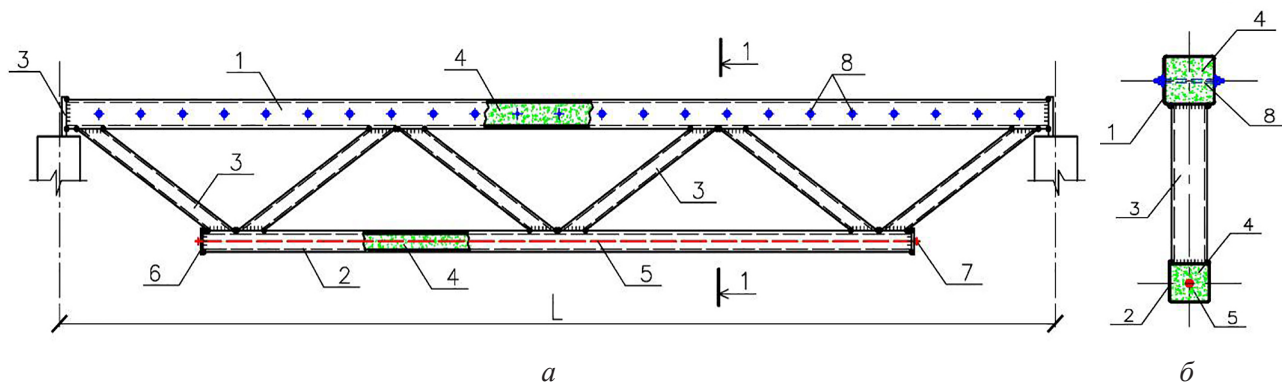


Рис. 5. Сталебетонная ферма:

*a* — вид в пролете; *б* — поперечное сечение; 1 — верхний пояс, 2 — нижний пояс, 3 — решетка, 4 — бетон, 5 — напрягаемая арматура, 6 — заглушка, 7 — анкер, 8 — стяжные шпильки

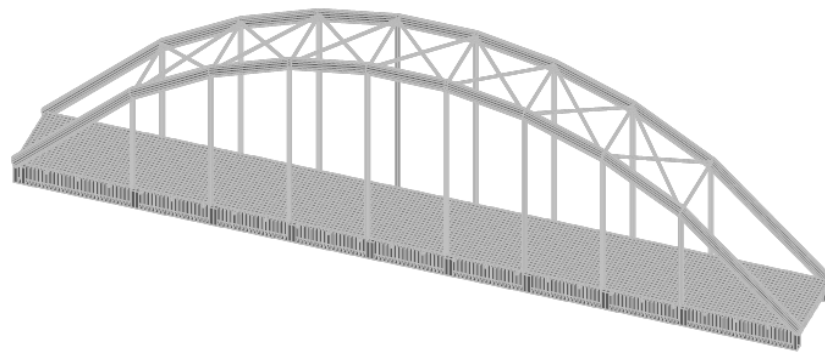
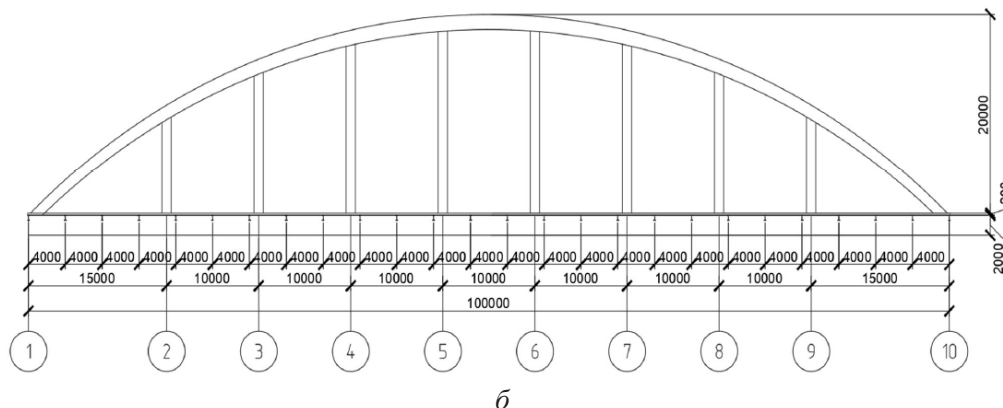
*a**б*

Рис. 6. Геометрическая схема пролетного строения комбинированной конструкции:  
*a* — пространственная модель, *б* — продольный разрез с размерами

труб, закрепленные к верхнему и нижнему поясам.

Через верхний пояс горизонтально установлены стяжные шпильки и закреплены при помощи гаек к боковым поверхностям пояса. Элементы раскосной решетки, в которых возникают сжимающие усилия, могут быть заполнены бетоном.

Данное конструктивное решение может быть использовано для главных балок пролетного строения с большим пролетом.

В качестве эффективного конструктивного решения пролетного строения моста под тяжелую нагрузку и при большом пролете предлагается арочная конструкция (рис. 6, 7), состоящая из тру-

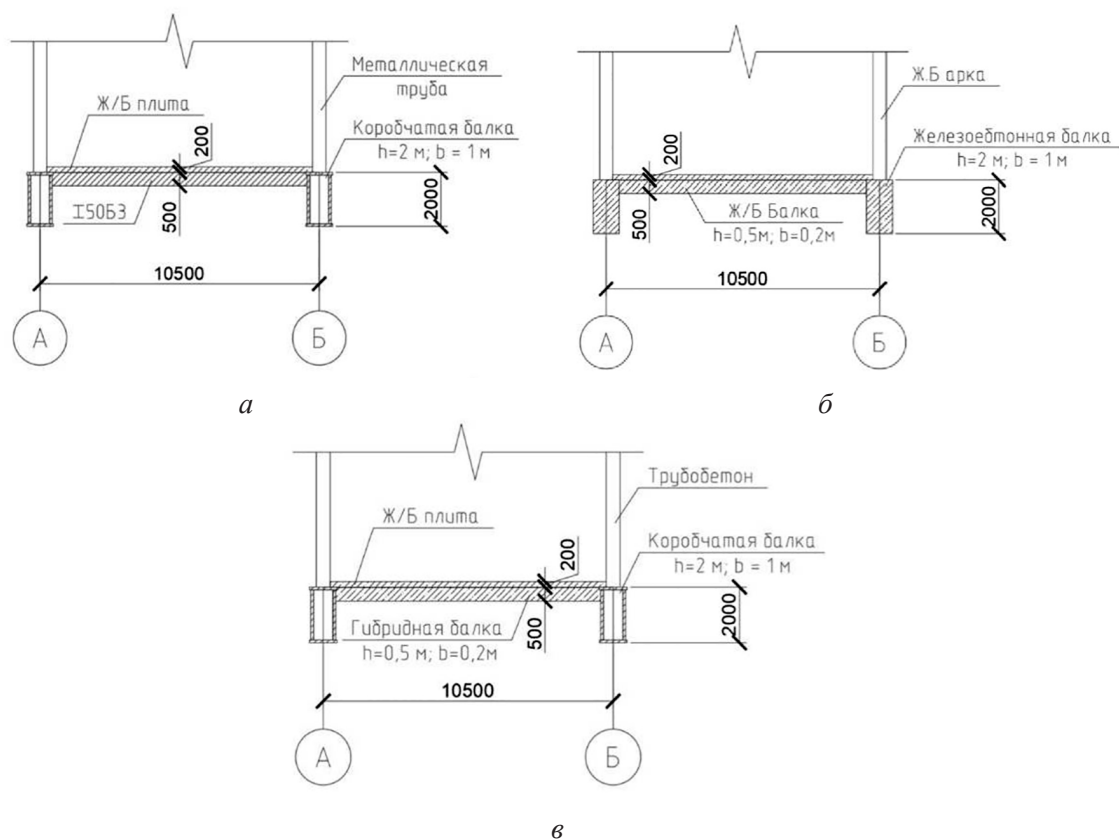


Рис. 7. Поперечные сечения вариантов пролетного строения:  
 а — металлического, б — железобетонного, в — сталежелезобетонного

бобетонной арки, стальных коробчатых главных балок, гибридных второстепенных балок, монолитно соединенных с железобетонным настилом, и стальных растяжек, соединяющих арку с главными балками.

Для оценки эффективности предлагаемого конструктивного решения в вычислительном комплексе SCAD были сформированы расчетные модели сооружения: с металлическим, с железобетонным и комбинированным пролетным строением. Ширина пролетного строения принята 10,5 м, длина пролетного строения — 100 м. В качестве нагрузок были учтены:

- собственный вес конструкции (задавался с помощью SCAD);
- полезная нагрузка принята от подвижного железнодорожного состава класса С14 с нагрузкой на ось  $P = 176,58$  кН.

Расчет конструкций моста выполнялся методом конечных элементов с подбором поперечных сечений по действующим нормативам [16–18] и разработанным инженерным методикам [19, 20].

На рис. 8 представлены деформированные схемы и эпюры усилий рассчитываемых вариантов. В таблице приведен сравнительный анализ вариантов по итогам конструктивного расчета.

По результатам расчетов и анализа установлено, что сталежелезобетонная конструкция пролетного строения имеет повышенную изгибную жесткость на 10–17 %, в сравнении с железобетонной конструкцией имеет более низкий вес, разница составляет 46 %, при экономии стали в сравнении с металлической конструкцией на 23 % и снижении стоимости на 16 %, а также наименьшей трудоемкости изготовления.

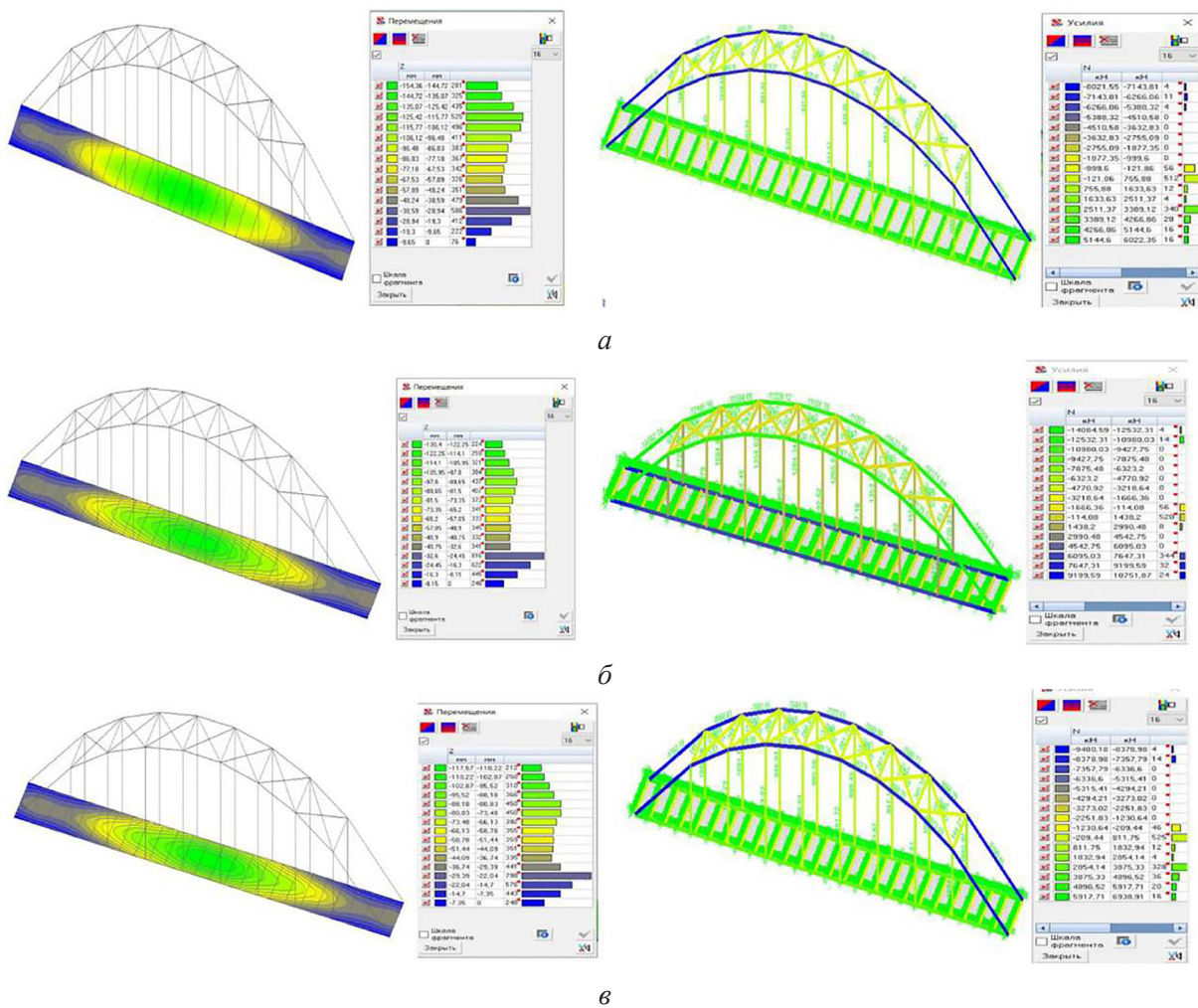


Рис. 8. Деформированные схемы и эпюры усилий рассчитываемых вариантов:  
*a* — металлического, *б* — железобетонного, *в* — сталежелезобетонного

#### Сравнительный анализ пролетных строений

Тип конструкции	Вес, т	Стоимость, руб	Расход арматуры, т	Расход бетона, м <sup>3</sup>	Расход металла, т	Стоимость монтажа, руб.
Металлическое пролетное строение моста	944,1	3 677 526,6	53,81	210,0	419,1	2 133 642,5
Железобетонное пролетное строение моста	2354,2	1 541 162,0	97,77	941,7	—	2 594 216,8
Сталежелезобетонное пролетное строение моста	1269,1	3 081 614, 8	47,8	381,0	316,5	2 058 106,0

Применение трубобетона для арочных элементов, фибробетона для второстепенных балок, монолитность настила и балок пролетного строения обеспечивают эффективность конструкции пролетного строения при повышении его надежности и долговечности.

#### Заключение

Разработан ряд сталебетонных и гибридных балочных конструкций для применения на транспорте, в том числе для пролетных строений мостов. Запатентованные при участии автора конструктивные решения использованы для арочной



конструкции пролетного строения железнодорожного моста большого пролета. Выполнен расчет нескольких вариантов пролетного строения по действующим методикам с использованием действующих норм и численных методов расчета. Предлагаемый инновационный вариант комбинированной конструкции пролетного строения позволяет повысить изгибную жесткость на 10–17 %, снизить вес до 46 % в сравнении с железобетонной конструкцией, при экономии стали в сравнении с металлической конструкцией на 23 % и снижении стоимости на 16 %, а также уменьшить трудоемкость изготовления при повышении надежности и долговечности за счет рационального использования материалов. Предложенное конструктивное решение может быть рационально к применению при тяжелых подвижных нагрузках и значительных пролетах, где применение железобетонных конструкций невозможно по эстетическим требованиям, требованиям трещиностойкости и эксплуатационной надежности.

### Библиографический список

1. Веселов В. Гибридные балочные конструкции транспортных сооружений / В. Веселов, К. Талантова // Конспекты лекций по сетям и системам 402 LNNS. — С. 278. — DOI: 10.1007/978-3-030-96380-4\_31.
2. Белый А. А. Применение композитных материалов при ремонте мостовых сооружений / А. А. Белый, Э. С. Карапетов, Е. С. Цыганкова и др. // Композитные системы на объектах подземного и гражданского строительства: сборник трудов Первой Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 27–28 сентября 2018 года. — Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2019. — С. 47–54.
3. Веселов В. Применение сталежелезобетонных балочных конструкций в транспортном строительстве / В. Веселов // Конспекты лекций по сетям и системам 402 LNS. — С. 269. — DOI: 10.1007/978-3-030-96380-4\_30.
4. Цыганкова Е. С. Применение композитных материалов для обеспечения надежности железобетонных мостов / Е. С. Цыганкова, А. А. Белый, Э. С. Карапетов // Актуальные проблемы безопасности дорожного движения: материалы 71-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 04–06 апреля 2018 года. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2018. — С. 32–36.
5. Смирнов В. Н. Строительство мостовых сооружений / В. Н. Смирнов; ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». — М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2023. — 456 с.
6. Дмитренко Е. А. Основные типы дефектов и повреждений железобетонных конструкций транспортных сооружений, причины их возникновения / Е. А. Дмитренко, Н. В. Почтар // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. — 2016. — № 3(119). — С. 134–138.
7. Карапетов Э. С. Эксплуатационная надежность мостовых сооружений в суровых климатических условиях / Э. С. Карапетов, А. А. Белый // Путьевой навигатор. — 2020. — № 43(69). — С. 2.
8. СТО 002494680-0032—2004. Стандарт организации. Сталежелезобетонные пролетные строения автодорожных мостов. Реконструкция и ремонт.
9. СП 159.1325800.2014. Сталежелезобетонные пролетные строения автодорожных мостов. Правила расчета.
10. ГОСТ Р 59624—2021. Дороги автомобильные общего пользования. Мостовые сооружения. Проектирование сталежелезобетонных элементов.
11. Патент № 2745287 Российская Федерация, МПК E04C 3/293. Сталежелезобетонная балка / В. В. Веселов, В. В. Егоров. — Заявл. 07.09.2020; опублик. 23.03.2021, Бюл. № 9.
12. Патент № 2627810 Российская Федерация, МПК E04C 3/07, E04C 3/293, E04B 1/30. Сталебетонная балка /

В. В. Егоров, В. В. Веселов. — Заявл. 19.05.2016; опубл. 11.08.2017, Бюл. № 23.

13. Патент № 176462 Российская Федерация, МПК E04C 3/293, E04C 3/07, E04B 1/30. Многопролетная несущая балка / В. В. Веселов, А. М. Федоров. — Заявл. 12.09.2017; опубл. 19.01.2018, Бюл. № 2.

14. Патент № 2789683 Российская Федерация, МПК E04C 3/29. Гибридная балка / К. В. Талантова, В. В. Веселов, Д. В. Балаев, Е. Д. Фролова. — Заявл. 13.07.2022; опубл. 07.02.2023, Бюл. № 4.

15. Патент № 182163 Российская Федерация, МПК E04C 3/293. Сталебетонная ферма / В. В. Веселов. — Заявл. 07.05.2018; опубл. 06.08.2018, Бюл. № 22.

16. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции Актуализированная редакция СНиП II-23—81.

17. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.

18. СП 266.1325800.2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования.

19. Методы расчета сталебетонных балок / В. В. Веселов, А. М. Федоров // Современное промышленное и гражданское строительство. — 2018. — Т. 14. — № 2. — С. 97–107.

20. Талантова К. В. Оптимизация расхода стальной фибры при проектировании конструкций на основе сталефибробетона / К. В. Талантова // Известия вузов. Строительство. — Новосибирск, 2014. — № 8. — С. 99–106.

Дата поступления: 12.07.2023

Решение о публикации: 28.08.2023

**Контактная информация:**

ВЕСЕЛОВ Виталий Владиславович — канд. техн. наук, доц.; veselov.1977@inbox.ru

## Application of Steel-Reinforced Concrete Structures in Bridge Constructions

V. V. Veselov

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

**For citation:** Veselov V. V. Application of Steel-Reinforced Concrete Structures in Bridge Constructions // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2023, vol. 20, iss. 3, pp. 633–644. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2023-3-633-644

### Summary

**Purpose:** To analyze the possible use of combined structures for bridge superstructures, to expand the range of steel-reinforced concrete structures, to explore innovative structural solutions for beams with low material consumption and increased reliability and durability. **Methods:** Analysis of the advantages of known combined structures, of materials used for their design, calculation of design options of bridge superstructures with the use of existing engineering techniques and involving calculation programs. **Results:** Traditional design solutions of bridge superstructures do not always have sufficient reliability and durability. A number of effective beam structures have been developed at the Department of “Building Structures, Buildings and Constructions” of the PGUPS, which can be used in bridge structures. New developments of beams with the use of steel-reinforced concrete and steel-fiber concrete are presented. A combined design of the bridge superstructure with the use of steel-reinforced concrete and steel-fiber concrete, protected by patents for inventions, is proposed. Static and constructive calculation of superstructure variants has been performed with the use of the SCAD computing complex, the stress-strain state of the structure has been analyzed, the reduction of material consumption, labor intensity and other advantages of the combined superstructure design in comparison with traditional solutions of superstructure constructions made of steel and reinforced concrete have been considered. **Practical significance:** The advantages of combined constructions for bridge structures have been identified, a decrease

in the material intensity and labor intensity of the proposed design solutions has been established with an increase in the bending stiffness of the superstructure, its reliability and durability. The proposed structural solutions of beams can be used for bridges of large spans in conditions of heavy dynamic loads.

**Keywords:** Bridges, superstructure, steel-reinforced concrete structure, combined beams, steel-fiber concrete, pipe concrete, material intensity, reliability, durability.

## References

1. Veselov V., Talantova K. Gibridnye balochnye konstruktzii transportnykh sooruzheniy [Hybrid beam structures of transport structures]. *Konspekty lektsiy po setyam i sistemam 402 LNNS* [Lecture notes on networks and systems 402 LNNS]. P. 278. DOI: 10.1007/978-3-030-96380-4\_31. (In Russian)
2. Bely A. A., Karapetov E. S., Tsygankova E. S. et al. *Primenenie kompozitnykh materialov pri remonte mostovykh sooruzheniy. Kompozitnye sistemy na ob"ektakh podzemnogo i grazhdanskogo stroitel'stva: sbornik trudov Pervoy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Sankt-Peterburg, 27–28 sentyabrya 2018 goda* [The use of composite materials in the repair of bridge structures. Composite systems at underground and civil construction facilities: Proceedings of the First International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, September 27–28, 2018]. St. Petersburg: St. Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I Publ., 2019, pp. 47–54. (In Russian)
3. Veselov V. *Primenenie stalezhelezobetonnykh balochnykh konstruktсий v transportnom stroitel'stve* [Application of steel-reinforced concrete beam structures in transport construction]. *Konspekty lektsiy po setyam i sistemam 402 LNS* [Lecture notes on networks and systems 402 LNS]. P. 269. DOI: 10.1007/978-3-030-96380-4\_30. (In Russian)
4. Tsygankova E. S., Bely A. A., Karapetov E. S. *Primenenie kompozitnykh materialov dlya obespecheniya nadezhnosti zhelezobetonnykh mostov. Aktual'nye problemy bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: materialy 71-y Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, Sankt-Peterburg, 04–06 aprelya 2018 goda* [The use of composite materials to ensure the reliability of reinforced concrete bridges. Actual problems of road safety: Materials of the 71st All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, postgraduates and Young scientists, St. Petersburg, April 04–06, 2018]. St. Petersburg: St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering Publ., 2018, pp. 32–36. (In Russian)
5. Smirnov V. N. *Stroitel'stvo mostovykh sooruzheniy; FGBU DPO "Uchebno-metodicheskiy tseñtr po obrazovaniyu na zhelezodorozhnom transporte"* [Construction of bridge structures; FSBI DPO "Educational and Methodological Center for Education in Railway Transport"]. Moscow: FGBI DPO "Educational and Methodological Center for education in railway transport" Publ., 2023, 456 p. (In Russian)
6. Dmitrenko E. A., Pochtar N. V. *Osnovnye tipy defektov i povrezhdeniy zhelezobetonnykh konstruktсий transportnykh sooruzheniy, prichiny ikh vozniknoveniya* [The main types of defects and damages of reinforced concrete structures of transport structures, the causes of their occurrence]. *Vestnik Donbasskoy natsional'noy akademii stroitel'stva i arkhitektury* [Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture]. 2016, Iss. 3(119), pp. 134–138. (In Russian)
7. Karapetov E. S., Bely A. A. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost' mostovykh sooruzheniy v surovyykh klimaticheskikh usloviyakh* [Operational reliability of bridge structures in harsh climatic conditions]. *Putevoy navigator* [Travel navigator]. 2020, Iss. 43(69), p. 2. (In Russian)
8. *STO 002494680-0032—2004. Standart organizatsii. Stalezhelezobetonnye proletnye stroeniya avtodorozhnykh mostov. Rekonstruktsiya i remont* [STO 002494680-0032—2004. The standard of the organization. Steel-reinforced concrete superstructures of road bridges. Reconstruction and repair]. (In Russian)
9. *SP 159.1325800.2014. Stalezhelezobetonnye proletnye stroeniya avtodorozhnykh mostov. Pravila rascheta* [SP 159.1325800.2014. Steel-reinforced concrete superstructures of road bridges. Calculation rules]. (In Russian)

10. GOST R 59624—2021. *Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Mostovye sooruzheniya. Proektirovaniye stalezhelezobetonnykh elementov* [GOST R 59624—2021. Public roads. Bridge structures. Design of steel-reinforced concrete elements]. (In Russian)
11. Veselov V. V., Egorov V. V. *Stalezhelezobetonnyaya balka* [Steel-reinforced concrete beam]. Patent RF, no. 2745287, 2021. (In Russian)
12. Veselov V. V., Egorov V. V. *Stalebetonnaya balka* [Steel-concrete beam]. Patent RF, no. 2627810, 2017. (In Russian)
13. Veselov V. V., Fedorov A. M. *Mnogoproletnaya nesushchaya balka* [Multi-span load-bearing beam]. Patent RF, no. 176462, 2018. (In Russian)
14. Talantova K. V., Veselov V. V., Balaev D. V. et al. *Gibridnaya balka* [Hybrid beam]. Patent RF, no. 2789683, 2023. (In Russian)
15. Veselov V. V. *Stalebetonnaya ferma* [Steel-concrete farm]. Patent RF, no. 182163, 2018. (In Russian)
16. SP 16.13330.2017. *Stal'nye konstruktsii Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP II-23—81* [SP 16.13330.2017. Steel structures Updated edition of SNIIP II-23—81]. (In Russian)
17. SP 63.13330.2018. *Betonnye i zhelezobetonnye konstruktsii. Osnovnyye polozheniya* [SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions]. (In Russian)
18. SP 266.1325800.2016. *Konstruktsii stalezhelezobetonnye. Pravila proektirovaniya* [SP 266.1325800.2016. Steel-reinforced concrete structures. Design rules]. (In Russian)
19. Veselov V. V., Fedorov A. M. *Metody rascheta stalebetonnykh balok* [Methods of calculation of steel-concrete beams]. *Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Modern industrial and civil construction]. 2018, vol. 14, Iss. 2. pp. 97–107. (In Russian)
20. Talantova K. V. *Optimizatsiya raskhoda stal'noy fibry pri proektirovanii konstruktsiy na osnove stalefibrobetona* [Optimization of steel fiber consumption in the design of structures based on steel fiber concrete]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of universities. Construction]. Novosibirsk, 2014, Iss. 8, pp. 99–106. (In Russian)

Received: July 12, 2023

Accepted: August 28, 2023

**Author's information:**

Vitaliy V. VESELOV — PhD in Engineering, Associate Professor; e-mail: veselov.1977@inbox.ru