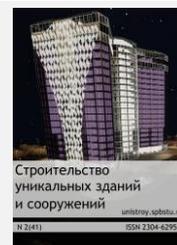




Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Пролетные строения мостов с гофрированными металлическими стенками

А.О. Лукин¹, А.А. Суворов²

¹⁻² Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 443001, Россия, Самара, ул. Молодогвардейская, 194.

Информация о статье

УДК 624.21:625:624.01

История

Подана в редакцию 24 октября 2015

Ключевые слова

сталежелезобетонный мост;
стальной мост;
гофрированная стенка;
предварительно напряженный железобетон;
гофрирование;
конструктивная схема;
анализ;

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрено конструктивное решение при проектировании сталежелезобетонных и металлических мостов, основанное на применении металлических гофрированных стенок. Проведен анализ отечественной и зарубежной литературы. Дана классификация мостов с гофрированными стенками. Рассмотрены дальнейшие перспективы развития. По результатам анализа можно сделать основной вывод: применение гофрированных стенок в сталежелезобетонных пролетных строениях повышает эффективность применения предварительно напряженного железобетона и снижает металлоемкость мостовой конструкции на 15-25%, а трудозатраты на 15-20%; в стальных пролетных строениях позволяет повысить устойчивость стенки на 20-25%, что дает преимущество при изготовлении и монтаже. Мостовые пролетные строения с применением гофрированных стенок соответствуют критериям жесткости и несущей способности строительных конструкций, что позволяет активно применять такие конструктивные решения при различных условиях работы под нагрузкой. Большие объемы строительства подтверждают актуальность данной тематики для исследования.

Содержание

1.	Введение	46
2.	Обзор литературы	46
3.	Классификация мостов	47
4.	Мировой опыт строительства мостов с гофрированными стенками	48
5.	Перспективы развития	60
6.	Заключение	60

Контактный автор:

- +7(917)1174720, a.o.lukin@rambler.ru (Лукин Алексей Олегович, ассистент)
- +7(963)1164403, a.suvorov163@mail.ru (Суворов Александр Анатольевич, аспирант)

1. Введение

Стоимость пролетных строений составляют около 60–65% от общей стоимости моста, а, следовательно, рациональный выбор материала пролетного строения, его конструктивного решения, технологии изготовления и монтажа существенно влияет на стоимость моста в целом.

Одним из путей снижения металлоемкости несущих строительных конструкций является применение в них тонколистовой стали с обеспечением местной устойчивости элементов сечения путем придания им пространственной формы. Процесс получения пространственной формы за счет создания складок-ребер жесткости (гофров) в листовых материалах путем гибки или штамповки листа с целью улучшения прочностных и жесткостных характеристик материала называется **гофрирование**. Современные технологии производства позволяют изготавливать такие конструкции (рис. 1).

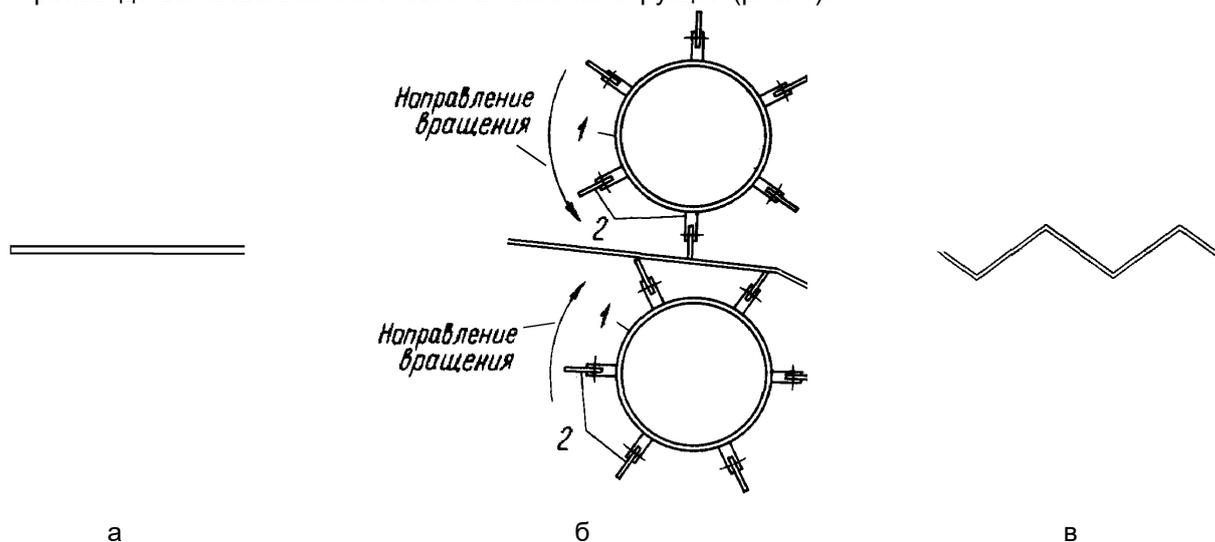


Рис. 1. Принципиальная схема гофрирования
а - плоский лист; б - схема установки для получения гофрирования листа с треугольным гофром [1]:

1 - валки; 2 - съемные пластины; в – гофрированный лист.

История гофрирования насчитывает уже не одну сотню лет. Еще в 16 веке применяли гофрирование при изготовлении доспехов, созданных в Германии-Австрии при Максимилиане I. Максимилиановский доспех имел большое количество ребер жесткости, изготовленных путём гофрирования, что давало доспеху большую прочность при меньшем весе [2].

Гофрированные пластинки имеют ряд конструктивных, технологических и эксплуатационных преимуществ:

- уменьшение массы расходуемого материала;
- повышение производительности труда при изготовлении;
- уменьшение трудоемкости обработки;
- значительное снижение стоимости конструкций.

Гофрированные пластинки в качестве несущих элементов конструкций в настоящее время применяются:

- в судостроении: люки с гофрированной крышкой, гофрированные панели корпуса, гофрированные переборки;
- в авиастроении: гофрированные детали обшивки, гофрированные стенки лонжеронов крыла;
- в строительстве: балки, колонны, ригели, арки, прогоны, ограждающие конструкции;
- в мостостроении: гофрированные стенки пролетных строений.

2. Обзор литературы

Основные работы, посвященные теоретическому и экспериментальному исследованию балочных и висячих мостов с гофрированными стенками, ведутся в Японии, Китае, США [3-14]. Большие объемы строительства подтверждают актуальность данной тематики.

В 2007-2008 гг. в Китае начали исследовать работу сталежелезобетонных арочных мостов [15, 16] с применением стальных гофрированных стенок (рис. 2).



а
б
Рис. 2. Исследование арочных мостов с гофрированными стенками
а – пояса из стальных труб, заполненных бетоном [15];
б – пояса из предварительно напряженного железобетона [16]

В нашей стране уделяется большое внимание изучению стальных балок с гофрированной стенкой в промышленных и гражданских зданиях [17-34]. Но в мостостроении этой проблемой практически не занимались. В 1993 г. Ахмад Абдульджалил Аль Дери под руководством д.т.н. проф. Потапкина А.А. выполнена и защищена кандидатская диссертация [35]. В работе указывается, что использование гофрированных стенок повышает эффективность применения предварительно напряженного железобетона, а также устойчивость стенки на 20-25%, при этом снижается металлоемкость мостовой конструкции на 15-25%, а трудозатрат на 15-20%. К сожалению, в России к настоящему моменту почти нет исследователей, занимающихся этим вопросом.

3. Классификация мостов

Мосты, в которых применяются гофрированные пластинки можно классифицировать:

1. По материалу: сталежелезобетонные; металлические.
2. По виду применяемого гофра в стенке: волнистый; трапециевидный; треугольный.

3.1. Сталежелезобетонные мосты

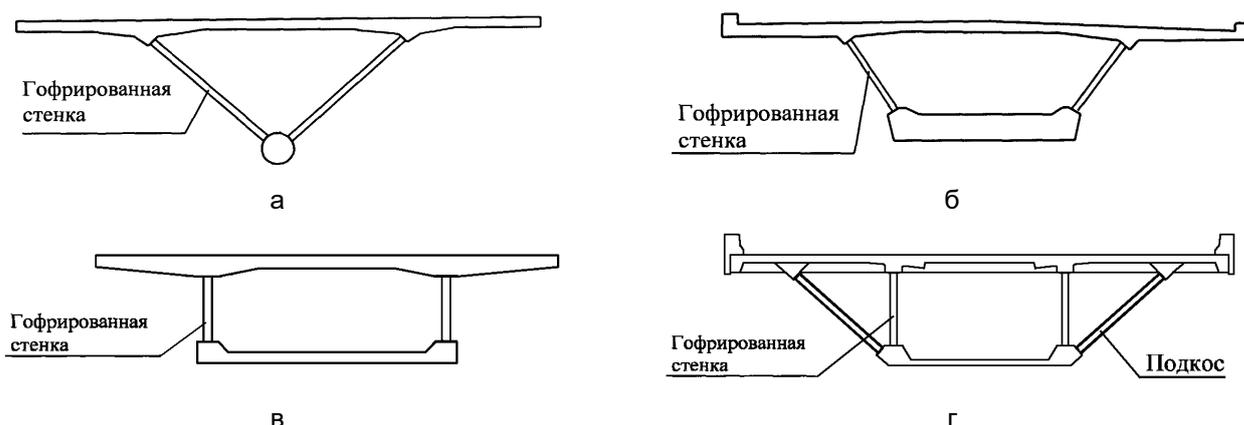


Рис. 3. Типы коробчатых поперечных сечений сталежелезобетонных мостов:
а - треугольной формы; б - трапециевидной формы; в - прямоугольной формы;
г - прямоугольной формы с подкосами.

Сталежелезобетонные мосты подразделяются:

- по типу коробчатых поперечных сечений пролетного строения моста: треугольной формы (рис. 3 а); трапециевидной формы с наклонными стенками (рис. 3 б); прямоугольной формы с прямыми стенками (рис. 3 в); прямоугольной формы с подкосами (рис. 3 г).

- по условию работы под нагрузкой на следующие системы пролетного строения: балочную; арочную; висячую.

3.2. Металлические мосты

Металлические мосты подразделяются:

- по типу поперечных сечений пролетного строения моста: сварные двутавры, объединенные железобетонной плитой по верхним поясам (рис. 4 а); сварные двутавры, объединенные связями жесткости по нижним поясам (рис. 4 б); сварные двутавры, объединенные вертикальными и горизонтальными связями жесткости (рис. 4 в).

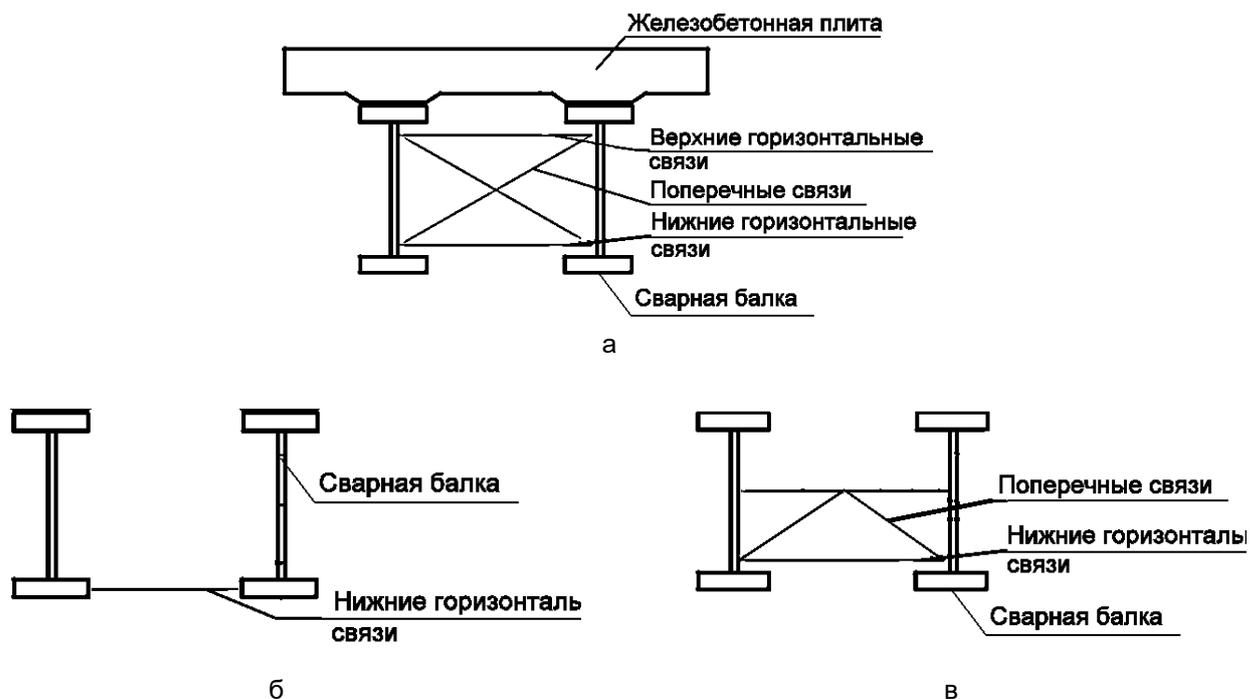


Рис. 4. Типы поперечных сечений металлических мостов:

а - сварные двутавры, объединенные железобетонной плитой по верхним поясам; б - сварные двутавры, объединенные горизонтальными связями жесткости по нижним поясам; в - сварные двутавры, объединенные вертикальными и горизонтальными связями жесткости.

- по условию работы под нагрузкой на следующие системы пролетного строения: балочную; арочную.

4. Мировой опыт строительства мостов с гофрированными стенками

4.1. Сталежелезобетонные мосты

Применение стальных гофрированных элементов в качестве стенки – это новейшее конструктивное решение при проектировании сталежелезобетонных мостов [35]. При этом для верхней и нижней плиты используется предварительно напряженный железобетон. Гофрированные стенки должны только соединить поперечное сечение и передать поперечные силы (рис. 5).

Целью данной разработки являлось уменьшение собственного веса мостовой конструкции и повышение эффективности применения предварительно напряженного железобетона в плитах путем снижения потерь предварительно напряженного из-за малой продольной жесткости гофрированной стенки.

Ниже приведены примеры существующих конструкций мостов с описанием их характеристик в разных странах, начиная с середины 1980-х годов и до сегодняшних дней.

4.1.1. Мосты Франции

- мост «Cognac bridge» является первым автомобильным сталежелезобетонным мостом с применением гофрированных элементов, построенный во Франции в 1986 году. Французская компания «Campeon Bernard» разработала проект этого моста [36, 37]. Поперечное сечение моста «Cognac bridge» (рис. 6) представляет собой трапециевидное коробчатое сечение, которое состоит из железобетонных поясов и гофрированных стенок высотой 2285 мм и толщиной 8 мм, наклоненных к поясам под углом около

35°. Общая длина моста составляет 105 м. Мост состоит из трех предварительно напряженных пролетных строений (31+43+31 м) с главным пролетом 43 м (рис. 7).

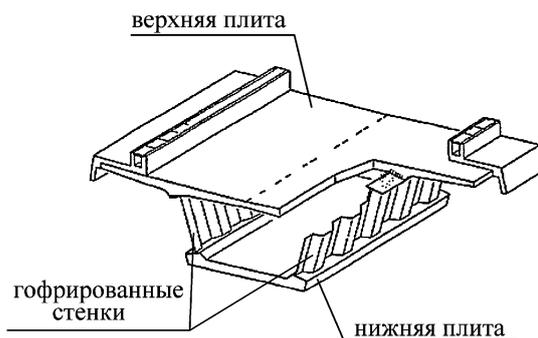


Рис. 5. Трехмерная схема композитного сечения моста [38]

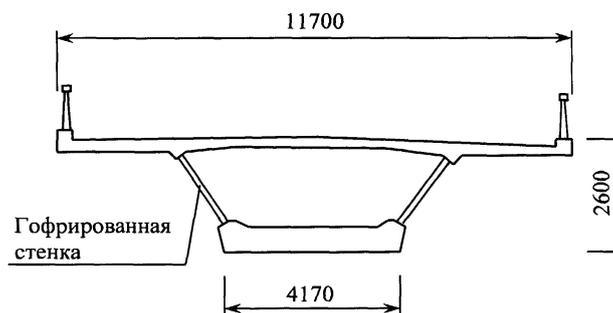
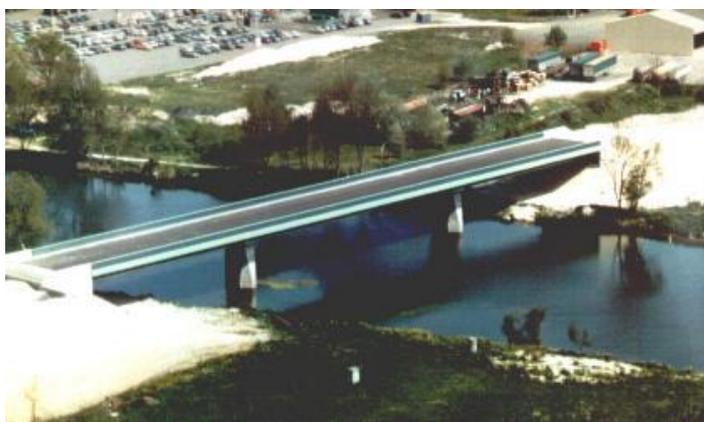
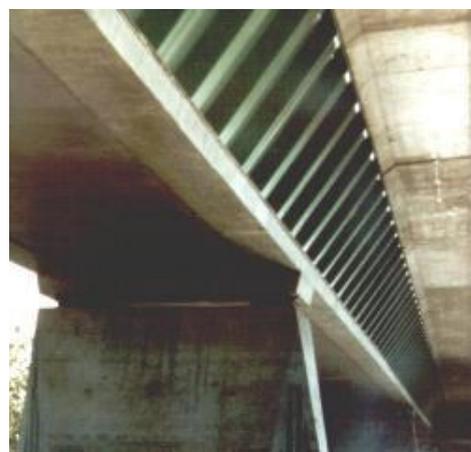


Рис. 6. Поперечное сечение пролетного строения моста «Cognac bridge» [39]



а



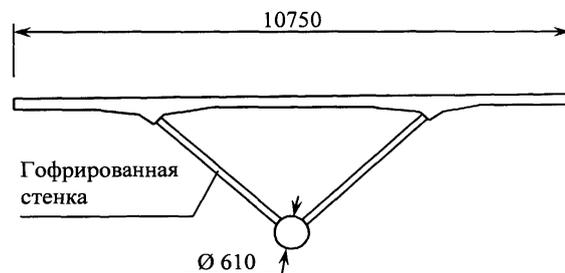
б

Рис. 7. Мост «Cognac bridge» [40]

- Мост «Val de Maupre Viaduct» (Maupre bridge) был построен через реку Шаранту в 1987 г. (рис. 8 а) [3, 36, 37, 41]. Поперечное сечение пролетного строения моста (рис. 8 б) имеет треугольную форму, состоящее из двух наклонных стальных волнисто гофрированных стенок толщиной 8 мм, приваренными к нижнему поясу из стальной трубы, заполненной бетоном, и верхнего пояса в виде железобетонной плиты. Мост общей длиной 324,45 м состоит из семи предварительно напряженных пролетных строений (40,95 + 47,25 + 53,55 + 50,4 + 47,25 + 44,10+ 40,95 м). Максимальный пролет 53,55 м.



а



б

Рис. 8. Мост «Val de Maupre Viaduct»: а - общий вид моста [42]; б – схема поперечного сечения [39].

- Мост «Pare Asterix Bridge» был построен в 1989 г. через автомагистраль А1 недалеко от Парижа [3, 36, 37]. Поперечное сечение пролетного строения состоит из двух стальных двутавровых балок с гофрированными стенками трапециевидного очертания, объединенных верхним поясом из железобетонной плиты. Мост общей длиной 74,8 м состоит из двух пролетных строений. Максимальный пролет 43 м.



Рис. 9. Мост «Dole Bridge» («Pont de la Corniche») [43]

- Мост «Dole Bridge» («Pont de la Corniche») построен в 1995 г. [3, 36, 41, 44]. Поперечное сечение пролетного строения моста представляет собой коробчатое сечение трапециевидной формы с поясами из железобетонных плит и двух стальных гофрированных стенок трапециевидного очертания (рис. 9). Высота поперечного сечения переменная по длине от 2,5 до 5,5 м, толщиной стенок изменялась от 8 мм до 12 мм. Мост общей длиной 496 м состоит из семи пролетных строений. Максимальный пролет 80 м.

Мосты, построенные во Франции, послужили прототипами мостов подобной конструкции в Японии, Германии, Корее, Китае, Венгрии, Норвегии, Венесуэле.

4.1.2. Мосты Японии

В настоящее время в Японии более чем в 50-ти мостах применены гофрированные стенки, это доказывает эффективность такого решения [3]. Представим некоторые из них:



Рис. 10. Мост «Shinkai Bridge» [3]

- Мост «Shinkai Bridge» (рис. 10) был первым мостом с гофрированной стенкой и предварительно напряженными железобетонными плитами, построенный в Японии [3]. Поперечное сечение пролетных строений моста «Shinkai Bridge» представляет собой коробчатое сечение трапециевидной формы с наклонными стальными гофрированными стенками трапециевидного очертания толщиной 8 мм и

железобетонными поясами. Мост длиной 31 м состоит из одного пролетного строения. Длина пролета 30 м, ширина 14,8 м.



Рис. 11. Мост «Ginzan-Miyuki Bridge» [45]

- Мост «Ginzan-Miyuki Bridge» в префектуре Акита (Akita) (рис. 11), был вторым мостом с гофрированными стенками, который построен в Японии [3]. Этот мост состоит из пяти пролетов общей длиной 210 м и выполнен по неразрезной балочной схеме. Максимальный пролет 45,5 м. Кроме того, этот мост был первым балочным неразрезным пролетным строением с гофрированной стенкой в Японии. Мост завершен в 1996 г.



Рис. 12. Мост «Hondani Bridge» [3]

- Мост «Hondani Bridge» (рис. 12) был третьим мостом с гофрированными стенками, построенный в Японии. Поперечное сечение пролетное строение моста имеет прямоугольную коробчатую форму, состоящую из вертикальных стальных гофрированных стенок трапециевидного очертания переменной высоты от 2,5 до 6,4 м и толщиной 12 мм и поясов из железобетона. Этот мост выполнен по балочной трехпролетной неразрезной схеме из предварительно напряженных железобетонных коробчатых сечений. Общая длина моста 198,2 м, максимальный пролет 97,2 м, а ширина 11,04 м [3]. Завершен в 1998 г.



Рис. 13. Мост «Kurobegawa Bridge» [3]

- Мост «Kurobegawa Bridge» (рис. 13) является первым в мире мостом с гофрированными стенками, построенный для железной дороги [3]. Общая длина моста составляет 761 м, из которых 344 м с использованием гофрированных стенок. Завершен в 2004 г.

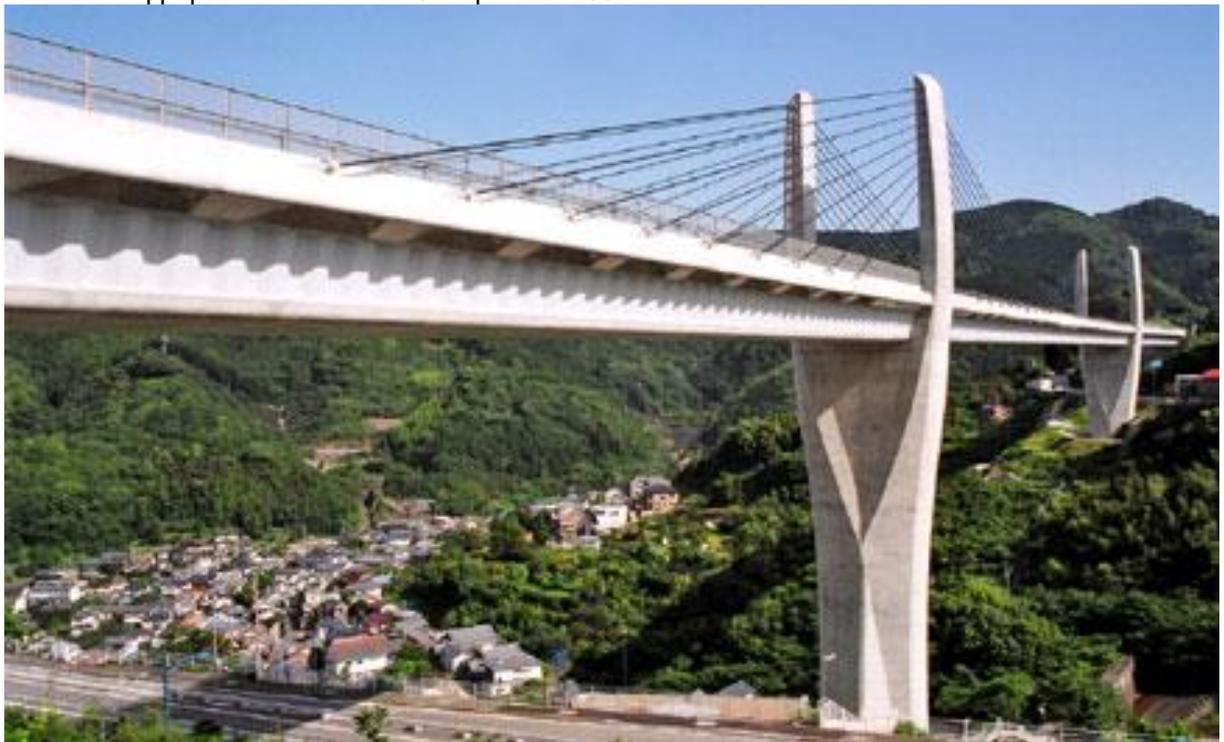


Рис. 14. Мост «Himiyume bridge» [46]

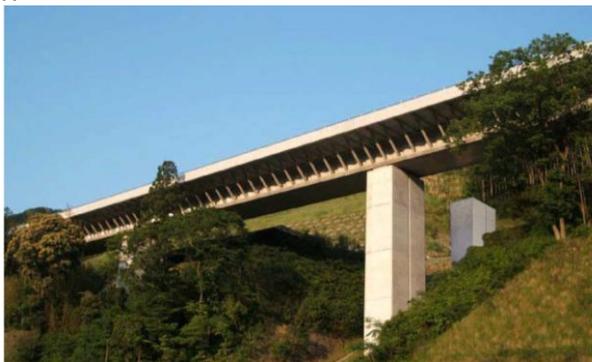
- Мост «Himiyume bridge» (рис. 14) построен около скоростной магистрали в Nagasaki [5, 47, 48]. Этот мост является первым в мире мостом, объединившим в себе два новых конструктивных решения - коробчатое сечение из предварительно напряженного сталежелезобетона с гофрированными стальными стенками и систему с внешним армированием (Экстрадоз), разработанную в 1988 году. Мост «Himiyume bridge» выполнен по трехпролетной неразрезной балочной схеме общей длиной 365 м с центральным пролетом 180 м. Эффективная ширина верхней плиты 9,75 м. Пролет длиной 180 м был самый длинный пролет в Японии как для мостов класса экстрадоз, так и для мостов балочного типа коробчатого сечения из предварительно напряженного сталежелезобетона с гофрированными стальными стенками. Гофрирование стенок сделано по трапецеидальному очертанию. Завершен в 2004 г.

- Мост «Yahagigawa bridge» (рис. 15) является первым подвесным мостом с использованием гофрированных стенок. Его пролетное строение представляет собой коробчатое сечение с поясами из железобетонных элементов и семи гофрированными стальными стенками трапецевидного очертания. Главный пролет 235 м, полная длина 820 м, высота пролетного строения переменная от 4 до 6 м [50]. «Yahagigawa bridge» с шириной пролетного строения моста 43,8 м является одним из самых широких мостов в Японии. Завершен в 2005 г.



Рис. 15. Мост «Yahagigawa bridge» [49]

- Мост «Katsurashima Viaduct» (рис. 16) балочного неразрезного типа с четырьмя пролетами общей протяженностью 216 м, максимальный пролет 54.0 м, шириной 17.8 м [3]. Поперечное сечение было принято прямоугольное коробчатое с дополнительными подкосами и ребрами, как показано на рис. 18 б. Закончен в 2005 г.



а



б

Рис. 16. Мост «Katsurashima Viaduct» [51]:
а – общий вид моста; б – сечение моста.

- Мост «Kinugawa Bridge» (рис. 17 является одним из самых длинных мостов в Японии, в котором были применены гофрированные стенки [52]. Мост состоит из 16 пролетов общей длиной 1005 м с максимальным пролетом 71.9 м. Расположен в префектуре Точиги (Tochigi). Завершен в 2006 г.



Рис. 17. Мост «Kinugawa Bridge» [53]



Рис. 18. Мост «TOYOTA C-Ramp Bridge» [46]

Еще несколько примеров мостов в Японии, в которых были применены гофрированные стенки: Shigaraki 7th Bridge [2], Matsunoki №7; Yourapgawa bridge; TOYOTA C-Ramp Bridge [46] (рис. 18); Akabuchi-gawa bridge; Shirasawa Bridge; Kowagauchi-gawa Bridge; Ikeyama bridge; Sugitanigawa bridge и т.д.

4.1.3. Мосты Германии

- Мост «*Altwipfergrund Bridge*» (рис. 19) был первым мостом с гофрированными стенками, построенный в Германии [3]. Это трехпролетный неразрезной балочный мост с общей длиной 280.0 м и максимальным пролетом 115.0 м.



Рис. 19. Мост «*Altwipfergrund bridge*» [54]

4.1.4. Мосты Кореи

- Мост «*IlSun Bridge*» (рис. 20) был первым мостом с гофрированными стенками в Корее [3]. Этот мост состоит из 14-ти пролетов. Мост представляет собой две различные схемы восприятия внешних нагрузок. Одна часть работает по двенадцати пролетной неразрезной балочной схеме, а вторая часть по двухпролетной. Общая длина моста составляет 801 м с максимальным пролетом 60 м. Ширина пролетного строения 21,2 м. Мост завершен в 2005 г.



Рис. 20. Мост «*IlSun Bridge*» [3]

4.1.5. Мосты Китая

- Мост «*Pohe Bridge*» (рис. 21) был первым мостом с гофрированными стенками в Китае [55]. Этот мост состоит из четырех пролетов, выполнен по балочной неразрезной схеме. Поперечное сечение

трапецевидной формы с наклонными стенками. Общая длина моста 180 м, все пролеты длиной по 30 м. Мост завершен в 2005 г.



Рис. 21. Мост «Pohe Bridge» [56]

С конца 1990-х годов в Китае активно ведется строительство мостов такого типа, некоторые из них представлены в табл. 1 [55].

Табл. 1. Мосты с гофрированными стенками в Китае

Название моста	Количество пролетов	Величины пролетов, м	Год окончания
Pohe Bridge	4	4×30	2005
Changzheng Bridge	3	18,5+30+18,5	2005
Dayan River Bridge	1	25	2006
Yongxin River Bridge	3	24+40+24	2007
Weihe Bridge	3	47+52+47	2010
Zijin Bridge	3	88+156+88	-
Juancheng Bridge	12	70+11×120+70	-
Chuhe Bridge (рис. 22) [57]	3	53+96+53	2012



Рис. 22. Мост «Chuhe Bridge» [58]

4.1.6. Мосты других стран

Венгрия - Мост «*Móra Ferenc Tisza bridge*» [59];

Норвегия - Мост «*Tronko Bridge*» [60];

Венесуэла - Мост «*Caracas Bridge*» [60].

Казахстан. На сегодняшний день имеется опыт применения балок с гофрированной стенкой «БГС-Казахстан» в составе сталежелезобетонных балок пролетом 21,0 м для моста под автомобильный транспорт в районе с сейсмичностью 9 баллов [61].

4.2. Металлические мосты

Применение гофрированных стенок в металлических балках пролетных строений мостов наблюдается значительно реже, чем в сталежелезобетонных. Все известные металлические мосты с применением балок с гофрированной стенкой в основном являются экспериментальными.

4.2.1. Мосты США

- Мост в Округе Брэдфорд штат Пенсильвания.

Министерством транспорта Пенсильвании разработан и построен демонстрационный двухпролетный автомобильный мост (рис. 23) общей длиной 77 м (253 фута) [62]. Четыре стальных балки этого моста имеют гофрированные стенки трапецеидального очертания. Стенки, полки и соединительные накладки выполнены из стали High Performance Steel (HPS) 70W. Мост открыт в июле 2005 г.



Рис. 23. Демонстрационный мост в Округе Брэдфорд штат Пенсильвания [63]

- мосты «Hillhouse Avenue Pedestrian Bridges».

Hillhouse Avenue Pedestrian Bridges - это два пешеходных моста, расположенных на территории кампуса университета Йель (Yale) в США (рис. 24 а) [64]. Мосты являются однопролетными и выполнены по балочной схеме с пролетом 62 фута (18,9 м) и шириной 10 футов (3,05 м), 8 футов (2,44 м). Поперечное сечение открытого типа, состоит из двух сварных двутавров с гофрированной стенкой, объединенных связями по нижним поясам (рис. 24 б). Основные несущие балки имеют высоту 46 дюймов (1,169 м) и выполнены из стали HPS 70W. Гофрированная стенка толщиной $\frac{1}{4}$ дюйма (6,35 мм) имеет трапециевидную форму с переменной высотой волны по длине балки. Наибольшая высота волны расположена на опорных участках балок. Гофрированная стенка имеет регулярную перфорацию. Пешеходные мосты в университете Йель считаются первыми, где было объединена гофрированная стенка с перфорацией. Мосты открыты в 2010 г.



а



б

Рис. 24. Пешеходный мост «Hillhouse Avenue Pedestrian Bridge» [65]:
а – общий вид моста; б – поперечное сечение моста

4.2.2. Мосты Нидерландов

- мост компании *Corrugated Plate Industry (GLP)*.

Компания GLP построила однопролетный балочный автомобильный мост через железнодорожные пути (рис. 25) с трапециевидальным очертанием гофров [36].



Рис. 25. Балочный мост с трапецидальным очертанием гофров [36]

4.2.3. Мосты Австрии

- мост компании Zeman.

Компания Zeman [64] в Австрии в г. Вена построила пешеходный мост через железнодорожные пути с применением балок с гофрированной стенкой синусоидального очертания (рис. 26). Мост общей длиной 52 м состоит из двух пролетов 33+19 м. Мост закончен в 2003 году.



а



б

Рис. 26. Мостовой переход с гофрированными стенками синусоидальной формы [64]

4.2.4. Мосты Казахстана

- мост через автомобильную магистраль.

В Казахстане гофрированные балки с треугольным гофром «БГС-Казахстан» начали применять для строительства мостовых переходов через автомобильные магистрали. На рис. 27 показана конструкция пешеходного моста пролетом 42,0 м шириной 2,7 м, построенного в девятибалльном сейсмическом районе. Для главных балок высотой 1,4 м пролетного строения моста были применены сварные двутавровые сечения типа «БГС-Казахстан» с толщиной стенки 8 мм. Балки выполнены из трех отправочных марок. Средняя марка имеет криволинейное очертание арочного типа [61].



Рис. 27. Пешеходный мост из балок типа «БГС-Казахстан» [61]

5. Перспективы развития

Широкое применение стальных гофрированных стенок в сталежелезобетонных и металлических мостах показало обоснованность такого решения. Дальнейшие перспективы развития связаны с совершенствованием конструктивных решений, а также методов расчета таких конструкций.

Совершенствование конструктивных решений мостовых конструкций с гофрированными стенками может быть направлено, во-первых, на изучение новых видов конструкций, таких как арочные или комбинированные системы [67, 68], во-вторых, на изучение комбинированных конструкций, например, использование трубобетонных конструкций [69, 70, 71], применение тонкостенных профилей [71, 72] и в-третьих, на разработку более надежных узлов и соединений пролетных строений.

6. Заключение

В результате проведенного анализа можно сказать, что мостовые пролетные строения с применением гофрированных стенок соответствуют критериям жесткости и несущей способности строительных конструкций, что позволяет активно применять такие конструктивные решения при различных условиях работы под нагрузкой.

Основные выводы:

1. Применение гофрированных стенок в сталежелезобетонных пролетных строениях повышает эффективность применения предварительно напряженного железобетона и снижает металлоемкость мостовой конструкции на 15-25%, а трудозатраты на 15-20%.

2. Применение гофрированных стенок в стальных пролетных строениях позволяет повысить устойчивость стенки на 20-25%, что дает преимущество при изготовлении и монтаже.

3. В настоящее время в нашей стране, несмотря на технологический прогресс, до сих пор отсутствуют конструкции рассматриваемого вида.

Авторами статьи далее намечено:

1. Разработать и исследовать новую сталежелезобетонную конструкцию, а также надежную конструкцию объединения бетона и стальной гофрированной стенки.

2. Дать предложения по расчетам новой сталежелезобетонной конструкции и конструкции объединения бетона и стальной гофрированной стенки.

Литература

- [1]. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 1. Элементы конструкций: Учеб. Для строит. вузов / В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов, Г.И. Белый, Л.В. Енджиевский, И.И. Крылов, Я.И. Ольков, В.Ф. Сабуров / Под ред. В.В. Горева. – М.: Высшая школа, 2004. – 551 с.
- [2]. Boeheim W. Handbuch der Waffenkunde. Das Waffenwesen in seiner historischen Entwicklung vom Beginn des Mittelalters bis zum Ende des 18 Jahrhunderts. Leipzig, 1890. 695 с.
- [3]. Ikeda S., Sakurada M. (2005) Development of hybrid prestressed concrete bridges with corrugated steel web construction. Proceedings of the 30th Conference on Our World In Concrete & Structures. 2005. Singapore. Системные требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://www.cipremier.com/e107_files/downloads/Papers/100/30/100030003.pdf (дата обращения: 26.10.2015).
- [4]. Zhou X., Kong X., Hou J., Cheng D., Di J. China Journal of Highway and Transport. 2007. Vol. 20. No 2. pp. 77-82. (in Chinese)
- [5]. Song J., Lu J., Li W., Zhang J. (2010) Finite element simulation of the composite continuous box-girder bridge with corrugated steel webs by CBCW. Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering. The University of Nottingham. 2010. pp. 1-6.
- [6]. Shan C., Liu W. (2012) Temperature Stress Analysis of Prestressed Concrete Box Girder with Corrugated Steel Webs. 2012. Vol. 18. No 2. pp. 97-103.
- [7]. Tanaka Y., Ichioka Y., Kono S., Ohta Y., Watanabe F. (2008) Precast pre-stressed portal frames with corrugated steel panel dampers. The 14th World Conference on Earthquake Engineering. October 12-17, 2008, Beijing, China. Системные требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/14_12-01-0123.PDF. (дата обращения: 26.10.2015).
- [8]. Ma L., Zhou L., Li S., Wan S. (2012) Eccentric Load Coefficient of Live Load Normal Stress of Continuous Composite Box-girder Bridge with Corrugated Steel Webs. Procedia Earth and Planetary Science. 2012. No 5. pp. 335-340.
- [9]. Hassanain M.A., Loov R.E. (1999) Design of Prestressed Girder Bridges Using High Performance Concrete – An Optimization Approach. PCI Journal. 1999. Vol. 44. No. 2. pp. 40-55.
- [10]. El-Metwally A.S., Loov R.E. (1998) Composite Girders – High Strength Concrete Combined with Corrugated Steel Webs. Proceedings of the International Symposium on High-Performance and Reactive Powder Concretes. August 1998. Vol. 1. pp. 197-215.
- [11]. El-Metwally A.S., Loov R. E. (2003) Corrugated steel webs for prestressed concrete girders. Materials and Structures. 2003. Vol. 36. pp. 127-134.
- [12]. Mo Y.L., Jeng C.H., Chang Y.S. (2000) Torsional Behavior of Prestressed Concrete Box-Girder Bridges with Corrugated Steel Webs. ACI Structural Journal. 2000. Vol. 97. No. 6. pp. 849-859.
- [13]. He J., Liu Y., Chen A., Yoda T. (2012) Mechanical Behavior and Analysis of Composite Bridges with Corrugated Steel Webs: State-of-the-Art. International Journal of Steel Structures. 2012, Vol. 12. No 3. pp. 321-338.
- [14]. He J., Liu Y., Chen A. (2009) Elastic bending theory of composite bridge with corrugated steel web considering shear deformation. Key Engineering Materials. 2009. No 400-402. pp. 575-580.
- [15]. Chen B. Wang Y., Huang Q. (2007) New type of concrete arch bridge with corrugated steel webs. Proceedings of the 5th International conference on Arch Bridges. 2007. pp. 807-814.
- [16]. Gao J., Chen B. (2008) Experimental research on CFST model arch with corrugated steel web subjected to asymmetric load. Proceedings of Chinese-Croatian joint colloquium: Long Arch Bridges. 2008. pp. 401-408.
- [17]. Соловьев А.В., Лукин А.О., Алпатов В.Ю., Севастьянов В.Н. Учет особенностей работы балок с гофрированной стенкой в расчетах на стесненное кручение // Вестник МГСУ. 2012. № 11. С. 105–112.
- [18]. Лукин А.О., Шевцов И.А. Классификация балок с гофрированной стенкой // Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции №2 «Вопросы технических наук: новые подходы в решении актуальных проблем». Казань: Инновационный центр развития образования и науки, 2015. С. 46-50.
- [19]. Ажермачев Г.А. Балки с волнистыми стенками // Промышленное строительство. 1963. № 4. С. 54–56.
- [20]. Егоров П.И., Степаненко А.Н. Обеспечение прочности и жесткости стальных двутавровых стержней с тонкой гофрированной стенкой // Строительство и Реконструкция. 2010. № 2. С. 46-50.
- [21]. Остриков Г.М., Максимов Ю.С., Долинский В.В. Исследование несущей способности стальных двутавровых балок с вертикально гофрированной стенкой // Строительная механика и расчет сооружений. 1983. № 1. С. 68-70.

- [22]. Крылов И.И., Кренин А.Н. Эффективные балки из тонкостенных профилей // Известия вузов. Строительство. 2005. №6. С. 11-14.
- [23]. Полторацнев А.С. Вариация прочности отсеков при проектировании балок с плоской и гофрированной тонкой стенкой // Вестник гражданских инженеров СПбГАСУ. Архитектура. Строительство. Транспорт. 2012. №4. с. 175-179.
- [24]. Рыбкин И.С. Применение тонкостенных металлических конструкций при мелиоративном и сельском строительстве // Мелиорация и водное хозяйство. 2007. №2. С. 23-25.
- [25]. Рыбкин И.С. Особенности проектирования стальных балок с гофрированной стенкой и перспективы их применения // Промышленное и гражданское строительство. 2008. №12. С. 12-14.
- [26]. Кузнецов И.Л., Актуганов А.А., Трофимов А.П. Разработка и исследование металлодеревянной двутавровой балки // Известия КГАСУ. 2010. №1 (13). С. 117-121.
- [27]. Рогалевиц В.В., Кудрявцев С.В. Концентрация напряжений вблизи круговых отверстий в гофрированных стенках балок // Известия вузов. Строительство. 2008. № 11.С. 8-13.
- [28]. Соловьев А.В., Лукин А.О. Оценка влияния стесненного кручения на работу балки с гофрированной стенкой // Изв. Вузов. Строительство. 2012. № 6. С. 112–118.
- [29]. Лукин А.О. К уточненному расчету напряженно-деформированного состояния балок с гофрированной стенкой // Строительная механика и расчет сооружений. 2013. № 5. С. 10-17.
- [30]. Холопов И.С., Лукин А.О., Алпатов В.Ю., Соловьев А.В., Гудков К.Н. Облегченные металлические конструкции - опыт, разработка, внедрение // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2011. № 12 (155). С. 40-45.
- [31]. Лукин А.О. Определение прогибов балок с гофрированной стенкой с учетом сдвиговых деформаций // Инженерный Вестник Дона: электронный журнал. 2013. №1. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1496>. (дата обращения: 26.10.2015).
- [32]. Лукин А.О., Холопов И.С., Соловьев А.В. Распределение напряжений в опорном сечении ригеля с гофрированной стенкой // Вестник транспорта Поволжья. 2008. № 4 (16). С. 96-100.
- [33]. Соловьев А.В., Лукин А.О., Алпатов В.Ю. Анализ эффективности применения двутаврового элемента с гофрированной стенкой при работе в сложном напряженно-деформированном состоянии // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 6. С. 27-30.
- [34]. Заборова Д.Д., Дунаевская Ю.П. Преимущества и особенности применения гофро-балки в строительстве // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №7 (22). С. 36-53.
- [35]. Ахмад А.А.Д. Сталежелезобетонные пролетные строения мостов с гофрированными стенками: автореферат дисс. на соискание учен. степ. канд. техн. наук. Москва, 1993. 24 с.
- [36]. Hoop H.G. Girders with corrugated webs. Literature study: Master thesis. Delft, Netherlands, 2003. 48 p.
- [37]. Abbas H.H. (2003) Analysis and design of corrugated web I-girders for bridges using high performance steel: Ph.D. dissertation. Bethlehem, USA, 2003. 425 p.
- [38]. URL: <http://www.cpi-glp.com/corrugatedplate.htm> (дата обращения: 19.01.2016).
- [39]. Кудрявцев С.В. Несущая способность балок с гофрированной стенкой, ослабленной круговым отверстием: автореф. дис. на соискание уч. степ. канд. техн. наук. Екатеринбург, 2011. 175 с.
- [40]. L'ouvrage expérimental en âmes plissées de Cognac. URL: <http://fontaine.perso.neuf.fr/photos/le-pont-de-cognac/odyframe.htm>. (дата обращения: 26.10.2015).
- [41]. Sayed-Ahmed E.Y. (2005) Plate Girders with Corrugated Steel. Engineering Journal. 2005. First Quarter. pp. 1-13.
- [42]. International Database for Civil and Structural Engineering. Maupré Bridge. URL: <http://structurae.net/structures/maupre-bridge>. (дата обращения: 26.10.2015).
- [43]. International Database for Civil and Structural Engineering. Pont de la Corniche. URL: <http://structurae.net/structures/pont-de-la-corniche>. (дата обращения: 26.10.2015).
- [44]. Montens S. Les plus beaux ponts de France. Paris: Bonneton. 2001. 199 p.
- [45]. Civil Engineering Desing Prize, JSCE. Ginzan-Miyuki Bridge. URL: <https://www.jsce.or.jp/committee/lsd/prize/2002/works/2002c02.html> (дата обращения: 26.10.2015).
- [46]. Ohgaki K. (2009) State of the Arts of Hybrid structures consisting of steel and concrete in Japan. Tokyo, Japan: Kawasaki Heavy Industries, 2009. pp. 1-7.
- [47]. Graceful Himi makes fitting gateway. Bridge Design & Engineering. 2nd Quarter 2004. No 35. Vol.10. pp. 14.
- [48]. The world's first extradosed bridge with corrugated steel webs. DSI Info. 2005-2006. No 13. pp. 8.

- [49]. Bridgeworld.net. Yahagigawa bridge. URL: http://bridgeworld.net/wordpress/archives/images/yahagigawa_2.jpg. (дата обращения: 26.10.2015).
- [50]. Niwa J. (2005) World's first PC-steel composite cable-stayed bridge using corrugated steel plate webs for PC girders. Yahagigawa Bridge on the Second Tomei Expressway. Project Report. 2005. Системные требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://www.jsce.or.jp/kokusai/civil_engineering/2006/90-3-1.pdf. (дата обращения: 26.10.2015).
- [51]. Hagiwara N., Aoki K., Kasuga A., Taira Y. Design and construction of the katurashima viaduct – prestressed concrete corrugated steel web box girder bridge with ribs and struts. Journal of prestressed concrete. 2005. Vol. 47. No 3. pp. 25-34. Key Engineering Materials. 2009. No 400-402. pp. 575-580.
- [52]. Suzuki H., Koyano Y., Nakamura A. Journal of Bridge and Foundation Engineering, April 2007. (in Japanese).
- [53]. Kinugawa Bridge. URL: <http://www.smcon.co.jp/works/2013/03254158/>. (дата обращения: 26.10.2015).
- [54]. International Database for Civil and Structural Engineering. Altwipfergrund Viaduct. URL: <http://structurae.net/structures/altwipfergrund-viaduct>. (дата обращения: 26.10.2015). (in Chinese)
- [55]. Wang Y.L., Li M.H., Wan S., Zhang J.D. (2012) Analysis of the Closure Method of Cantilever Construction PC Box-Girder Bridge with Corrugated Steel Webs under Asymmetric Constraint. Applied Mechanics and Materials. 2012. Vol. 178 – 181. pp. 2543-2548.
- [56]. Innovative Practice corrugated steel web PC box girder bridge. URL: http://www.tranbbs.com/Advisory/bridge/Advisory_114589.shtml. (дата обращения: 26.10.2015). (in Chinese)
- [57]. Zheng S.M., Yang B.W., Wan S. (2012) Research on the Influence of Web's Shear Deformation on the Deflection of Composite Girder Bridge with Corrugated Steel Webs in Construction. Applied Mechanics and Materials. 2012. Vol. 178 – 181. pp. 2135-2139.
- [58]. Nanjing Yangtze River Bridge four northbound wiring Chuhe. URL: <http://www.seb3ccrbc.com/show.asp?id=882>. (дата обращения: 26.10.2015). (in Chinese)
- [59]. Large bridges. M43 Motorway, Móra Ferenc Tisza bridge. URL: http://www.pont-terv.hu/m43_e.htm (дата обращения: 26.10.2015).
- [60]. Cheyrezy M., Combault J. (1990) Composite bridges with corrugated steel webs – achievements and prospects. IABSE Symposium, Brussels, 1990. Vol. 60. pp. 479-484.
- [61]. Институт Проектстальконструкция. URL: <http://www.psk-almaty.kz/>. (дата обращения: 26.10.2015).
- [62]. Yu D., Sause R. The lateral torsional buckling strength of steel i-girders with corrugated webs. ATLSS Reports. 2006. 302 p.
- [63]. Wilson A.D. Advances in high performance steels for highway bridges. White Paper. Системные требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <https://www.aisc.org/WorkArea/showcontent.aspx?id=20276> (дата обращения: 26.10.2015).
- [64]. Neston T. Bending perforated weathering steel: Not a pedestrian challenge. The fabricator. February, 2010. URL: <http://www.thefabricator.com/article/bending/bending-perforated-weathering-steel-not-a-pedestrian-challenge>. (дата обращения: 26.10.2015).
- [65]. Yale Hillhouse Avenue Bridges. URL: <http://www.custommade.com/yale-hillhouse-avenue-bridges/by/sureironworks/> (дата обращения: 26.10.2015).
- [66]. Zeman Bauelemente URL: <http://www.zebau.com>. (дата обращения: 26.10.2015).
- [67]. Суровцев Б.А. Проектирование пролетных строений мостов комбинированных систем с гибкими наклонными подвесками // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. № 2. С. 31-38.
- [68]. Суровцев Б.А. Особенности проектирования пролетных строений мостов комбинированных систем с гибкими наклонными подвесками // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. № 3. С. 32-38.
- [69]. Дуванова И.А., Сальманов И.Д. Трубобетонные колонны в строительстве высотных зданий и сооружений // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №6 (21). С. 89-103.
- [70]. Теплова Ж.С., Виноградова Н.А. Прочность сталежелезобетонных образцов при центральном сжатии // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 5 (32). С. 29-38.
- [71]. Петин С.В., Гучинский Р.В. О расчетах долговечности трубчатых конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 1 (36). С. 39-47. (англ.)
- [72]. Ватин Н.И., Синельников А.С. Холодногнутой стальной профиль в малых мостовых конструкциях // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. № 3. С. 39-51.
- [73]. Ватин Н.И., Синельников А.С. Большепролетные надземные пешеходные переходы из легкого холодногнутого стального профиля // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. № 1. С. 47-53.

Bridge spans with corrugated steel webs

A.O. Lukin¹, A.A. Suvorov².

Samara State University of Architecture and Civil Engineering, 194, Molodogvardeyskaya St, Samara
443001, Russia

ARTICLE INFO

overview article

doi:

Article history

Received 24 October 2015

Keywords

composite bridge;
steel bridge;
corrugation;
corrugated web;
prestressed concrete;
structural scheme;
analysis;

ABSTRACT

The article is devoted the new constructive solution for the design of composite and metal bridges based on the use of corrugated steel webs. The novelty of the design solution is based on the replacement of a flat concrete or metal web on corrugated steel web. Local sustainability is increases in such webs by giving spatial form. The analysis of national and foreign literature is performed. It is noted that nowadays there is no research about bridge spans with corrugated webs in our country. The classification of bridges with corrugated webs is given. In conformity with this classification the examples of built bridges all over the world are given. Prospects for further development are devoted. According to the analysis the main conclusions are: the applying of corrugated webs in steel-reinforced concrete span structures of bridges increases the efficiency of the use of prestressed concrete and reduces the metal of the bridge structure by 15-25% and reduces labor costs by 15-20%; the applying of corrugated webs in steel span structures of bridges can improves the stability of the web by 20-25%, which gives an advantage in the manufacture and installation. World experience of research and building construction shows that the bridge spans with corrugated webs meet the criteria of rigidity and load bearing capacity of building structures. Large volumes of construction confirm the relevance of this subject for research.

Corresponding author :

1. +7(917)1174720, a.o.lukin@rambler.ru (Aleksey Olegovich Lukin, Assistant)
2. +7(963)1164403, a.suvorov163@mail.ru (Alexander Anatolievich Suvorov, Graduate Student)

References

- [1]. Metallicheskiye konstruksii. V 3 t. T. 1. Elementy konstruksiy: Ucheb. Dlya stroit. vuzov / V.V. Gorev, B.Yu. Uvarov, V.V. Filip-pov, G.I. Belyy, L.V. Yendzhiyevskiy, I.I. Krylov, Ya.I. Olkov, V.F. Saburov / Pod red. V.V. Goreva. – M.: Vysshaya shkola, 2004. – 551 s.
- [2]. Boeheim W. Handbuch der Waffenkunde. Das Waffenwesen in seiner historischen Entwicklung vom Beginn des Mittelalters bis zum Ende des 18 Jahrhunderts. Leipzig, 1890. 695 s.
- [3]. Ikeda S., Sakurada M. (2005) Development of hybrid prestressed concrete bridges with corrugated steel web construction. Pro-ceedings of the 30th Conference on Our World In Concrete & Structures. 2005. Singapore. Sistemnyye trebovaniya: Adobe Acrobat Reader. URL: http://www.cipremier.com/e107_files/downloads/Papers/100/30/100030003.pdf (data obrashcheniya: 26.10.2015).
- [4]. Zhou X., Kong X., Hou J., Cheng D., Di J. China Journal of Highway and Transport. 2007. Vol. 20. No 2. pp. 77-82. (in Chinese)
- [5]. Song J., Lu J., Li W., Zhang J. (2010) Finite element simulation of the composite continuous box-girder bridge with corrugated steel webs by CBCW. Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering. The University of Nottingham. 2010. pp. 1-6.
- [6]. Shan C., Liu W. (2012) Temperature Stress Analysis of Prestressed Concrete Box Girder with Corrugated Steel Webs. 2012. Vol. 18. No 2. pp. 97-103.
- [7]. Tanaka Y., Ichioka Y., Kono S., Ohta Y., Watanabe F. (2008) Precast pre-stressed portal frames with corrugated steel panel dampers. The 14th World Conference on Earthquake Engineering. October 12-17, 2008, Beijing, China. Sistemnyye trebovaniya: Adobe Acrobat Reader. URL: http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/14_12-01-0123.PDF. (data obrashcheniya: 26.10.2015).
- [8]. Ma L., Zhou L., Li S., Wan S. (2012) Eccentric Load Coefficient of Live Load Normal Stress of Continuous Composite Box-girder Bridge with Corrugated Steel Webs. Procedia Earth and Planetary Science. 2012. No 5. pp. 335-340.
- [9]. Hassanain M.A., Loov R.E. (1999) Design of Prestressed Girder Bridges Using High Performance Concrete – An Optimization Approach. PCI Journal. 1999. Vol. 44. No. 2. pp. 40-55.
- [10]. El-Metwally A.S., Loov R.E. (1998) Composite Girders – High Strength Concrete Combined with Corrugated Steel Webs. Pro-ceedings of the International Symposium on High-Performance and Reactive Powder Concretes. August 1998. Vol. 1. pp. 197-215.
- [11]. El-Metwally A.S., Loov R. E. (2003) Corrugated steel webs for prestressed concrete girders. Materials and Structures. 2003. Vol. 36. pp. 127-134.
- [12]. Mo Y.L., Jeng C.H., Chang Y.S. (2000) Torsional Behavior of Prestressed Concrete Box-Girder Bridges with Corrugated Steel Webs. ACI Structural Journal. 2000. Vol. 97. No. 6. pp. 849-859.
- [13]. He J., Liu Y., Chen A., Yoda T. (2012) Mechanical Behavior and Analysis of Composite Bridges with Corrugated Steel Webs: State-of-the-Art. International Journal of Steel Structures. 2012, Vol. 12. No 3. pp. 321-338.
- [14]. He J., Liu Y., Chen A. (2009) Elastic bending theory of composite bridge with corrugated steel web considering shear deformation. Key Engineering Materials. 2009. No 400-402. pp. 575-580.
- [15]. Chen B. Wang Y., Huang Q. (2007) New type of concrete arch bridge with corrugated steel webs. Proceedings of the 5th In-ternational conference on Arch Bridges. 2007. pp. 807-814.
- [16]. Gao J., Chen B. (2008) Experimental research on CFST model arch with corrugated steel web subjected to asymmetric load. Proceedings of Chinese-Croatian joint colloquium: Long Arch Bridges. 2008. pp. 401-408.
- [17]. Solov'ev A.V., Lukin A.O., Alpatov V.Yu., Savost'yanov V.N. Account for Performance of Corrugated Web Beams in the Analysis of Constrained Torsion // Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering. 2012, No. 11, pp. 105—112.
- [18]. Lukin A.O., Shevtsov I.A. Klassifikatsiya balok s gofrirovannoy stenкой // Sbornik nauchnykh trudov po itogam mezhdunarod-noy nauchno-prakticheskoy konferentsii №2 «Voprosy tekhnicheskikh nauk: novyye podkhody v reshenii aktualnykh problem». Ka-zan: Innovatsionnyy tsentr razvitiya obrazovaniya i nauki, 2015. S. 46-50.
- [19]. Azhermachev G.A. Balki s volnistymi stenkami // Promyshlennoye stroitelstvo. 1963. № 4. S. 54–56.
- [20]. Egorov P.I., Stepanenko A.N., Ensuring the strength and stiffness of steel I-beam rods with a thin corrugated web // Construc-tion and Renovation. 2010. No 2. pp. 46-50.
- [21]. Ostrikov G.M., Maksimov Yu.S., Dolinskiy V.V. Issledovaniye nesushchey sposobnosti stalnykh dvutavrovyykh balok s vertikalno gofrirovannoy stenкой // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. 1983. № 1. S. 68-70.
- [22]. Krylov I.I., Kretinin A.N. Effective beam of thin-walled profiles // News of Higher Educational Institutions. Construction. 2005. No 6. pp. 11–14.
- [23]. Poltoradnev A.S. Variation of shear strength of web panels at designing slender plate girders with flat and corrugated walls // Bulletin of Civil Engineers, 2012, №4, pp. 175-179.

- [24]. Rybkin I.S. Application of thin-webbed fabricated metals for reclamative and rural construction // Amelioration and Water Management, 2007, № 2, pp. 23-25.2007. №2. S. 23-25.
- [25]. Rybkin I.S. Features of Designing of Steel Beams with Corrugated Web and Perspectives of Their Use in Structural Systems of Public Buildings // Industrial and Civil Engineering, 2008, № 12, pp. 12-15.
- [26]. Kuznetsov I.L., Aktuganov A.A., Trofimov A.P. Designing and research of a composite steel and wood (flitched) i-beam // News of the KSUAE. 2010. №1 (13). pp. 117-121.
- [27]. Rogalevich V.V., Kudryavtsev S.V. Concentration of Stresses Near Circular Holes in Corrugated Webs of Beams // High institutions proceedings. Building, №11, 2008, pp. 8-13.
- [28]. Solovjev A.V., Lukin A.O. Estimating constrained torsion influence on a beam with corrugated web work // High institutions proceedings. Building, №6, 2012, pp. 112-118.
- [29]. Lukin A.O. Improved calculation of the stress-strain condition of beams with corrugated web // Building mechanics and structures design, № 5, 2013, pp. 10-17.
- [30]. Kholopov I.S., Lukin A.O., Alpatov V. Yu., Solovjev A.V., Gudkov K.N. Lightened steel constructions: experience, design, adaptation//Building materials, equipment, technologies XXI century, 2011, № 12 (155), pp. 40-45.
- [31]. Lukin A.O. Determination of deflections of beams with corrugated web with the shear strain // Engineering journal of Don: E-journal. 2013. №1. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1496>. (data obrashcheniya: 26.10.2015).
- [32]. Lukin A.O., Kholopov I.S., Solovjev A.V. On stress distribution in cross beam with corrugated web bearing section // Vestnik of Povolzhje transport, 2008, № 4 (16), pp. 96-100.
- [33]. Soloviev A.V., Lukin A.O., Alpatov V.Yu. Analysis of Efficiency of Application of an I-Element with a Corrugated Wall Operating in a Complex Stressed-Deformed State // Industrial and Civil Engineering, 2010, № 6, pp. 27-30.
- [34]. Zaborova D.D., Dunaevskaya J.P. Benefits and specifics of using corrugated beam in construction // Construction of Unique Buildings and Structures, 2014, №7 (22) pp. 36-53.
- [35]. Akhmad A.A.D. Stalezhelezobetonnyye proletrnyye stroyeniya mostov s gofirovannymi stenkami: avtoreferat diss. na soiskani-ye uchen. step. kand. tekhn. nauk. Moskva, 1993. 24 s.
- [36]. Hoop H.G. Girders with corrugated webs. Literature study: Master thesis. Delft, Netherlands, 2003. 48 p.
- [37]. Abbas H.H. (2003) Analysis and design of corrugated web I-girders for bridges using high performance steel: Ph.D. disserta-tion. Bethlehem, USA, 2003. 425 p.
- [38]. URL: <http://www.cpi-glp.com/corrugatedplate.htm> (data obrashcheniya: 19.01.2016).
- [39]. Kudryavtsev S.V. Nesushchaya sposobnost balok s gofirovannoy stenkoy, oslablennoy krugovym otverstiyem: avtoref. dis. na soiskaniye uch. step. kand. tekhn. nauk. Yekaterinburg, 2011. 175 s.
- [40]. L'ouvrage expérimental en âmes plissées de Cognac. URL: <http://fontaine.perso.neuf.fr/photos/le-pont-de-cognac/odyframe.htm>. (data obrashcheniya: 26.10.2015).
- [41]. Sayed-Ahmed E.Y. (2005) Plate Girders with Corrugated Steel. Engineering Journal. 2005. First Quarter. pp. 1-13.
- [42]. International Database for Civil and Structural Engineering. Maupré Bridge. URL:<http://structurae.net/structures/maupre-bridge>. (data obrashcheniya: 26.10.2015).
- [43]. International Database for Civil and Structural Engineering. Pont de la Corniche. URL: <http://structurae.net/structures/pont-de-la-corniche>. (data obrashcheniya: 26.10.2015).
- [44]. Montens S. Les plus beaux ponts de France. Paris: Bonneton. 2001. 199 p.
- [45]. Civil Engineering Desing Prize, JSCE. Ginzan-Miyuki Bridge. URL: <https://www.jsce.or.jp/committee/isd/prize/2002/works/2002c02.html> (data obrashcheniya: 26.10.2015).
- [46]. Ohgaki K. (2009) State of the Arts of Hybrid structures consisting of steel and concrete in Japan. Tokyo, Japan: Kawasaki Heavy Industries, 2009. pp. 1-7.
- [47]. Graceful Himi makes fitting gateway. Bridge Design & Engineering. 2nd Quarter 2004. No 35. Vol.10. pp. 14.
- [48]. The world's first extradosed bridge with corrugated steel webs. DSI Info. 2005-2006. No 13. pp. 8.
- [49]. Bridgeworld.net. Yahagigawa bridge. URL:http://bridgeworld.net/wordpress/archives/images/yahagigawa_2.jpg. (data obrashcheniya: 26.10.2015).
- [50]. Niwa J. (2005) World's first PC-steel composite cable-stayed bridge using corrugated steel plate webs for PC girders. Yahagi-gawa Bridge on the Second Tomei Expressway. Project Report. 2005. Sistemnyye trebovaniya: Adobe Acrobat Reader. URL: http://www.jsce.or.jp/kokusai/civil_engineering/2006/90-3-1.pdf. (data obrashcheniya: 26.10.2015).
- [51]. Hagiwara N., Aoki K., Kasuga A., Taira Y. Design and construction of the katsurashima viaduct – prestressed concrete corru-gated steel web box girder bridge with ribs and struts. Journal of prestressed concrete. 2005. Vol. 47. No 3. pp. 25-34. Key Engi-neering Materials. 2009. No 400-402. pp. 575-580.

- [52]. Suzuki H., Koyano Y., Nakamura A. Journal of Bridge and Foundation Engineering, April 2007. (in Japanese).
- [53]. Kinugawa Bridge. URL:<http://www.smcon.co.jp/works/2013/03254158/>. (data obrashcheniya: 26.10.2015).
- [54]. International Database for Civil and Structural Engineering. Altwipfergrund Viaduct. URL:<http://structurae.net/structures/altwipfergrund-viaduct>. (data obrashcheniya: 26.10.2015). (in Chinese)
- [55]. Wang Y.L., Li M.H., Wan S., Zhang J.D. (2012) Analysis of the Closure Method of Cantilever Construction PC Box-Girder Bridge with Corrugated Steel Webs under Asymmetric Constraint. Applied Mechanics and Materials. 2012. Vol. 178 – 181. pp. 2543-2548.
- [56]. Innovative Practice corrugated steel web PC box girder bridge. URL: http://www.tranbbs.com/Advisory/bridge/Advisory_114589.shtml. (data obrashcheniya: 26.10.2015). (in Chinese)
- [57]. Zheng S.M., Yang B.W., Wan S. (2012) Research on the Influence of Web's Shear Deformation on the Deflection of Composite Girder Bridge with Corrugated Steel Webs in Construction. Applied Mechanics and Materials. 2012. Vol. 178 – 181. pp. 2135-2139.
- [58]. Nanjing Yangtze River Bridge four northbound wiring Chuhe. URL: <http://www.seb3ccrbc.com/show.asp?id=882>. (data obrashcheniya: 26.10.2015). (in Chinese)
- [59]. Large bridges. M43 Motorway, Móra Ferenc Tisza bridge. URL: http://www.pont-terv.hu/m43_e.htm (data obrashcheniya: 26.10.2015).
- [60]. Cheyrezy M., Combault J. (1990) Composite bridges with corrugated steel webs – achievements and prospects. IABSE Sympo-sium, Brussels, 1990. Vol. 60. pp. 479-484.
- [61]. Institut Projektstalkonstruksiya. URL: <http://www.psk-almaty.kz/>. (data obrashcheniya: 26.10.2015).
- [62]. Yu D., Sause R. The lateral torsional buckling strength of steel i-girders with corrugated webs. ATLSS Reports. 2006. 302 p.
- [63]. Wilson A.D. Advances in high performance steels for highway bridges. White Paper. Sistemnyye trebovaniya: Adobe Acrobat Reader. URL: <https://www.aisc.org/WorkArea/showcontent.aspx?id=20276> (data obrashcheniya: 26.10.2015).
- [64]. Neston T. Bending perforated weathering steel: Not a pedestrian challenge. The fabricator. February, 2010. URL: <http://www.thefabricator.com/article/bending/bending-perforated-weathering-steel-not-a-pedestrian-challenge>. (data obrash-cheniya: 26.10.2015).
- [65]. Yale Hillhouse Avenue Bridges. URL: <http://www.custommade.com/yale-hillhouse-avenue-bridges/by/sureironworks/> (data obrashcheniya: 26.10.2015).
- [66]. Zeman Bauelemente URL: <http://www.zebau.com>. (data obrashcheniya: 26.10.2015).
- [67]. Surovtcev B.A. Design of bridges span structures of the combined systems with flexible inclined suspension brackets // Con-struction of Unique Buildings and Structures, 2012, №2, pp. 32-38.
- [68]. Surovtcev B.A. Feature s of design of bridges span structures of the combined systems with flexible inclined suspension brackets // Construction of Unique Buildings and Structures, 2012, №3, pp. 32-38.
- [69]. Duvanova I.A., Salmanov I.D . Concrete - filed steel tube columns in construction high - rise building and structures // Con-struction of Unique Buildings and Structures, 2014, №6 (21) pp. 89-103.
- [70]. Teplova Z.S., Vinogradova N.A. Strenghtening studies of composite construction at the direct compression // Construction of Unique Buildings and Structures, 2015, №5 (32) pp. 29-38.
- [71]. Petinov S.V., Guchinsky R.V. Fatigue assessment of tubular structures // Magazine of Civil Engineering, 2013, №1 (36) pp. 39-47.
- [72]. Vatin N.I., Sinelnikov A.S. Footway bridges: cold formed steel cross – section // Construction of Unique Buildings and Struc-tures, 2012, №3, pp. 39-51.
- [73]. Vatin N.I., Sinelnikov A.S. Long span footway bridges: coldformed steel cross – section // Construction of Unique Buildings and Structures, 2012, №1, pp. 47-53.

Лукин А.О., Суворов А.А. Пролетные строения мостов с гофрированными металлическими стенками // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №2 (41). С. 45-67.

Lukin A.O., Suvorov A.A. Bridge spans with corrugated steel webs Construction of Unique Buildings and Structures, 2016, 2 (41), Pp. 45-67. (rus)