Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal https://esj.today

2019, №2, Том 11 / 2019, No 2, Vol 11 https://esj.today/issue-2-2019.html

URL статьи: https://esj.today/PDF/69SAVN219.pdf

Ссылка для цитирования этой статьи:
Стругач А.Г., Трифонов А.Г. Архитектура мостов с металлическими гофрированными стенками: средства выразительности // Вестник Евразийской науки, 2019 №2, https://esj.today/PDF/69SAVN219.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:
Strugach A.G., Trifonov A.G. (2019). The architecture of bridges with corrugated steel webs: ways of expression. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 2(11). Available at: https://esj.today/PDF/69SAVN219.pdf (in Russian)

УДК 624.21.016

ГРНТИ 67.29.63

Стругач Александр Геннадьевич[1]
ООО «САБ», Санкт-Петербург, Россия
Генеральный директор
E-mail: r-9@bk.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=803524

Трифонов Андрей Геннадьевич
ООО «САБ», Санкт-Петербург, Россия
Главный архитектор
E-mail: trifffon@mail.ru

Архитектура мостов с металлическими гофрированными стенками: средства выразительности

Аннотация. В статье выявлены и проанализированы отличительные эстетические приёмы и архитектурно-художественные средства выразительности, присущие современным преднапряжённым сталежелезобетонным мостам комбинированной конструкции с металлическими гофрированными стенками. Изучение архитектуры этих сооружений, строящихся с середины 1980-х гг., является сегодня актуальной научной задачей.

Изучены новейшие научные публикации в сфере конструирования, проектирования, строительства и эксплуатации мостов данного типа, а также – в области архитектуроведения, психологии восприятия, архитектурной бионики и т. д.

Авторами исследования применён метод анализа и сопоставления по ряду общих сравнительных параметров архитектурных решений объектов, в число которых входят: величина основного пролёта и конструктивная схема, тип силуэта, геометрическая форма поперечного сечения, схема включения металлических гофрированных стенок в конструкцию пролётного строения, геометрическая форма плана, вид геометрической формы гофров, вид примыкания металлической гофрированной стенки к плитам пролётного строения, схема колористического решения. В статье детально изучены и проанализированы 20 объектов, построенных в странах Европы и Восточной Азии.

Применение металлических гофрированных стенок в строительстве мостов позволяет влиять на следующие архитектурные средства выразительности: масштаб сооружения; ритм;

[1] https://www.facebook.com/alexander.strugac.

колористическая схема; микропластика; метафоры и смысловые отсылки, заложенные в архитектурную концепцию проекта.

Проведённое авторами исследование особенностей проектирования и строительства мостов с металлическими гофрированными стенками позволяет не только обобщить мировой опыт, но и поднять вопрос об актуальности применения данной эффективной технологии в России, где пока не построено ни одного подобного объекта.

Ключевые слова: архитектура мостов; металлическая гофрированная стенка; сталежелезобетонный мост; преднапряжённый мост; балочный мост; экстрадозный мост; вантовый мост; техническая эстетика; колористика; инженерное искусство

Введение

Архитектура мостов складывается в тесной взаимосвязи новейших приёмов инженерного и архитектурного искусства. По словам доктора технических наук И.Г. Овчинникова и его коллег, «в современном мире с новыми технологиями должны создаваться такие мостовые сооружения, которые становились бы чудом архитектурной и инженерной мысли. Чтобы, увидев такие сооружения, никто бы не остался равнодушным» [1].

Цель данной публикации – выявить, проанализировать и обобщить отличительные эстетические приёмы и специфические архитектурно-художественные средства выразительности, присущие современным мостам комбинированной конструкции с металлическими гофрированными стенками (далее: МГС[2]).

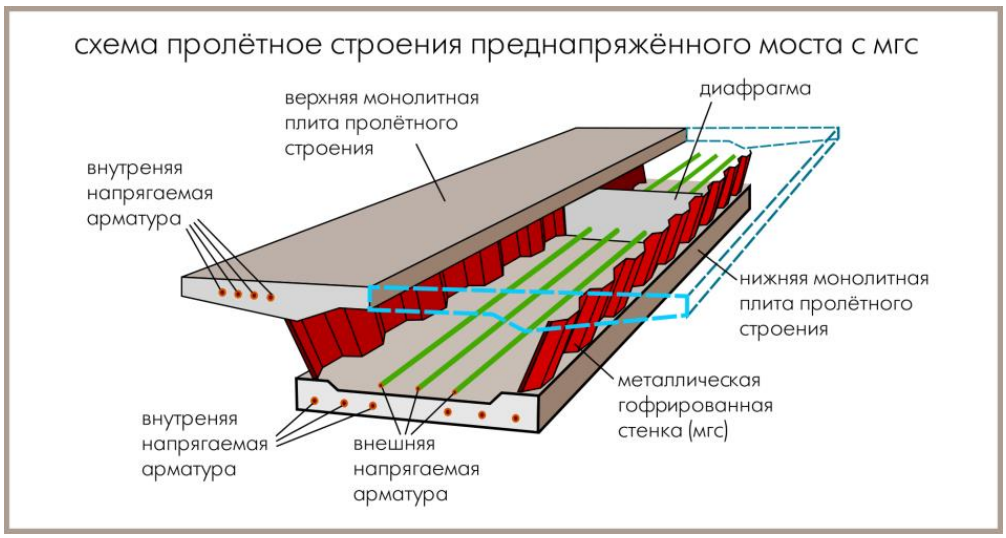

Рисунок 1. *Пролётное строение преднапряжённого моста с МГС. Аксонометрическая схема (разработано авторами)*

Задачи:

1. Рассмотреть и кратко проанализировать теоретические и практические аспекты проектирования и строительства современных мостов с МГС.
2. Выбрать метод исследования, отвечающий заявленной цели.

[2] Аббревиатура-аналог в англоязычной научно-технической литературе – CSW (Corrugated steel webs (англ.).

3. На основе краткого анализа мостов с МГС, реализованных в период с середины 1980-х гг. по настоящий момент в Европе и странах Восточной Азии, выявить характерные архитектурно-художественные приёмы и средства выразительности, присущие таким сооружениям.
4. Ввести в научный обиход на русском языке имена архитекторов и инженеров, воплотивших современные мостовые сооружения такого типа. Выделить и кратко проанализировать в контексте современных архитектурных тенденций особенности наиболее значимых проектов.

Особый интерес для исследователей сегодня представляет изучение мостовых сооружений, созданных на основе инновационных эффективных конструкций и технологий, к числу которых относятся мосты с МГС. В российской науке и строительной практике до сих пор мало внимания уделяется таким объектам, что обуславливает актуальность темы.

Основной корпус текстов (на английском, французском, японском, русском и китайском языках) включает статьи, книги и руководства по строительной механике, методикам расчёта и конструирования мостов с МГС, а также – обзорные материалы, посвящённые опыту строительства и эксплуатации таких сооружений [12; 13; 20; 21; 25; 30]. Вопросы архитектуры и технической эстетики в этих публикациях не рассматриваются или затрагиваются лишь отчасти [24; 25; 30]. Таким образом, представляется необходимым обратиться к данной теме – с опорой на актуальные инженерно-технические исследования [2; 4–6; 15; 23] и новейшие публикации по архитектуре мостов [1; 9; 11; 14; 26].

Несмотря на то, что МГС применяются в строительстве мостовых сооружений более 30 лет, методы их проектирования по-прежнему нуждаются в углублённом изучении, уточнении и оптимизации. По словам Т.Л. Дмитриевой и Х. Уламбаяра, «методы моделирования и расчёта таких конструкций до сих пор вызывают вопросы» [2]. Вместе с тем, данный вариант комбинированной конструкции на сегодняшний день признан зарубежными и некоторыми отечественными специалистами эффективным с точки зрения оптимизации технологии строительного производства, снижения материалоёмкости и ряда прочих параметров.

В актуальных зарубежных исследованиях в области проектирования и строительства мостов с МГС сегодня нередко рассматриваются частные моменты в конструировании и расчёте узлов, например, – варианты решения стыка МГС с нижней плитой пролётного строения [3]. Наличие подобных работ наглядно демонстрирует высокий научно-практический потенциал данной темы.

Эффективность работы таких конструкций связана с рядом тонких различий в их геометрических параметрах, что важно с архитектурно-художественной точки зрения. По мнению исследователей МГК Д.А. Шляхина и А.О. Лукина, «стремление снизить расход стали <…> привело к появлению перфорированных <…> и гофрированных <…> конструкций <…> теоретическим и экспериментальным путём было выявлено влияние длины и высоты волны гофров <…> на степень участия гофрированной стенки в восприятии изгибающего момента по сравнению с плоской стенкой той же толщины. Кроме того, на работу гофрированной стенки оказывает влияние её толщина <…>, а также очертание гофра» [4]. Как отмечают Е.Д. Остерман и О.А. Шутова, «гофрированный лист является более прочным и может выдерживать большие нагрузки, чем обыкновенный гладкий стальной лист. Размер волн влияет на его конечные характеристики и на то, какие сооружения могут быть из него возведены. <…> МГК стали популярны в строительстве, так как их применение возможно на территориях со сложными инженерно-геологическими, инженерно-гидрологическими и климатическими условиями» [5].

Современные переправы с МГС в последние 30 лет заняли своё место в строительной практике стран Европы и Восточной Азии. Особенно широко технология применяется в

Японии. А.О. Лукин и А.А. Суворов указывают, что «в настоящее время в нашей стране, несмотря на технологический прогресс, до сих пор отсутствуют конструкции рассматриваемого вида» [6]. Данное обстоятельство даёт дополнительный стимул к всестороннему научному рассмотрению преимуществ и недостатков новых решений, в частности – с архитектурно-художественной точки зрения. Для обеспечения необходимой полноты исследования потребовалось проанализировать актуальную литературу по архитектурной бионике в области инженерного проектирования – в первую очередь, – в сфере мостостроения [26; 27], а также современные публикации в области архитектуроведения, теории архитектуры и психологии восприятия [7–10; 17; 19].

1. Метод

«Принципиальным своеобразием архитектурных искусств является обязательное сочетание художественной идеи с практическим содержанием объекта – его назначением и характером производства» – пишут исследователи М.А. Коськов и М.Е. Харитонова [7]. По словам доктора архитектуры Н.П. Овчинниковой, «архитектурную форму нельзя изучать без научного знания архитектурных конструкций <…> в архитектуре <…> действуют законы материалов, конструкций и их взаимодействий со средой» [8]. В архитектуре мостов ведущую роль играет выражение в облике сооружения принципов работы конструкции. Китайский учёный Ман-Чунг Танг[3] в публикации по эстетике мостов делает вывод, что «конструкция выглядит более естественной, если она может произвести на зрителей убедительное впечатление о том, как именно она работает» [9]. В соответствии с этим принципом, при описании и исследовании архитектуры изучаемых объектов предлагается использовать сопоставление по ряду сравнительных параметров.

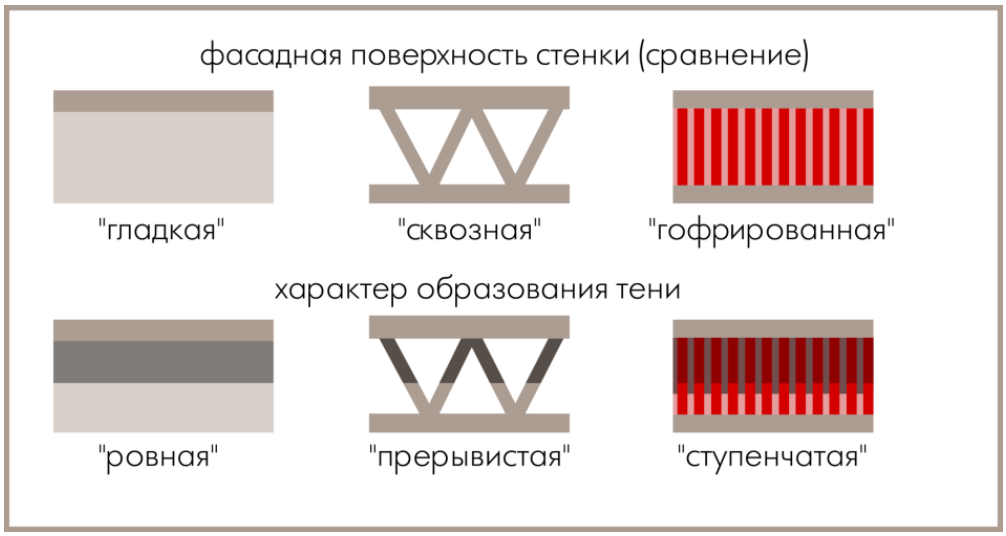

Рисунок 2. *Фасадная поверхность стенки (сравнение) (разработано авторами)*

МГС, как правило, являются конструктивными элементами пролётного строения[4] и занимают в структуре сооружения определённое положение. Так, МГС с их характерными особенностями внешнего облика, – совместно с другими конструкциями формируют целостную структуру восприятия – определённое качество формы [10]. Складывается оно из

[3] Man-Chung Tang (англ.).

[4] Варианты включения МГС в иные части конструкции моста также разрабатываются, но пока не получили широкого применения.

характеристик инженерно-конструкторского и архитектурного решений, анализ и сопоставление которых предлагается использовать в качестве метода исследования.

Параметры сравнения

1. Типы силуэтов моста с МГС: «балочный прямой», «балочный аркадный», «с высоким пилоном» (вантовая система), «с низким пилоном» (экстрадозная система).

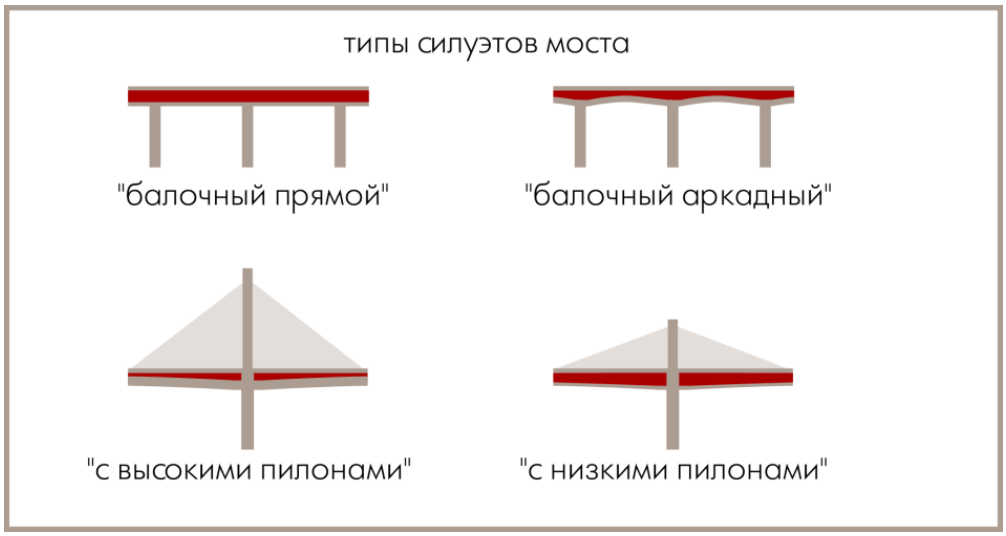

Рисунок 3. *Типы силуэтов моста (разработано авторами)*

2. Виды геометрических форм поперечного сечения мостов с МГС: «прямая коробка», «открытое сечение», «трапециевидная коробка», «треугольная коробка», «ферма по нижнему поясу», «с подкосами».

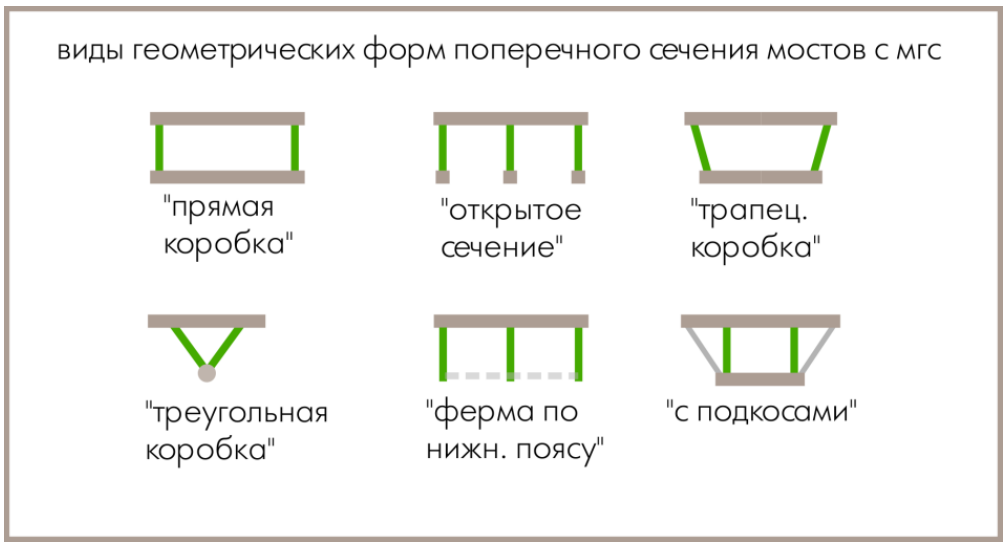

Рисунок 4. *Виды геометрических форм поперечного сечения мостов с МГС (разработано авторами)*

3. Виды схем включения МГС в стенки пролётного строения: «непрерывная», «прерывистая», «фрагментарная».

К числу специфических средств выразительности в архитектуре мостов с МГС относится возможность формировать протяжённую, ритмически упорядоченную ленту, выявляющую горизонтальную направленность пролётных строений и масштаб объекта.

Рисунок 5. *Виды схем включения МГС в стенки пролётного строения (разработано авторами)*

4. Виды геометрии плана мостов с МГС: «прямолинейная», «криволинейная».

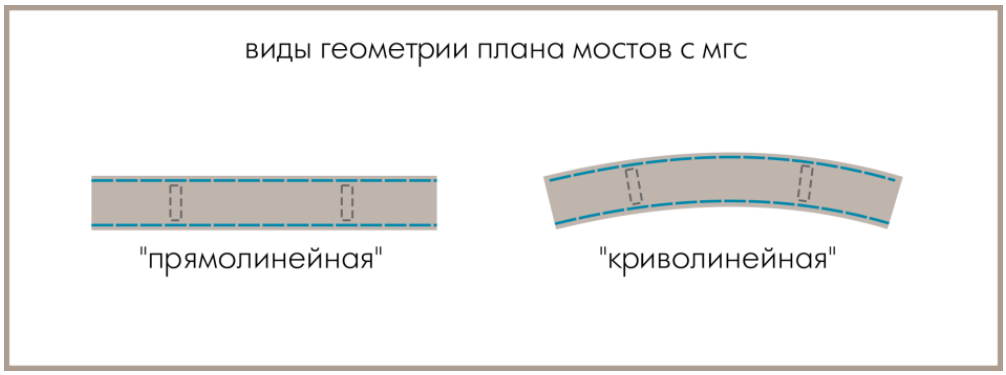

Рисунок 6. *Виды геометрии плана мостов с МГС (разработано авторами)*

5. Виды геометрической формы гофров: «прямоугольная», «трапецеидальная», «треугольная», «криволинейная» «комбинированная».

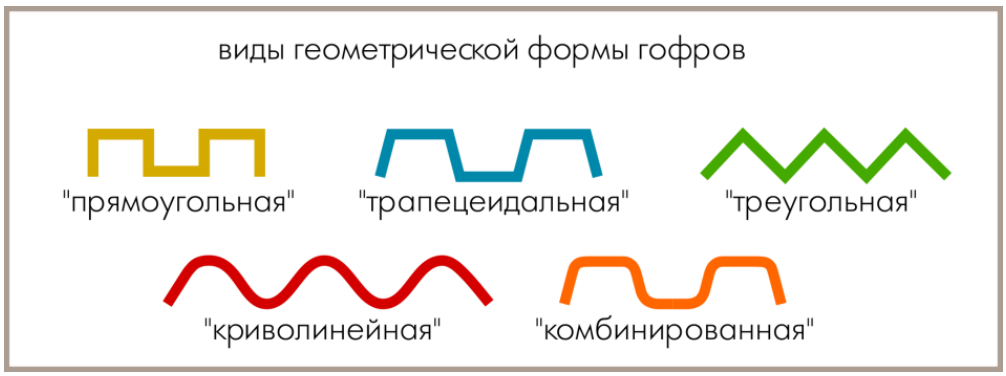

Рисунок 7. *Виды геометрической формы гофров (разработано авторами)*

Форма гофров, как правило, воздействует на облик объекта на уровне микропластики.

6. Виды примыкания МГС к плитам пролётного строения: «рамка», «скрытая», «труба», «открытая», «ферма».

При примыкании МГС к плитам пролётного строения, как правило, формируется железобетонная окантовка по контуру гофрированных поверхностей. В некоторых случаях, когда вместо нижней ж/б плиты используется труба или ферма, – требуется устраивать крепления металла к металлу (например, с помощью сварки по всему контуру основания МГС). Количество соединительных узлов, таким образом, сокращается.

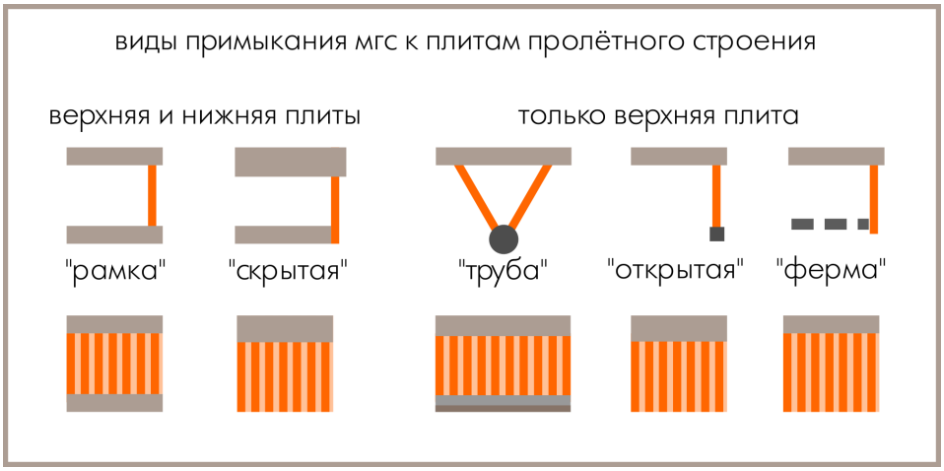

Рисунок 8. *Виды примыкания МГС к плитам пролётного строения (разработано авторами)*

7. Варианты колористических схем мостов с МГС: «контрастная», «нюансная», «монохромная».

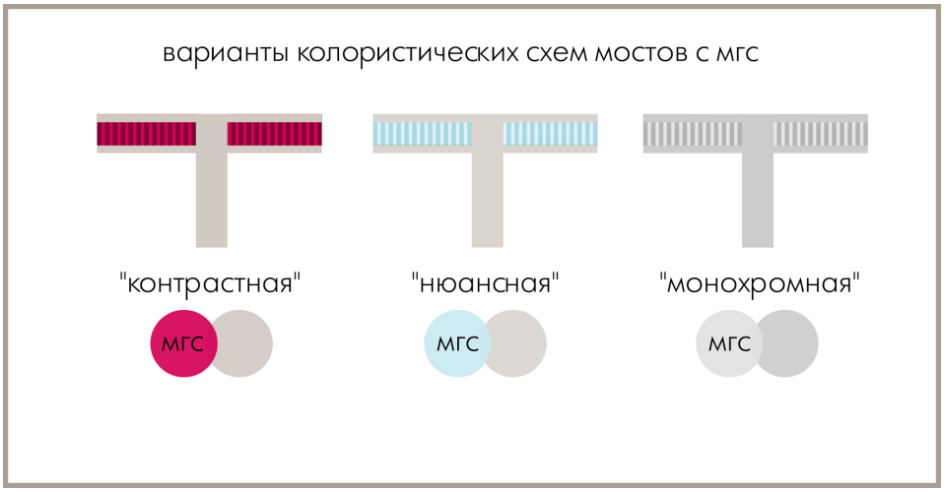

Рисунок 9. *Варианты колористических схем мостов с МГС (разработано авторами)*

Схемы применения цвета в архитектуре мостов исследуемого типа относятся к числу специфических средств выразительности, учитывающих, в частности, региональные особенности.

Как отмечают Н.С. Астафьева и Ю.А. Фомина, «любой мост имеет своеобразие и уникальность, так как не бывает идентичных исходных данных для проектирования» [11]. Следовательно, при анализе объектов необходимо каждый раз прослеживать какие именно исходные параметры (особенности окружения, функциональные требования, климатические и природные параметры и т. д.) оказали решающее влияние на принятие тех или иных инженерных и архитектурных решений, выбор средств выразительности и характер их применения. Без учёта внешних сил любой анализ рискует оказаться в значительной мере поверхностным.

2. Результаты и обсуждение

2.1 Архитектура мостов с МГС в странах Европы

Научно-технические разработки новой комбинированной конструкции велись во Франции с 1970-х гг. В статье 1990 г., посвящённой первым результатам применения

пролётных строений мостов с МГС, М. Шейрези[5] и Ж. Комбо[6] указывают, что уже «более десяти лет назад Пьер Тиван[7] придумал использовать стенки из гофрированных стальных листов для железобетонных преднапряжённых пролётных строений мостов с коробчатым поперечным сечением» [12]. Применение на практике началось с 1986 года, а наиболее смелые предложения так и остались на бумаге.

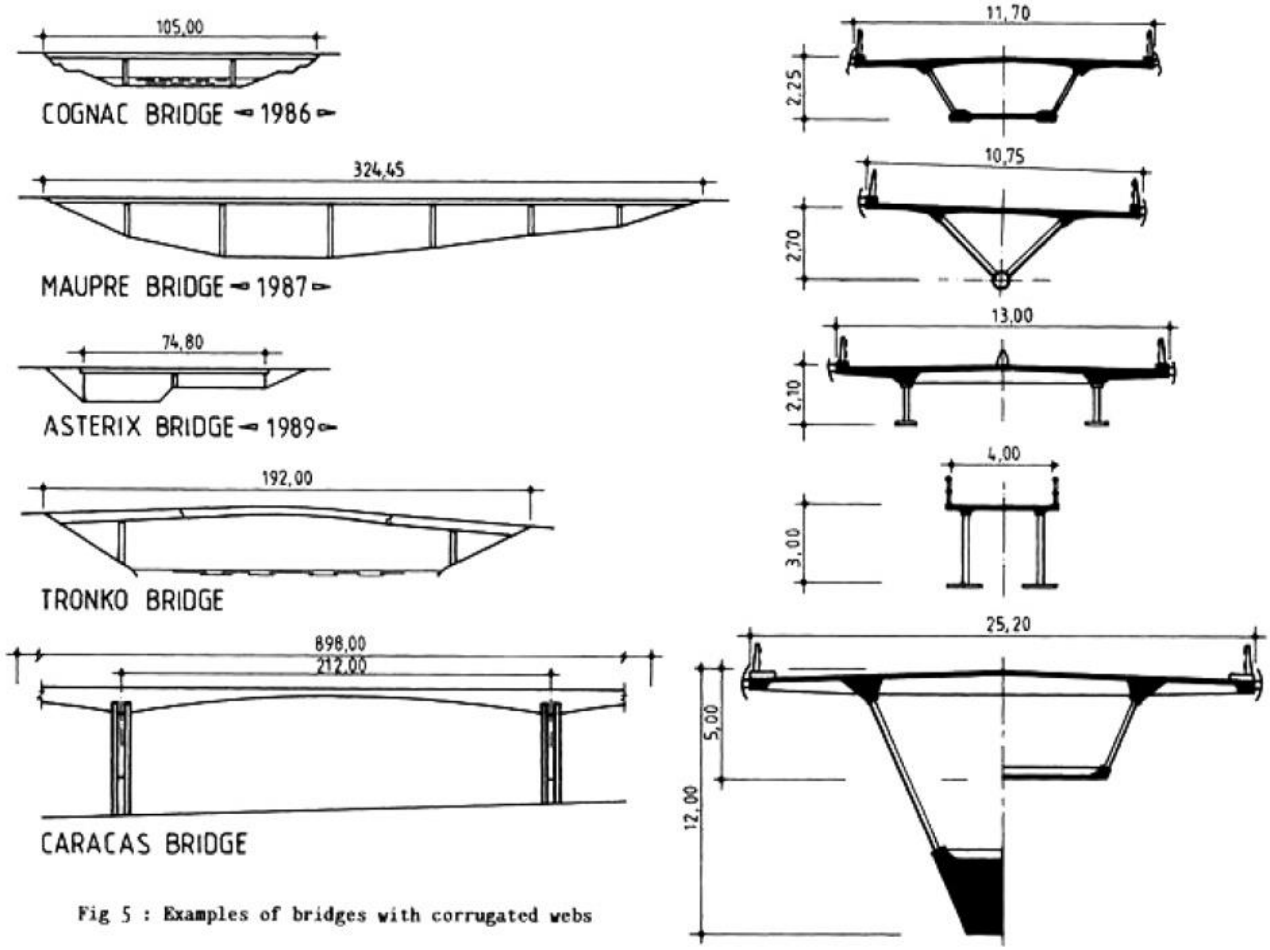

Рисунок 10. *Сравнительная схема продольного и поперечного разрезов французских мостов с МГС 1980-х гг. (мосты с пролётами 192 м и 212 м не реализованы) [13]*

Мост Коньяк (Франция, 1986 г.)

Новая технология была впервые применена строительной компанией Кампенон Бернар[8] при наведении переправы через реку Шаранту[9] в провинции Коньяк[10] во Франции в 1986 году.

[5] Marcel Cheyrezy (фр.).

[6] Jacques Combault (фр.).

[7] Pierre Thivans (фр.).

[8] Campenon Bernard (фр.).

[9] Charente (фр.).

[10] Cognac (фр.).

Архитектуру сооружения разрабатывал Ален Шпильманн[11]. Инженером-конструктором был Мишель Дувьяр[12].

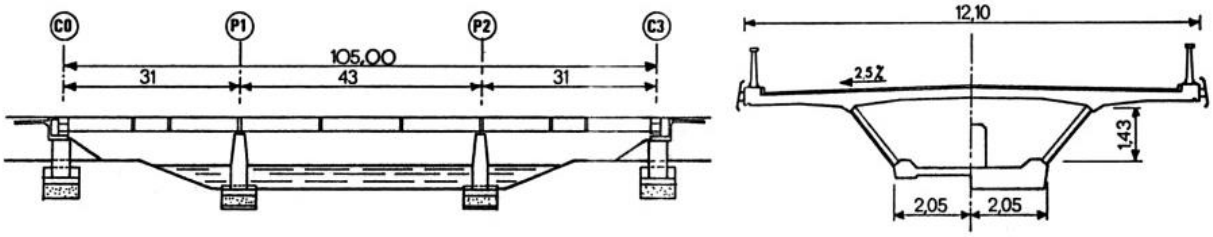

Рисунок 11. *Мост Коньяк. Схемы продольного и поперечного разрезов [13]*

Рисунок 12. *Мост Коньяк*
(https://theconstructor.org/structural-engg/corrugated-webs-in-bridge-girders/13033/)

Таблица 1

Характеристики моста

Макс. пролёт, м / Тип конструкции:	43 / балочный
Тип силуэта:	балочный прямой
Форма поперечного сечения:	трапециевидная коробка
Схема включения МГС в стенки ПС:	непрерывная
Форма плана:	прямолинейная
Форма гофров:	трапецеидальная
Вид примыкания МГС плитам ПС:	рамка
Колористическая схема:	нюансная

Заданный набор параметров позволил создать лаконичное технологичное решение. С точки зрения применения новых средств выразительности, этот объект не столь интересен, как другие более известные мосты Шпильмана, построенные в 1990–2010-е гг. Тем не менее, именно А. Шпильманн впервые столкнулся с задачей архитектурного оформления данного типа конструкции. Архитектор применил «трапециевидное коробчатое сечение <…> из железобетонных поясов и гофрированных стенок высотой 2285 мм и толщиной 8 мм, наклоненных к поясам под углом около 35°» [6]. Наклону стенок поперечного сечения

[11] Alain Spielmann (фр.).

[12] Michel Duviard (фр.).

отвечают контуры широких гранёных опор, решённых в характерной для дизайна 1980-х гг. манере. Образ, созданный Шпильманном в этом проекте, будет не раз воспроизведён впоследствии другими авторами.

Мост де ля Корниш[13] (Франция, 1994 г.)

Рисунок 13. *Мост де ля Корниш. Вид с улицы Приз д'О*[14] *(https://www.flickr.com/photos/hasardsansfard/12974595284/)*

В начале 1990-х годов архитектору А. Шпильманну вновь выпадает возможность применить конструктивную систему с МГС в проекте моста де ля Корниш. Многопролётный автодорожный мост был возведён в 1993–1994 гг. в составе магистрали, пересекающей реку Ду[15] и Канал Рейн-Рона[16].

Таблица 2

Характеристики моста

Макс. пролёт, м / Тип конструкции:	80 / балочный
Тип силуэта:	балочный аркадный
Форма поперечного сечения:	трапециевидная коробка
Схема включения МГС в стенки ПС:	прерывистая
Форма плана:	прямолинейная
Форма гофров:	трапецеидальная
Вид примыкания МГС плитам ПС:	рамка
Колористическая схема:	контрастная

Виадук длиной 496 м имеет 7 пролётов. Архитектор использовал новый тип конструкции коробки для создания оригинальной пластической и цветовой композиции. Нижние пояса пролётных строений имеют арочные очертания, что нередко встречается в рамных и балочных

[13] Pont de la Corniche (фр.). Также можно перевести как «Мост Карниз».

[14] Prise d'Eau (фр.). Приз д'О – небольшая улица вдоль канала. Название можно перевести как «улица Водозабора» или «Водозаборная дорога», что, вероятно, указывает на историю места.

[15] Doubs (фр.).

[16] Canal du Rhône au Rhin (франц.).

мостах подобного типа. «Высота поперечного сечения переменная по длине от 2,5 до 5,5 м» – с «толщиной стенок <…> от 8 мм до 12 мм» [6]. Формируется эффектный аркадный силуэт. Интересно решены детали над опорами – в местах сопряжения пролётов. Ален Шпильманн наклоняет боковые гофрированные стенки коробок и выделяет их белым цветом. Верхний и нижний пояса, а также – вертикальные торцевые стенки в опорных узлах демонстрируют чистую шлифованную поверхность железобетона со следами мелкоразмерной опалубки. Так, с помощью цвета и текстуры выявляется дифференциация материалов. Тень от консолей при падении на белоснежную наклонную окрашенную поверхность приобретает «зубчатый край», что обогащает пластику формы, усиливая контраст. Этот приём станет одним из характерных средств выразительности, применяемых в таких объектах.

Ален Шпильманн использует здесь один из своих узнаваемых мотивов – полуциркульную видовую площадку-балкон в консольной части. В книге “La résistance des sites. De l'architecture des ponts”, опубликованной в Париже в 2013 году, архитектор представляет свои постройки в виде своеобразной классификации по «темам»: «арка», «кабель», «дерево», «пейзаж», «бельведер», «цвет» и т. д. Виадук де ля Корниш отнесён к категории «бельведер» (5 глава) [14].

Элегантная архитектура моста, возведённого компаниями «Кампенон Бернар» и «Ру»[17], стала образцом для сооружений, строившихся с применением МГС начиная с середины 1990-х гг. В творчестве Шпильманна этот объект – один из лучших в своём жанре.

Виадук в Шароле (Мост Мопре)[18] (Франция, 1987 г.)

Особой оригинальностью отличается архитектура виадука в коммуне Шароль (Бургундия – Франш-Конте[19]). Переправа через реку Шаранту сооружена фирмой «Кампенон Бернар» в 1987 г. В проекте участвовал М. Дувьяр – один и разработчиков рассмотренного выше первого в мире моста с МГС в провинции Коньяк. Конструированием занимались Ж. Комбо и П. Тиван, ранее внёсшие существенный вклад в теоретическое обоснование конструкций мостов с МГС. Мопре – второе наименование моста – связано с названием долины, в которой он расположен.

Таблица 3

Характеристики моста

Макс. пролёт, м / Тип конструкции:	53,55 / балочный
Тип силуэта:	балочный прямой
Форма поперечного сечения:	треугольная коробка
Схема включения МГС в стенки ПС:	прерывистая
Форма плана:	прямолинейная
Форма гофров:	трапецеидальная
Вид примыкания МГС плитам ПС:	труба
Колористическая схема:	нюансное

Объект выглядит изящно и выразительно благодаря применению балок с коробками треугольного сечения, а также сложной и изысканной пластике опор.

[17] Roux (фр.).

[18] Le pont de Maupré (Viaduc de Charolles) (фр.).

[19] Bourgogne-Franche-Comté (фр.).

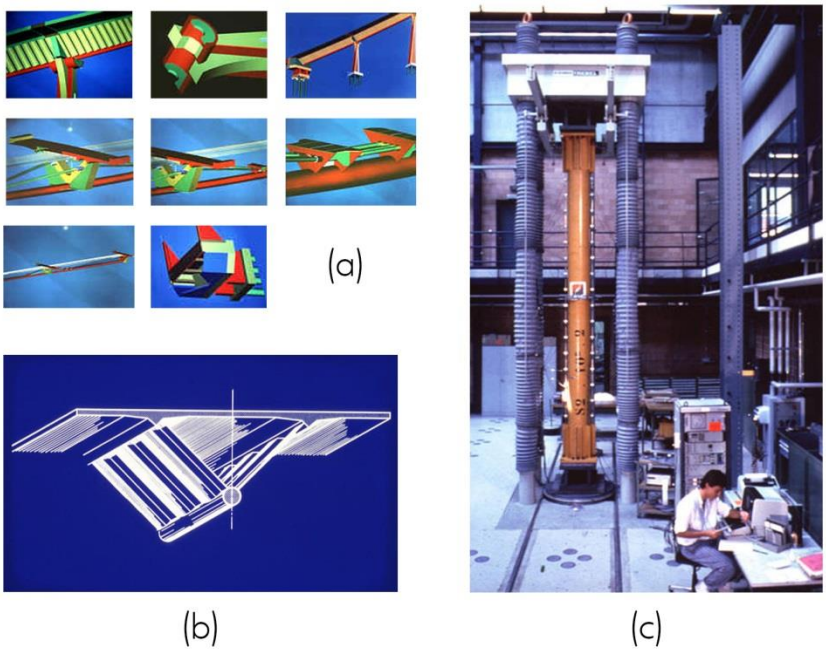

Рисунок 14. *Виадук в Шароле (Мопре). Электронный архив EPFL[20]: a – трёхмерные модели конструкции в среде САПР; b – проектный изометрический чертёж фрагмента пролётного строения; c – производственный и испытательный процесс с применением САПР (https://ibeton.epfl.ch/photos/PlancheContact.asp?I&I18)*

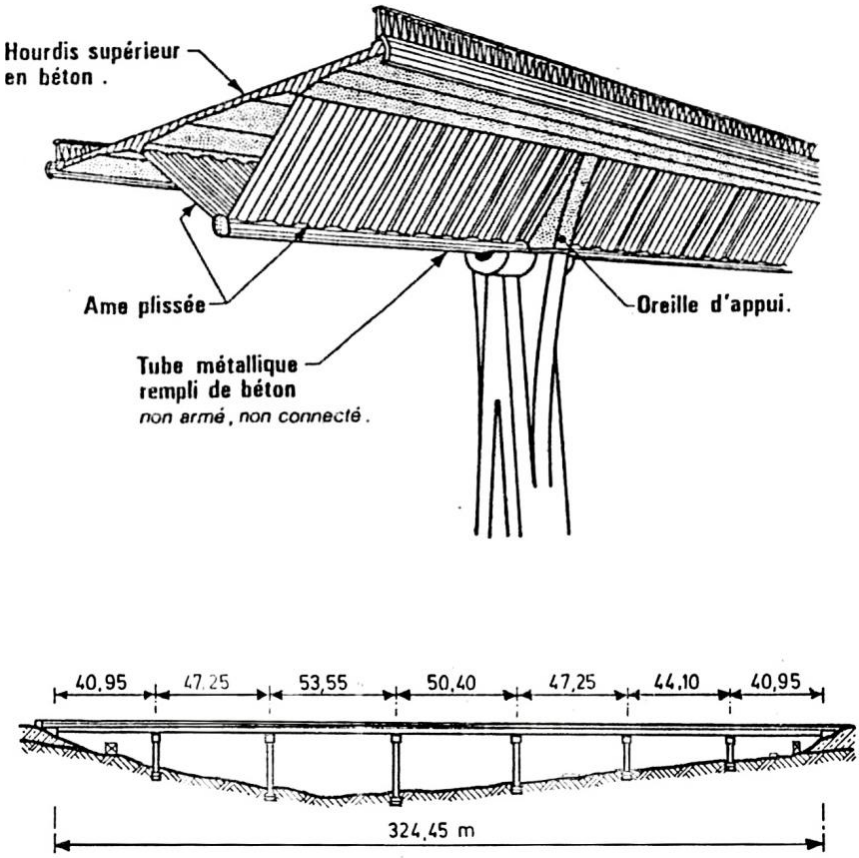

Рисунок 15. *Виадук в Шароле (Мопре). Аксонометрическая схема фрагмента, фасад [13]*

[20] École polytechnique fédérale de Lausannea (фр.).

Рисунок 16. *Виадук в Шароле (Мопре)*
(https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Viaduc_du_vallon_de_Maupré)

Выразительная архитектура пролётного строения во многом обусловлена поиском решений по упрощению конструкции и повышению её эффективности. Китайские исследователи пишут: «инженеры создали комбинированный мост с металлическими гофрированными стенками (МГС) и трубобетонной конструкцией (ТБК), где вместо ферм использованы листы из гофрированной стали, в связи с чем количество узлов сопряжения может быть существенно сокращено. Мост Мопре, построенный в 1988 году во Франции, является первым мостом такого рода. Чэнь и Гао показали, что такое улучшение почти на 80 %. увеличивает сопротивление пролётного строения моста изгибу» [15].

Треугольное сечение сформировано «из двух наклонных стальных волнисто гофрированных стенок толщиной 8 мм», которые приварены «к нижнему поясу из стальной трубы, заполненной бетоном, и верхнего пояса в виде железобетонной плиты» [6]. Гофрированные поверхности и гладкий цилиндрический нижний пояс образуют тектонически выверенную композицию: пролётное строение становится лёгким и стройным. Каждую из профилированных опор венчает «половина трубы», формирующая «ложе», отвечающее пластике нижнего пояса балки.

Опорные шарниры оформлены прямоугольными кожухами. Их наклонные стенки продолжают заданный боковыми плоскостями опор уклон. В проекте эти поверхности переходили на опору едиными криволинейными плоскостями (рис. 17). При реализации геометрия несколько упростилась, появился горизонтальный деформационный зазор.

Виадук в Шароле относится к числу выдающихся произведений архитектурного искусства. В его облике ясно и выразительно представлено оригинальное инженерное решение и создан уникальный запоминающийся архитектурно-художественный образ. В архитектурном путеводителе по Бургундии указано: «инженерно-техническая специфика обусловила элегантную эстетику, которая позволила вписать мост в пейзаж с максимальной деликатностью» [16].

Стилистически архитектура объекта приближается к произведениям хай-тека и техницизма – направлениям, зодчества 1970–1980-х гг. Как отмечает А.О. Дмитриева, «в 1980-х годах <…> эстетика промышленной архитектуры достигла такой популярности, что стиль хай-тек (технический стиль) стал активно применяться и в других сферах архитектурного творчества и дизайна. Этот стиль подразумевает эстетизацию утилитарности, то есть несущих конструкций, инженерии и систем коммуникации. Утилитарные, сугубо функциональные

элементы не прячутся, не маскируются, а наоборот, привлекают внимание, демонстрируют мастерство архитектора-конструктора-инженера» [17]. Близкие образы можно обнаружить в работах британских архитекторов Р. Роджерса, Н. Фостера и др., а также таких японских архитекторов как С. Такамацу и его современники.

Рисунок 17. *Виадук в Шароле (Мопре). Электронный архив EPFL (https://ibeton.epfl.ch/photos/PlancheContact.asp?I&I18)*

Путепровод через автостраду «Париж-Лиль» у парка «Астерикс»[21] (Франция, 1989 г.)

Рисунок 18. *Путепровод у парка «Астерикс» (https://goo.gl/maps/JYg8QcGiDeD2)*

Таблица 4

Характеристики моста

Макс. пролёт, м / Тип конструкции:	37,4 / балочный
Тип силуэта:	балочный прямой
Форма поперечного сечения:	открытое сечение
Схема включения МГС в стенки ПС:	непрерывная
Форма плана:	прямолинейная
Форма гофров:	трапецеидальная
Вид примыкания МГС плитам ПС:	открытое
Колористическая схема:	контрастная

[21] Parc Astérix (фр.).

Сооружение является частью двухуровневой развязки на автомагистрали A1. Путепровод расположен низко, но хорошо воспринимается как с дальнего, так и с близкого рассояния. Крупные складки гофров соотвествуют масштабу сооружения, имеющего сравнительно небольшие пролёты. Благодаря такому решению, конструкция по пропорциям напоминает классический антаблемент с карнизной частью и триглифоном, создающим размеренный спокойный ритм. Коробка, несущая полотно шириной 13 м, имеет открытое сечение – без нижней плиты. Цветом близким к краплаку выделена карнизная часть – это делает мост хорошо заметным издалека. МГС получили мягкую песочную окраску, что зрительно сближает металлическую поверхность с невысокими железобетонными опорами.

В настоящее время аналогичный тип конструкции (с раскосной фермой вместо нижней плиты) применяется для проектирования пешеходных мостов и путепроводов в Китае [15]. Прототипом архитектурных решений этих объектов является французский путепровод у парка Астерикс.

Виадук Альтвипфергрунд[22] (Германия, 2001 г.)

Таблица 5

Характеристики моста

Макс. пролёт, м / Тип конструкции:	115 / балочный
Тип силуэта:	балочный аркадный
Форма поперечного сечения:	трапециевидная коробка
Схема включения МГС в стенки ПС:	непрерывная
Форма плана:	криволинейная
Форма гофров:	комбинированная
Вид примыкания МГС плитам ПС:	примыкание МГС к нижней плите скрытое
Колористическая схема:	контрастная

Рисунок 19. *Виадук Альтвипфергрунд. Вид на долину в Тюрингенском Лесу*[23] (*http://www.wikiwand.com/de/Talbrücke_Altwipfergrund*)

Своеобразием в трактовке формы и цветового решения отличается построенный в 1999–2001 гг. в Германии переход через приток реки Випфра[24] на автобане 71 в Тюрингии[25]. Архитектура виадука Альтвипфергрунд разрабатывалась компанией «Франк-Якоб-Блут»[26]. Несущие коробчатые балки пролётных строений имеют арочное очертание нижних поясов. В

[22] Talbrücke Altwipfergrund (нем.).

[23] Thüringer Wald (нем.).

[24] Wipfra Nebenfluss (нем.).

[25] Bundesautobahn A 71 Erfurt-Schweinfurt (нем.).

[26] Frank-Jakob-Bluth (нем.).

поперечном сечении объект представляет собой две разнесённые по краям одинаковые сталежелезобетонные коробки с монолитными железобетонными плитами поверх (рис. 20b).

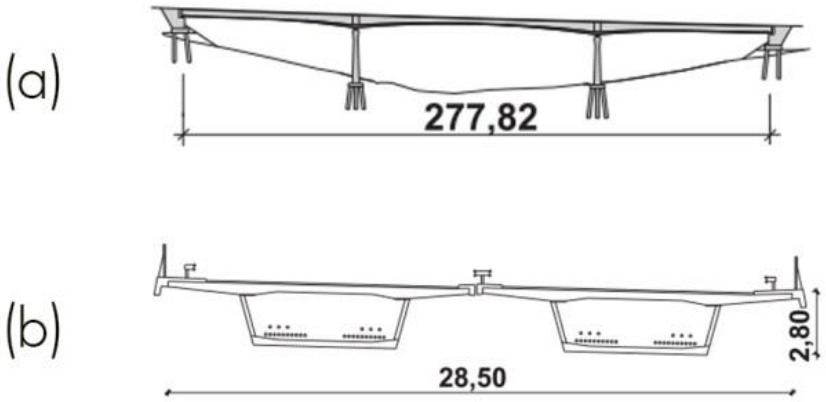

Рисунок 20. *Виадук Альтвипфергрунд: a – фасад; b – поперечное сечение [18]*

Боковые наклонные поверхности балок выполнены из гофрированного металла и выкрашены в холодный серый цвет. Железобетонные конструкции имеют натуральную текстуру и песочный цвет поверхности. Крашенная МГС в опорном узле приходит в вертикальную железобетонную панель, под которой располагаются шарнирные крепления. Опоры имеют выраженные капительные части, углы наклона которых корреспондируются с наклонными контурами стенок балок и железобетонной узловой панели.

Авторам удалось создать лаконичный и выразительный образ. С помощью крупной пластики и разделению на тёплые и холодные оттенки окраски ясно выражены принципы работы конструкции. Тёмно-зелёный цвет способствует максимально деликатной интеграции в ландшафт долины в Тюрингенском Лесу. Поверхности МГС создают спокойный ритм, а тени на тёмных поверхностях выглядят более прозрачными, что снижает контраст и усиливает цельность композиции.

Виадук Мо[27] (Франция, 2004 г.)

Таблица 6

Характеристики моста

Макс. пролёт, м / Тип конструкции:	93 / балочный, со шпренгельной системой в основном пролёте
Тип силуэта:	балочный прямой
Форма поперечного сечения:	с подкосами
Схема включения МГС в стенки ПС:	непрерывная
Форма плана:	криволинейная
Форма гофров:	комбинированная
Вид примыкания МГС плитам ПС:	рамка
Колористическая схема:	контрастная

Виадук Мо возведён во Франции в 2004 г. по проекту парижского архитектора Перча Микаеляна[28]. Коробки пролётного строения с МГС, монолитными верхним и нижним поясами и ритмично стоящими подкосами дополнены шпренгельной конструкцией в зоне основного пролёта. Окрасив поверхности в разные цвета, авторы выявили комбинированный характер конструкции. МГС получили насыщенный зелёный цвет, подкосы и стержни шпренгельной

[27] Le viaduc de Meaux (франц.).

[28] Berdj Mikaelian (франц.).

конструкции – ультрамариновый. Простые яркие цвета напоминают о приёмах постмодернизма и хай-тека. В 1970–1990-е гг. архитекторы нередко с помощью яркой окраски, контрастирующей с натуральными оттенками бетона и камня, выявляли стержневые металлические конструкции: балки, сетки, фермы. Подобные приёмы можно обнаружить в творчестве Д. Стирлинга, М. Грейвза, А. Росси и их современников.

Рисунок 21. *Виадук Мо. Шпренгельная конструкция (https://fr.wikipedia.org/wiki/Pont_en_béton_précontraint)*

Изящный нижний пояс шпренгеля выполнен в виде семи тонких кабелей. Использованные авторами инженерные и архитектурные приёмы придают конструкции стройность и элегантность. Благодаря применению шпренгеля и подкосов удалось добиться постоянной неизменяемой высоты коробки пролётного строения. Применение неразрезной схемы с непрерывными лентами МГС позволило сделать образ цельным и лаконичным. Железобетонные опоры имеют Y-образную конфигурацию и несколько изменяют форму по мере следования продольному профилю.

Мост Моры Ференца[29] (Венгрия, 2011 г.)

Переправа через реку Тиса[30] в составе трассы М43 была открыта в 2011 г. Для сооружения перехода с наибольшим пролётом 180 м впервые в Европе была применена экстрадозная система с МГС. Кабели внешнего армирования закреплены на двух пилонах высотой 16 м. Сооружению присвоено имя классика венгерской литературы Моры Ференца (1879–1934) – одного из наиболее влиятельных авторов рубежа XIX–XX вв.

МГС с крупным масштабом гофров и фасадные поверхности пилонов окрашены в яркий синий цвет, что позволяет сделать колористическую схему контрастной. Приём подчёркивает и выявляет принципы работы эффектной конструкции и придаёт внешнему облику объекта композиционную целостность. Белые окантовки на поверхностях пилонов, гармонирующие с окраской кабелей, придают несущим конструкциям чёткие графичные очертания.

[29] Móra Ferenc híd (венг.).

[30] Tisza (венг.).

Рисунок 22. *Мост Моры Ференца*
(https://szeged.hu/archiv/16464/epitoipari-nivodijat-kapott-a-mora-hid; https://www.utiber.hu/en/m43-motorway/)

Таблица 7

Характеристики моста

Макс. пролёт, м / Тип конструкции:	180 / экстрадозная система
Тип силуэта:	с низкими пилонами
Форма поперечного сечения:	трапециевидная коробка
Схема включения МГС в стенки ПС:	непрерывная
Форма плана:	прямолинейная
Форма гофров:	трапециедальная
Вид примыкания МГС плитам ПС:	рамка
Колористическая схема:	контрастная

2.2 Архитектура современных мостов с МГС в странах Восточной Азии

Широкое распространение мосты с МГС получили в странах Восточной Азии. В Японии удалось впервые применить пролётные строения с МГС для вантовых и экстрадозных мостов. Характерная для стран Востока любовь к философии и поэтике сказалась на расширении эстетического потенциала проектов [19]. В архитектуре ряда азиатских примеров применяются элементы архитектурной бионики и присутствуют отсылки к местной культуре. Важную роль играет деликатное отношение к природным ландшафтам.

Японский инженер Сизуо Симада[31] разработал конструкцию балки с МГС в 1965 г., а в 1976 г. была впервые построена кран-балка подобного типа. Учёный прорабатывал варианты применения МГС и в мостостроении, но его расчёты в те годы на практике не применялись [20]. Впервые МГС в строительстве мостов в Японии были применены в 1993 г. для возведения из сборных комбинированных балок пешеходной переправы Сибиракибаси[32] пролётом 31 м в Ниигата. С середины 1990-х гг. в Японии началось активное использование МГС в строительстве больших автодорожных переправ. В последние 15 лет аналогичные сооружения строятся также в Китае и Южной Корее.

[31] 島田 志津夫 (яп.); Shimada Shizuo (англ.).

[32] 新開橋 (яп.); Shibirakibashi (англ.).

Мост Гинзан[33] (Япония, 1996 г.)

Рисунок 23. *Мост Гинзан (http://www.dps.co.jp/?page_id=520)*

Таблица 8

Характеристики моста

Макс. пролёт, м / Тип конструкции:	45,5 / балочный
Тип силуэта:	балочный прямой
Форма поперечного сечения:	трапециевидная коробка
Схема включения МГС в стенки ПС:	непрерывная
Форма плана:	прямолинейная
Форма гофров:	трапециедальная
Вид примыкания МГС плитам ПС:	рамка
Колористическая схема:	контрастная

В архитектуре моста Гинзан благодаря применению неразрезной схемы формируется непрерывная лента МГС, которая совместно с тонкими бровками бетонных плит создаёт выраженную горизонтальную структуру, зрительно выделяющуюся на фоне зелёных возвышенностей. Мост впервые возводился методом надвижки с помощью шпренгеля[34]. Ритм и пропорции гофрированной поверхности совместно с графичными перилами в перспективных ракурсах позволяют оценить масштаб объекта и сформировать эффектную динамичную композицию. Мачты освещения размещены на консолях, выступающих из плоскости верхнего железобетонного пояса. Благородный бардовый цвет, в который окрашены все металлические конструкции и детали, контрастирует не только со светлыми железобетонными поверхностями, но и с окружающим природным ландшафтом, что вполне можно считать традиционным региональным приёмом.

[33]銀山御幸橋 (яп.); Ginzan (англ.).

[34] 橋梁 18／銀山御幸橋《国内初！５径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋（押出工法）// DPS Corporation [Электронный ресурс] http://www.dps.co.jp/?page_id=520 (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. яп. (дата обращения: 16.04.2019).

Мосты Хими Юмэ[35] (Япония, 2004, 2018 г.)

Рисунок 24. *Мосты Хими Юмэ. Общий вид*
(https://www.kozobutsu-hozen-journal.net/interviews/detail.php?id=1062&page=2)

Таблица 9

Характеристики моста

Макс. пролёт, м / Тип конструкции:	180 / экстрадозная система
Тип силуэта:	с низкими пилонами
Форма поперечного сечения:	трапециевидная коробка
Схема включения МГС в стенки ПС:	прерывистая
Форма плана:	прямолинейная
Форма гофров:	трапецеидальная
Вид примыкания МГС плитам ПС:	рамка
Колористическая схема:	монохромная

Первой в мире переправой экстрадозной системы с МГС стал построенный «Сумимото Мицуи Констракшн»[36] в 2004 г. автодорожный мост Хими Юмэ. Объект «выполнен по трёхпролётной неразрезной балочной схеме общей длиной 365 м с центральным пролетом 180 м. Эффективная ширина верхней плиты 9,75 м» [6]. Сооружение возведено на автомагистрали в Нагасаки для трассировки дороги через исторически сложившийся район с активным рельефом. Переправа проходит над оврагом с живописным природным ландшафтом и домиками, рассыпанными по склонам холмов. Использованные авторами художественные приёмы позволили выявить новый объект на фоне живописного ландшафта горной местности. Сооружение приобрело целостный облик благодаря светлому тону окраски. Архитектура

[35] 日見夢大橋(яп.); Himi Yume Bridge (англ.).

[36] 三井住友建設 (яп.), Sumitomo Mitsui Construction Co., Ltd. (англ.).

массивных опор подчёркивает устойчивость конструкции, расположенной в сейсмоопасной зоне. Крупные складки гофров трапецеидального очертания задают масштаб. Выразительный силуэт объекта эффектно дополнил пейзаж. Авторы проекта пишут: «<…> территория строительства расположена недалеко от нового маршрута Хими и Нагасаки, который заявлен как историческая национальная дорога <…> это очень красивое место, откуда открывается великолепный вид на залив Такибана <…> чтобы сохранить всё это на грядущее столетие, – мы выбрали такой стиль конструкции и такую форму моста, в которой опоры с доминирующими плавными кривыми линиями и пролётное строение, состоящее из тонких и прямых несущих балок, а также несущие пилоны находились бы в идеальной гармонии» [21].

В 2018 закончена вторая очередь строительства. В Японии принято строить автострады скоростных магистралей в две очереди. Так, часто появляется возможность оценить визуальное воздействие на ландшафт сначала одиночного, а потом сдвоенного моста аналогичной конструкции. В нынешнем виде объект, уже едва ли можно назвать деликатным по отношению к окружающему пейзажу.

Мосты Дотакитани (Виадук Сигараки №7[37] и Кузнечный мост[38]) (Япония, 2004 г.)

Изящным архитектурным решением отличаются рамные мосты Сигараки №7 и Кузнечный мост, построенные «Сумимото Мицуи» в 2004 г. Увеличения скорости строительства удалось достичь благодаря использованию сборного железобетона для верхней плиты.

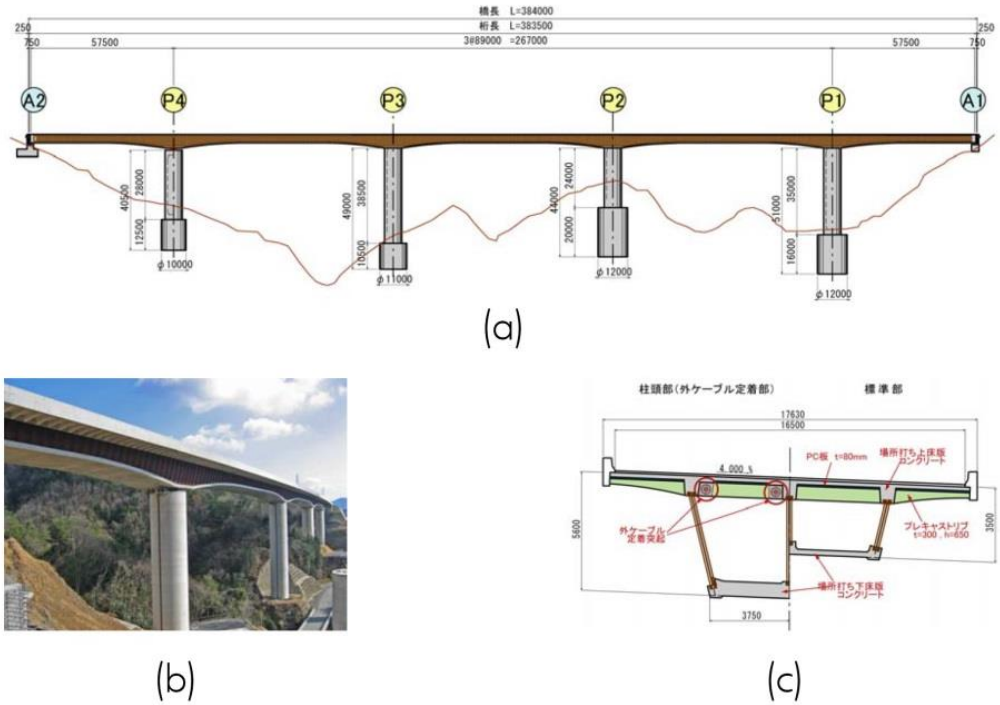

Рисунок 25. *a – фасад; b – общий вид на Виадук Сигараки №7; c – поперечное сечение (https://www.smcon.co.jp/service/assets/uploads/pc-sekei/PCN071.pdf; http://www.namigata.org/result/index.html)*

[37] 信楽第七橋（上り線）(яп.); Shigaraki №7 (англ.).

[38] 鍛冶屋敷橋 (яп.); Blacksmith Bridge (англ.).

Рисунок 26. *Кузнечный мост. Виадук Сигараки №7*
(https://www.kajima.co.jp/project/works/detail/200705dai.html;
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dotachitani_bridge01.jpg)

Таблица 10

Характеристики моста

Макс. пролёт, м / Тип конструкции:	89 / балочная
Тип силуэта:	балочный аркадный
Форма поперечного сечения:	трапециевидная коробка
Схема включения МГС в стенки ПС:	непрерывная
Форма плана:	Криволинейная
Форма гофров:	трапециедальная
Вид примыкания МГС плитам ПС:	рамка
Колористическая схема:	контрастная

Два моста на магистрали Син-Мэйсин[39] проходят через холмистый ландшафт недалеко от Деревни Гончаров Сигараки (Кока, префектура Сига). Сооружения обладают пульсирующим аркадным силуэтом, графичность которого подчеркивается непрерывностью МГС и линиями нижних плит пролётных строений. Металлическим поверхностям верхнего виадука придан цвет обожжённой керамики. Консольные балки, поддерживающие вынос верхней плиты, созвучны волне гофров, что усиливает цельность композиции. В архитектуре нижнего моста можно отметить интересный приём: гофрированная поверхность огибает зону примыкания опоры, формируя изогнутую поверхность (рис. 26). Такое решение ассоциируется с гончарными или кузнечными изделиями. У верхней плиты отсутствуют консольные балки, а торец нижнего пояса имеет «заострённое» треугольное сечение. Эта, на первый взгляд, незначительная деталь зрительно уменьшает толщину плиты и проявляется благодаря лёгкой зеркальности полированного бетона.

Виадуки Сугитани[40]

Композиция из двух стройных виадуков создаёт в пространстве великолепной холмистой местности выразительную упорядоченную структуру. Мосты благодаря рациональной конструктивной основе, в ряду других современных объектов, остаются более близкими к традиционным ритмичным осевым композициям. Исследователь Р. Тхапа пишет:

[39] 新名神高速道路 (яп.); Shin-Meishin Expressway (англ.).

[40] 杉谷川橋（下り線）(яп.); Sugitani River Bridge (англ.).

«архитектурная конструкция, в которой применяется тот или иной ритмический порядок, находится в состоянии баланса, то есть равновесия визуальных сил, что достигается путём размещения одинаковых элементов на одной оси или с помощью упорядочивания различных пространств путём создания более чем одной оси» [22]. Виадуки Сугитани формируют сбалансированную ритмизированную систему с рядом пространственных осей. Изящность «антаблементов» этих широких «колоннад» обусловлена применением аркадного профиля. В архитектуре переправ реализованы два разных приёма включения МГС в конструкцию пролётного строения: в рамке и со скрытым нижним поясом (рис. 27). Благородная тёмно-синяя окраска металла в сочетании со светлым бетоном эффектно выявляет тектонику сооружений.

Таблица 11

Характеристики моста

Максимальный пролёт, м / Тип конструкции:	87 / балочная
Тип силуэта:	балочный аркадный
Геометрическая форма поперечного сечения:	прямая коробка
Схема включения МГС в стенки ПС:	прерывистая
Геометрическая форма плана:	криволинейная
Вид геометрической формы гофров:	трапециедальная
Вид примыкания МГС плитам ПС:	рамка, скрытая
Схема колористического решения:	контрастная

Рисунок 27. *Мосты Сугитани (http://yasublog.hatenadiary.jp/entry/2015/07/27/123124)*

Рисунок 28. *Мосты Сугитани на фоне окружающего пейзажа (http://yasublog.hatenadiary.jp/entry/2015/07/27/123124)*

Мост Тоёта[41] («Мост со стрелами»[42], «Мост Яхагигава»[43]) (Япония, 2005 г.)

Таблица 12

Характеристики моста

Макс. пролёт, м / Тип конструкции:	235 / вантовый, комбинированной конструкции
Тип силуэта:	с высокими пилонами
Форма поперечного сечения:	трапециевидная коробка
Схема включения МГС в стенки ПС:	прерывистая
Форма плана:	криволинейная
Форма гофров:	трапециедальная
Вид примыкания МГС плитам ПС:	рамка
Колористическая схема:	монохромная

Среди мостов с МГС в Японии особой архитектурной выразительностью отличаются объекты корпорации «Ятиё Инжиниринг»[44]. В 2005 году открылся первый вантовый мост с МГС, с наибольшим на сегодняшний день пролётом 235 м. Переправа сооружена на скоростной магистрали Исэванган[45] на пересечении с р. Яхаги[46] в городке Тоёта[47] в префектуре Айти[48].

Рисунок 29. *Мост Тоёта. Вид с птичьего полета (https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Toyota_Arrows_Bridge)*

Центральный участок пролётного строения между веерами длиной около 150 м имеет промежуточную опору на небольшом острове. Симметрично от неё располагаются два пилона с веерами кабелей. Пролётные строения с МГС устроены только в зонах вееров – это участки длиной по 320 метров с центральным шарнирным креплением к массивным опорам в нижних частях пилонов.

[41]豊田アローズブリッジ (яп.); Toyota Arrows Bridge.

[42] Arrows bridge (англ.).

[43] Yahagigawa bridge (англ.).

[44] Yachiyo Engineering Co., Ltd. (англ.).

[45]伊勢湾岸自動車道 (яп.); Isewangan Expressway (англ.).

[46]矢作川 (яп.); Yahagi River (англ.).

[47]豊田市 (яп.); Toyota (англ.).

[48]愛知県 (яп.); Aichi Prefecture (англ.).

Рисунок 30. *Мост Тоёта (https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Toyota_Arrows_Bridge)*

Эстетика пролётных строений с МГС приближается к французским прототипам. Хорошо считывается окантовка из неокрашенного железобетона со следами опалубки. Поверхности МГС выкрашены в белый цвет. У опор высота сечения увеличивается – разница высот зрительно компенсируется полигональными очертаниями нижнего пояса.

Сооружение получило прозвище «Мост со стрелами» из-за характерной формы высоких пилонов. Применение мелкой опалубки стало одной из узнаваемых черт архитектуры Японии второй половины XX в. На бетонной поверхности остаются хорошо различимые линии – прямоугольная сетка следов от стыков с круглыми нишами от крепежа по углам. Так возникает особая рельефная текстура. Подобная эстетика нашла отражение в проектах знаменитых японских зодчих, таких как Т. Андо, К. Кума, Т. Ито и других.

Использование МГС оказало лишь незначительное влияние на образ сооружения. Благодаря наличию крупной соразмерной всему сооружению МГС формируется «масштабная линейка», помогающая зрительно оценить размеры сооружения. Ряд гофрированных поверхностей поддержан скульптурными насечками в основаниях пилонов, напоминающими о бионическом подходе к архитектурной форме. Мост Тоёта имеет криволинейный план. Применение МГС задаёт определённые особенности при реализации таких решений. В соответствии с недавними исследованиями, «в Японии на сегодняшний день возводятся пролётные строения с радиусом кривизны не менее 140 м» [23].

Высокий мост Торисакигава[49] (Япония, 2006 г.)

Таблица 13

Характеристики моста

Макс. пролёт, м / Тип конструкции:	56.0 / балочная
Тип силуэта:	балочный прямой
Форма поперечного сечения:	прямая коробка
Схема включения МГС в стенки ПС:	непрерывная
Форма плана:	криволинейная
Форма гофров:	трапециедальная
Вид примыкания МГС плитам ПС:	рамка
Колористическая схема:	монохромная

[49] 鳥崎川橋 (яп.); Torisakigawa Bridge (англ.).

Рисунок 31. *Мост Торисакигава (http://www.concom-h.com/en/structure/644/)*

Объект расположен на острове Хоккайдо и подобно многим японским переправам на скоростных дорогах, в эстетическом плане является наследником старых виадуков – протяжённых линейных сооружений с ритмичным силуэтом на фоне долин и горных пейзажей. В основе композиции – сочетание величественного рукотворного сооружения и прекрасного ландшафта. Применение МГС усиливает присутствие техницизма, что увеличивает эстетическую дистанцию с окружающим ландшафтом. Белоснежный непрерывный ряд гофров в пролётном строении напоминает о карнизах античных памятников (что перекликается с работами А. Шпильманна 1990-х гг.). Сочетание «бесконечного» антаблемента с лаконичными пилонами напоминает благородную итальянскую архитектуру рационализма 1930-х гг., совмещавшую классические пропорции и модернистскую строгость.

Мосты Оми-Оотори[50] (Япония, 2005, 2008 гг.)

На магистрали E1A Син-Мейсин между префектурами Миэ [51] и Хёго [52] построено несколько интересных по архитектуре мостов. Дорога длиной около 50 км получила систему современных развязок, тоннелей, эстакад, контрольных павильонов, благоустроенных мест отдыха и подсобных сооружений. Выдающейся формальной экспрессией отличается пара мостов Оми-Оотори в холмистом районе префектуры Сига на острове Хонсю. Объекты возведены на юго-востоке населённого пункта Арахари по проекту «Ятиё Инжиниринг». Две переправы с наибольшими пролётами 160 и 170 м наведены на стыке с горными тоннелями, на участке, где дорога двумя эстакадами проходит над северным притоком реки Даидо.

Таблица 14

Характеристики моста

Макс. пролёт, м / Тип конструкции:	170 / экстрадозная система
Тип силуэта:	с низкими пилонами
Форма поперечного сечения:	трапециевидная коробка
Схема включения МГС в стенки ПС:	прерывистая
Форма плана:	прямолинейная
Форма гофров:	трапециедальная
Вид примыкания МГС плитам ПС:	рамка
Колористическая схема:	контрастная

[50] 近江大鳥橋 (яп.); Omi-Oodori Bridges (англ.).

[51] 三重県 (яп.).

[52] 兵庫県 (яп.).

Рисунок 32. *Мосты Оми-Оотори (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:近江大鳥橋_-_panoramio.jpg; https://www.youtube.com/watch?v=IVs5RYm2HWI)*

Рисунок 33. *Мосты Оми-Оотори. Малая опора (фрагмент). Пилоны экстрадозной системы (фрагмент) (http://yasublog.hatenadiary.jp/entry/20090902/p1)*

Каждое из сооружений представляет собой комбинированный мост, имеющий рамно-балочную часть (2 пролёта) и экстрадозную часть (2 пролёта). Наиболее эффектные виды на объекты, расположенные высоко над уровнем моря, открываются с дальних расстояний – от подножия склонов, с проходящей в живописном богатом растительностью ущелье вьющейся автодороги.

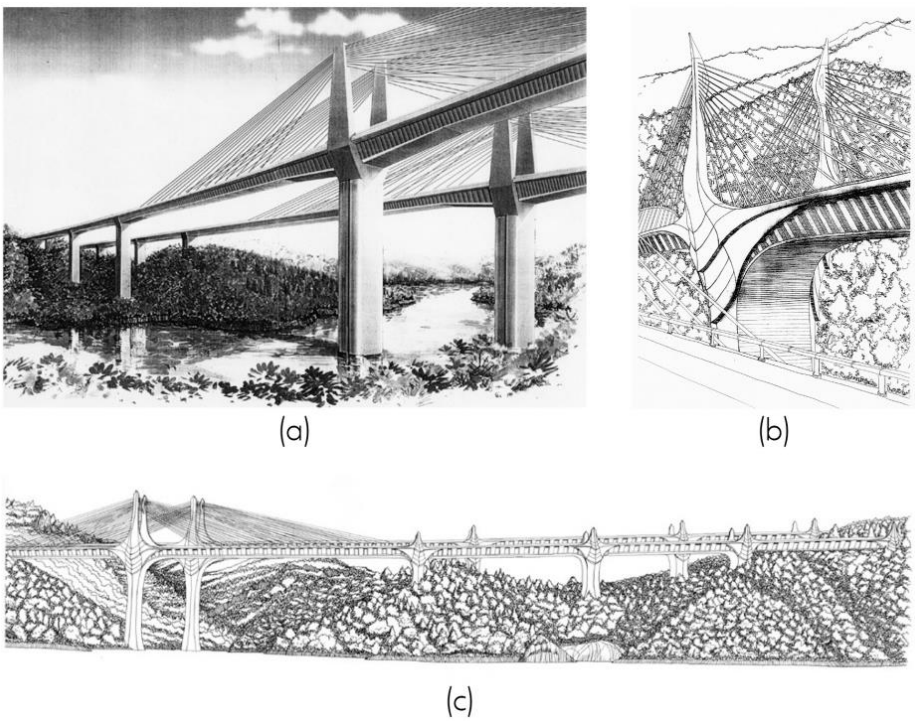

Рисунок 34. *Мосты Оми-Оотори: a – первоначальное архитектурное решение; b – эскизный рисунок большой опоры; c – панорамный рисунок [24]*

Учитывая специфику ландшафта, архитекторы придали сооружениям уникальную скульптурную пластику. Форма пилонов построена на поэтической метафоре – теме символизма (рис. 35c). Авторы – американский ландшафтный архитектор Таня Вилкокс и её коллеги пишут: «последовательность кривых линий – реминисценция формы крыла птицы, которая придаёт пролётному строению моста динамический внешний облик и создаёт впечатление, что конструкция парит над долиной. <…> Японский журавль стал подходящим источником вдохновения для проекта <…>, и, хотя место его обитания ограничено островом Хоккайдо, сегодня это почитаемый во всей Японии символ. Образ журавля появляется в дизайне гобеленов, оригами, в логотипах, <…> и даже представлен на банкноте 1000 иен» [25].

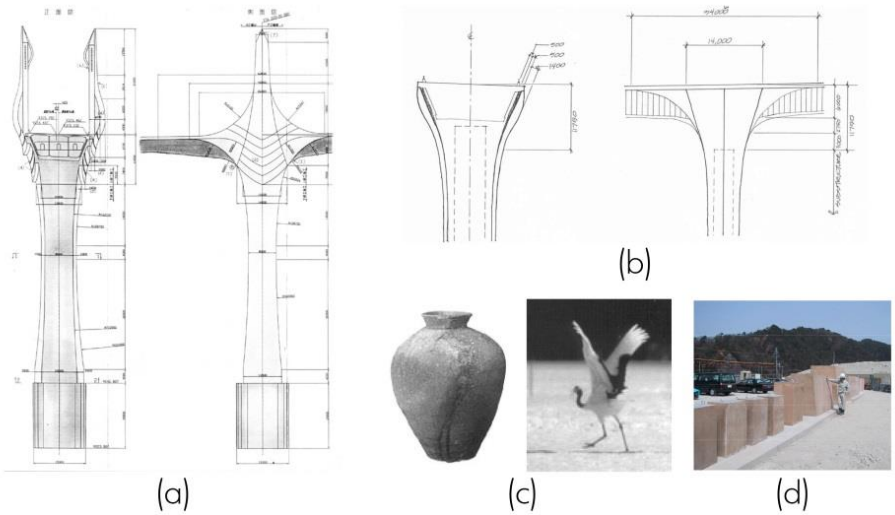

Рисунок 35. *Мосты Оми-Оотори: a – рабочие чертежи большой опоры; b – проектные чертежи малых опор; c – ассоциативный ряд: традиционная керамика Сигараки, Японский (Уссурийский) журавль; d – опытные экземпляры цветных железобетонных блоков [24]*

Подобный подход можно отнести к методам архитектурной бионики. И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников и А.Б. Карханян полагают, что бионический подход имеет большой потенциал в современном искусстве мостостроения. «Создавая мосты, – отмечают учёные – люди бессознательно подчинялись влиянию окружающего мира и использовали природные аналоги. <…> бионический подход на макроуровне сводится к созданию мостовых конструкций, подобных биологическим конструкциям, имеющимся в естественном мире. <…> Например, при проектировании внешнего вида и схемы мостового сооружения проектировщики могут использовать статическую или динамическую форму растений и животных с целью получения более эффективных, инновационных и эстетичных решений» [26]. «Развитие архитектурно-строительной бионики происходит в двух направлениях: изучение законов и принципов формообразования, законов организации биологических объектов, архитектоники растений и живых организмов и использование этих свойств в архитектуре; изучение строения конструктивных систем биологических объектов по принципу экономии материала, энергии и обеспечения надежности строительных конструкций» [27]. В данном случае, авторы проекта прибегают к изучению и применению законов и принципов формообразования и организации биологических объектов.

Все железобетонные поверхности имеют тёплый «песочный» оттенок. Этот колер отлично сочетается с живыми красками природы прилегающих взгорьев и ущелий. Оттенок получен благодаря добавлению в бетонную смесь состава, создающего узнаваемый цвет обожжённой керамики (рис. 35d). По словам авторов, «были разработаны цветовые схемы для железобетонной конструкции и стальной гофрированной стенки. В связи с необходимостью навести мост над густой лесистой долиной, было рекомендовано подчеркнуть окраской

скульптурную форму моста, списывая её с природным ландшафтом, а также используя цвет как способ связать проект моста с отсылкой к характерной традиционной керамике Сигараки. Было изучено несколько цветов, и цвет Ligonier Tan[53], был выбран в качестве предпочтительного для железобетона. Этот светлый песочный цвет гармонирует с местными скальными обнажениями и оттенками почвы. Светлая окраска бетона сочетается с тёмным красновато-коричневый цветом жареного перца, выбранным для стенок из гофрированной стали. Местный камень имеет песочный цвет с красновато-коричневыми вкраплениями. Эти цвета напоминают характерный окрас лесных птиц, с их светлым оттенком туловища и более тёмным окрасом крыльев, а также широко используются в традиционной местной керамике» [24].

Со стороны проезжей части пилоны гладкие, с характерной для Японии фактурой следов от опалубки. Сталежелезобетонная конструкция пролётного строения с МГС играет заметную роль в формировании архитектурного облика сооружений. Наклонные МГС, устроенные по всей длине, выкрашены в контрастный цвет. Цветные металлические ленты в обрамлении «рамок» из железобетона придают сооружению запоминающийся облик, дают активную светотень и хорошо заметны издалека (рис. 32). Всё это позволяет зрительно выделить их в окружающем природном пейзаже.

Мост в Арамаки-Хонзава[54] (Япония, 2006 г.)

Рисунок 36. *Мост в Арамаки-Хонзава [20] (http://sendaipics.fc2web.com/wadai/report128.html)*

Таблица 15

Характеристики моста

Макс. пролёт, м / Тип конструкции:	54,5 / экстрадозная система
Тип силуэта:	с низким пилоном
Форма поперечного сечения:	прямая коробка
Схема включения МГС в стенки ПС:	фрагментарная
Форма плана:	прямолинейная
Форма гофров:	трапециедальная
Вид примыкания МГС плитам ПС:	рамка
Колористическая схема:	контрастное

В конструкции объекта применены массивные элементы: приземистый пилон экстрадозной системы, широкие тяжеловесные опоры и консоли. Фрагментарное включение МГС реализовано в зоне наибольшего сечения коробки. Для этих локальных элементов характерно наличие сложной границы с фоном (контур), отличающиеся цвет и фактура

[53] Цвет 210, 177, 143 по RGB, SW 7717 по амер. системе Sherwin-Williams.

[54]荒巻本沢地区橋梁 (яп.); Aramaki Honzawa area bridge (англ.).

поверхности. Эти «детали» зрительно снижают массивность композиции, разбивая глухую железобетонную поверхность. Мост интегрирован в затеснённую городскую среду: для него характерно восприятие с близких ракурсов – из прилегающих переулков.

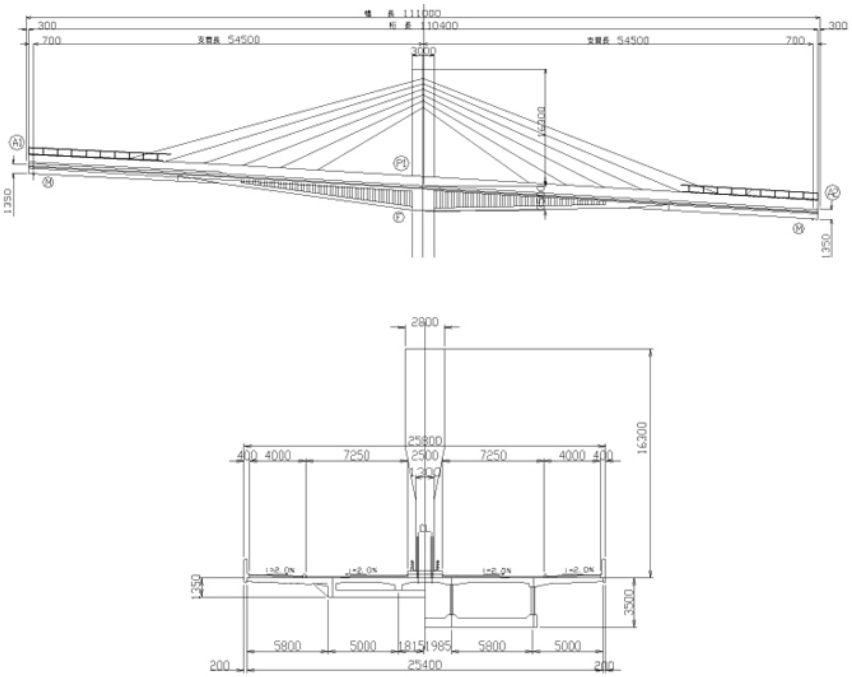

Рисунок 37. *Мост в Арамаки-Хонзава. Фасад. Поперечное сечение (http://www.dps.co.jp/?page_id=508)*

Мост Мито[55] (Япония, 2010 г.)

Таблица 16

Характеристики моста

Макс. пролёт, м / Тип конструкции:	39,7 / балочная
Тип силуэта:	балочный прямой
Форма поперечного сечения:	открытое сечение
Схема включения МГС в стенки ПС:	прерывистая
Форма плана:	прямолинейная
Форма гофров:	трапециедальная
Вид примыкания МГС плитам ПС:	рамка
Колористическая схема:	контрастная

Рисунок 38. *Мост Мито (URL: http://suiro.blog27.fc2.com/blog-entry-1332.html)*

[55] 綾瀬川水戸橋 (яп.); Ayase River Mito Bridge (англ.).

Пешеходный мостик Мито через р. Аясэ – пример использования МГС для устройства пешеходной переправы. Здесь применена редкая для Японии технология сборной конструкции. Минимализм, присущий архитектуре объекта, не создаёт ощущения перегруженности, что важно для формы, расположенной в тесной урбанизированной среде. Деликатная окраска гофрированных поверхностей в мягкий фисташковый оттенок в белой окантовке наглядно указывают пешеходам направление для переправы.

Мосты Аоки Кавахаси[56] (Япония, 2012 г.)

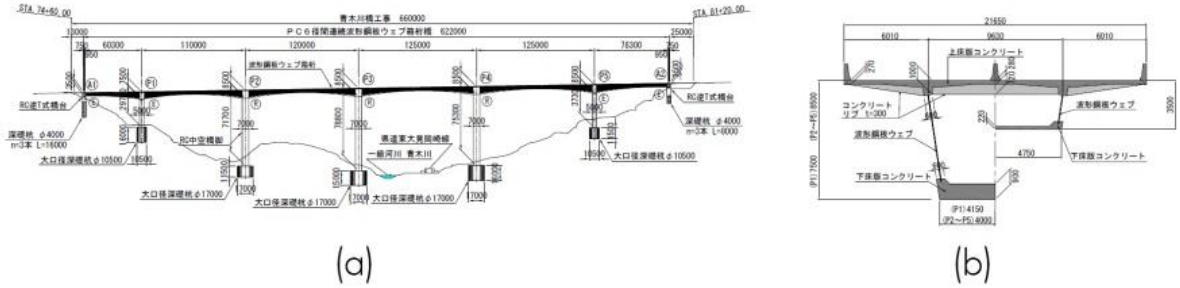

Рисунок 39. *Мосты Аоки Кавахаси, префектура Айти, Окадзаки-си. Фасад. Поперечное сечение [28]*

Рисунок 40. *Мосты Аоки Кавахаси. Переходная опора (https://www.smcon.co.jp/works/2015/071514134/)*

Таблица 17

Характеристики моста

Макс. пролёт, м / Тип конструкции:	125 / балочная
Тип силуэта:	балочный аркадный
Форма поперечного сечения:	трапециевидная коробка
Схема включения МГС в стенки ПС:	прерывистая
Форма плана:	Криволинейная
Форма гофров:	трапециедальная
Вид примыкания МГС плитам ПС:	рамка
Колористическая схема:	монохромная

[56]青木川橋 (яп.); Aoki Kawahashi (англ.).

Серия мостов и развязок на скоростной автомагистрали Томэй[57] выполнена в единой стилистике. Архитектура этих сооружений демонстрирует возможность использования МГС для придания целостной и узнаваемой композиции высоким виадукам, расположенным в горных и холмистых районах. Лаконичные силуэты и цветовые решения создают ясные образы, обладающие высокими качествами формы. Эти современные объекты отсылают зрителя к образам исторических виадуков – уникальных сооружений, стоявших у истоков мостостроения.

Рисунок 41. *Мосты Аоки Кавахаси на фоне окружающего пейзажа (https://blog-001.west.edge.storage-yahoo.jp/res/blog-cf-8c/skpochi/folder/407522/07/8347607/img_3?1358462399; http://www.marukawasyouji.com/?page_id=63)*

2.3 Архитектура современных мостов с МГС в Китае

В последние годы искусство мостостроения в Китае достигло больших результатов. Тем не менее, конструкции с МГС составляют пока небольшую часть обширной китайской мостостроительной практики. Их применение связано с Тайванем, где недавно появились интересные примеры таких сооружений.

Мост в Тайчжуне[58] (Китай, Тайвань, 2012 г.)

Рисунок 42. *Мост в Тайчжуне (https://goo.gl/maps/hHZ3p6zrT5Q2; https://goo.gl/maps/DybTyqhUNu22)*

[57] 東名高速道路 (яп.); Tōmei Expressway (англ.).

[58] 臺中 (кит. трад.); Taichung (англ.).

Таблица 18

Характеристики моста

Макс. пролёт, м / Тип конструкции:	145 / балочная
Тип силуэта:	балочный аркадный
Форма поперечного сечения:	прямая коробка
Схема включения МГС в стенки ПС:	прерывистая
Форма плана:	криволинейная
Форма гофров:	трапециедальная
Вид примыкания МГС плитам ПС:	рамка
Колористическая схема:	монохромный

Скоростная трасса «Живое кольцо Тайчжуна» проложена на опорах по живописной частично заболоченной местности. Массивность конструкции эстакад компенсируется фактурой гофрированных поверхностей: глянцевитый металл визуально обогащает стенки коробок. На момент строительства объект стал сооружением-рекордсменом среди балочных мостов с МГС. «По данным Министерства транспорта и коммуникаций, именно в центральном Тайваньском округе Тайчжун появится мост с гофрированными стальными стенками с самым длинным в мире пролетом 145 метров. <…> Виадук, являющийся частью четвёртой линии скоростной автомагистрали «Живое кольцо Тайчжуна», которая соединит населённые пункты Танзи и Вуфенг, является первым сооружением подобного типа на Тайване» – сообщала официальная пресса [29].

Благодаря применению МГС удалось существенно сократить вес сооружения и сократить количество опор. Облик переправы стал визуально более лёгким и динамичным. Пролётные строения размещены на сравнительно низких и тонких опорах, что обусловлено спецификой ландшафта. В случае применения здесь привычных технологий, объект, несомненно, вышел бы куда более тяжеловесным и массивным, что заметно при сравнении его с соседними рамными железобетонными эстакадами.

Мост «Белый рис»[59] (Китай, Тайвань, 2017)

Таблица 19

Характеристики моста

Макс. пролёт, м / Тип конструкции:	150 / экстрадозная система
Тип силуэта:	с низким пилоном
Форма поперечного сечения:	трапециевидная коробка
Схема включения МГС в стенки ПС:	прерывистая
Форма плана:	криволинейная
Форма гофров:	трапециедальная
Вид примыкания МГС плитам ПС:	рамка
Колористическая схема:	монохромный

«Мост «Белый рис» – это переправа с гофрированными стальными стенками и экстрадозной системой. <…> После завершения он станет первым сооружением подобного типа в Китае. Строительство <…> подразумевает бережное отношение к среде и отражение особенностей местной культуры. Он перекрывает ручей Суао одним пролётом длиной 150 м, при этом опоры не попадают в пойму. <…> минимальное вторжение в водную артерию обеспечивает экоустойчивый подход, обращённый в будущее. Дизайн формы пилонов строится на узнаваемых специфических очертаниях зёрнышка белого риса, что учитывает культурные

[59] 白米 (кит. трад.); White rice (англ.).

особенности местных промыслов и превращает мост в достопримечательный объект» (рис. 45а) [30].

Рисунок 43. *Мост «Белый рис». Вид с птичьего полета (https://www.facebook.com/thbroad/photos/pcb.1584915644920041/1584909514920654/?type=3&theater)*

Рисунок 44. *Пауло Каваи. Рисовые Поля V (05 августа 2010 г.) (https://www.flickr.com/photos/paulokawai/4911809915/in/album-72157624216530345/)*

Этот пример, как и мосты Оми-Оотори в Японии, выражает стремление к обоснованию пластического и цветового решения поэтической литературной метафорой. Кроме того здесь, как и в японском примере, задействованы методы архитектурной бионики. Геометрия природной формы, зерна белого риса, служит прообразом и пространственной моделью для выбора очертаний криволинейных пилонов сооружения. МГС своим ритмом и цветовым решением даёт эмоциональную отсылку к традиционным ландшафтам Поднебесной – широким рисовым полям (рис. 44). Мост «Белый рис», таким образом, является не только удачным образцом применения новых инженерных приёмов, но и принадлежит к числу объектов, обладающих ярким запоминающимся внешним обликом и уникальной архитектурой.

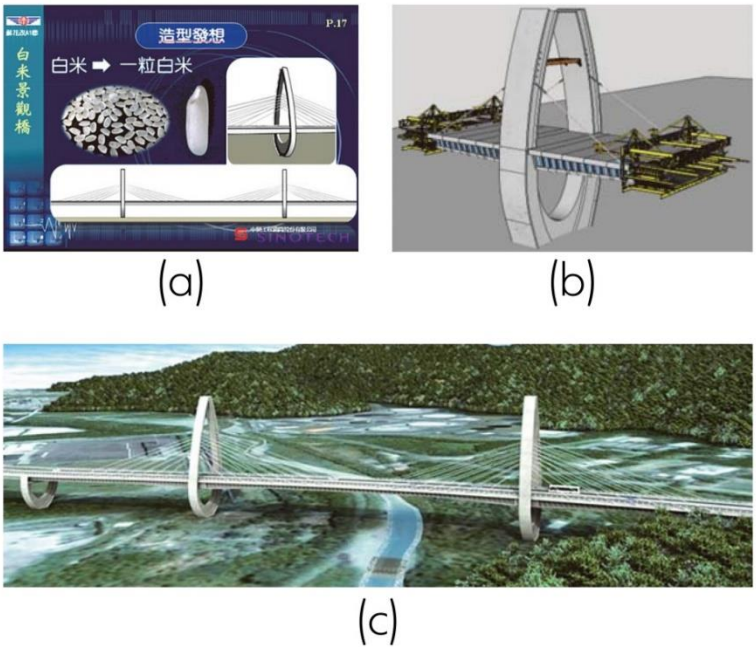

Рисунок 45. *Мост «Белый рис». Концепция: a – ассоциативный ряд; b – технология строительства пролётных строений; b – эскизная визуализация (https://www.facebook.com/thbroad/photos/pcb.1584915644920041/1584909554920650/?type=3&theater; https://www.facebook.com/thbroad/photos/pcb.1584915644920041/1584909578253981/?type=3&theater)*

2.4 Архитектура современных мостов с МГС в Южной Корее

Мост Ильсон[60] (Южная Корея, 2005)

Рисунок 46. *Мост Ильсон. Возведение конструкций пролётного строения (http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=kjiksh&logNo=60043227634&redirect=Dlog&widgetTypeCall=true)*

[60] 일선대교 (кор.); Ilsun Bridge (англ.).

Таблица 20

Характеристики моста

Макс. пролёт, м / Тип конструкции:	60 / балочная
Тип силуэта:	балочный прямой
Форма поперечного сечения:	трапециевидная коробка
Схема включения МГС в стенки ПС:	непрерывная
Форма плана:	прямолинейный
Форма гофров:	трапециедальная
Вид примыкания МГС плитам ПС:	рамка
Колористическая схема:	контрастная

Возведённый в Южной Корее виадук Ильсон – наиболее крупное мостовое сооружения с преднапряжением конструкций пролётных строений и применением МГС. Его длина – 801 м, ширина – 30,9 м. Непрерывность алой прямой линии гофрированной поверхности выделяется в окружающем пейзаже, создавая яркий антропогенный символ технических достижений корейских строителей.

Архитектура опор также подчёркивает эффективность применения новых технологий. Благодаря заметному снижению веса пролётного строения удалось сделать опоры сравнительно тонкими и изящными, а также – применить Т-образное очертание с компактным ригелем и одной стойкой. Едва ли подобная архитектурная форма могла бы появиться при возведении тяжеловесного железобетонного или сталежелезобетонного моста, основанного на привычных технологиях.

Мосты из сборных балок с МГС и поэтапным преднапряжением в уезде Хвенсон[61] (Южная Корея)

Рисунок 47. *Примеры реализованных мостов (неразрезная схема из сборных балок с МГС) в уезде Хвенсон (http://hybritech.co.kr/image/01.pdf)*

[61] 횡성군 (кор.); Hoengseong County (англ.).

В Южной Корее применяется метод возведения мостов с МГС из сборных конструкций заводского изготовления с предварительным напряжением, осуществляемым в несколько этапов. В одной из принятых технологических схем применяется способ с напряжением конструкции в 3 этапа: 1) на производстве; 2) при установке в проектное положение; 3) при устройстве верхней плиты пролётного строения и дорожных одежд.

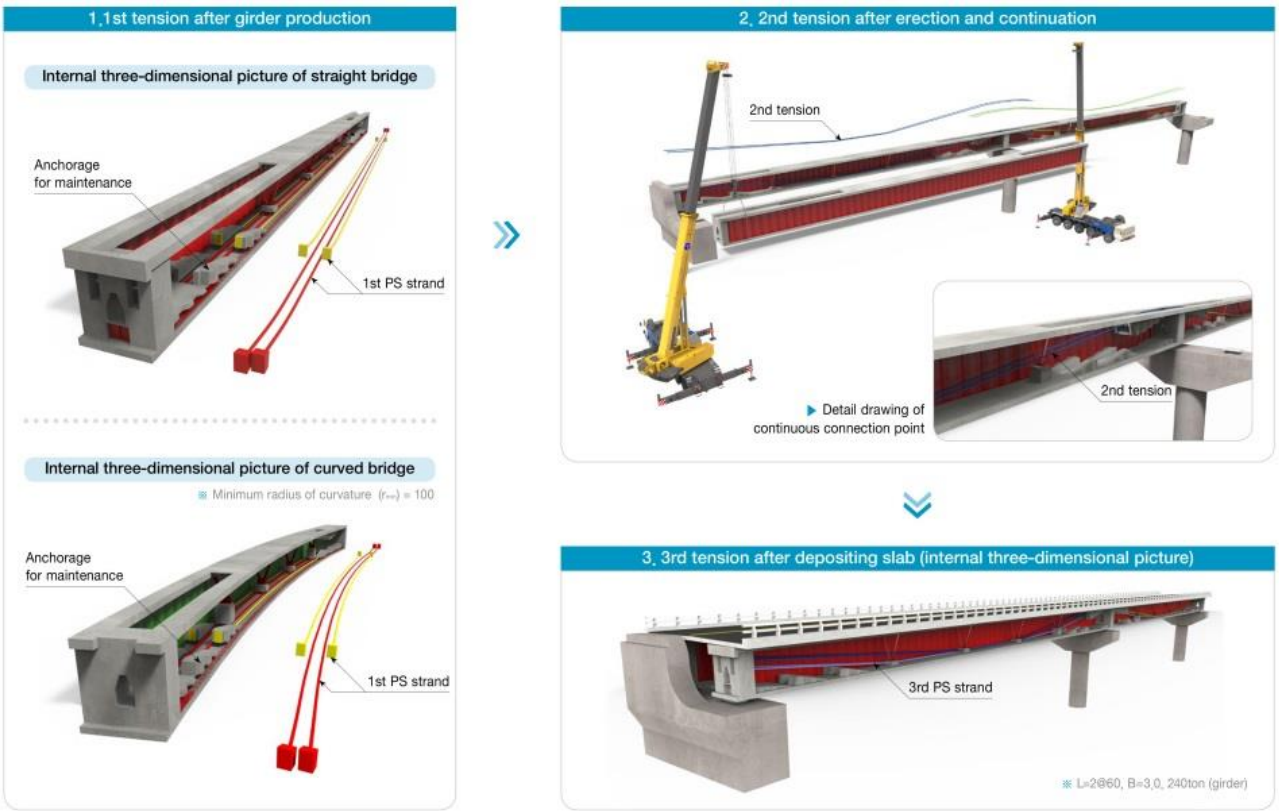

Рисунок 48. *Технология строительства мостов из сборных балок с МГС (http://www.wkcos.com/eng/2_TechnicalData.pdf)*

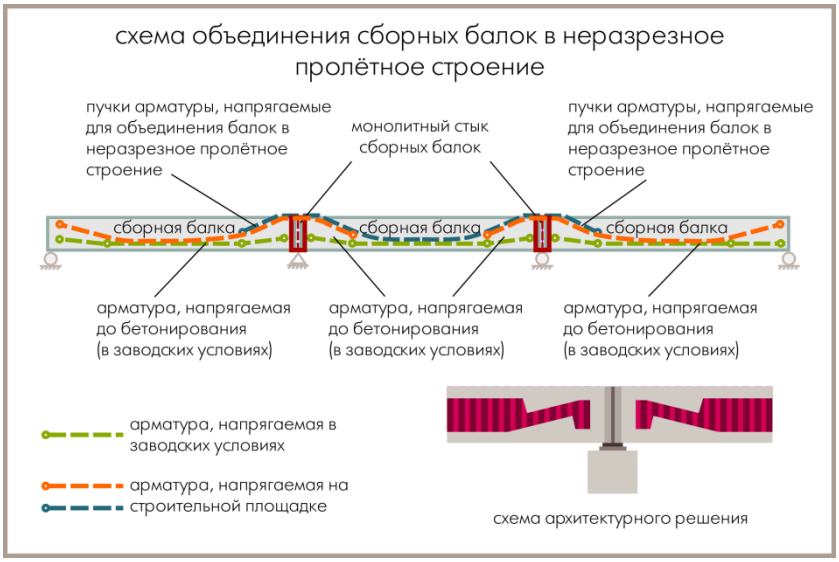

Рисунок 49. *Неразрезное пролётное строение из сборных балок с МГС (Южная Корея) (разработано авторами)*

Преимущества технологии связаны с ускорением строительного производства и снижением материалоёмкости. Балки с заводским преднапряжением и МГС можно

монтировать автомобильными и плавучими кранами, так как такие мосты и эстакады строятся преимущественно на сравнительно невысоких опорах (рис. 48). Последнее связано с тем, что возводятся мосты в долинах, поймах рек и так далее, – в отличие от крупных высоких мостов с МГС в горных районах Японии.

В связи с применением метода напряжения арматуры в несколько этапов и объединения нескольких сборных балок с МГС в единую неразрезную схему, в архитектуре мостов такой конструкции появляется необычное решение фасада в зонах опорных сечений. Выведенные на фасад в виде диагональных бетонных объёмов каналы для напрягаемой арматуры создают интересный фигурный рельеф, окантовывающий гофрированные поверхности. Зигзагообразная конфигурация вырезов напоминает о мотивах традиционного зодчества Востока (рис. 49).

Заключение

В заключении можно сделать следующие выводы:

1. В ходе проведённого исследования были кратко проанализированы теоретические и практические аспекты строительства мостов с МГС, изучены актуальные научные публикации и иные источники.

2. В исследовании принят метод анализа и сопоставления по сравнительным характеристикам архитектурных решений объектов. Проведён анализ архитектурно-художественного потенциала МГС в пролётных строениях современных мостов, построенных в Европе и странах Азии. Использованы следующие характеристики: 1) макс. пролёт, м / тип конструкции; 2) тип силуэта; 3) форма поперечного сечения; 4) схема включения МГС в стенки ПС; 5) форма плана; 6) форма гофров; 7) вид примыкания МГС плитам ПС; 8) колористическая схема.

3. Рассмотрено четыре десятка реализованных мостов с МГС. Как правило, это сооружения, имеющие высокие архитектурно-художественные качества, а также – объекты, где впервые применялись новаторские инженерные и архитектурные решения.

4. Выявлено, что с архитектурно-художественной точки зрения, применение МГС в строительстве мостов позволяет формировать целостную структуру восприятия. МГС, являясь, как правило, частью конструкции пролётного строения, играют существенную роль в формировании ряда характеристик внешнего облика сооружений и влияют на следующие средства выразительности: а) масштаб; б) ритм (ритмические ряды); в) колористическая схема; г) микропластика (малый рельеф); д) метафоры, смысловые отсылки, заложенные в архитектурную концепцию проекта.

5. Исследование новейших европейских и азиатских примеров позволяет зафиксировать наличие в подобных сооружениях новых архитектурно-художественных качеств. Дальнейшее изучение и применение этих специфических приёмов позволит расширить технические возможности отечественного мостостроения и увеличить спектр применяемых архитектурных решений.

6. В ходе исследования выявлены имена учёных, инженеров и архитекторов, внёсших существенный вклад в обоснование, проектирование и строительство современных мостов с МГС. Для ряда рассмотренных примеров установить имена авторов не удалось. Эта работа может быть продолжена в рамках дальнейших исследований.

Технология строительства мостов с МГС, впервые применённая в середине 1980-х гг. во Франции, позволила инженерам и архитекторам создать выразительные и новаторские

сооружения. Внешний облик этих объектов задал новую архитектурную тему и открыл перспективы применения подобных решений. В то же время, научно-исследовательская и проектно-строительная практика создания мостов с МГС не получила в Европе поистине широкого применения. Примеры по сей день остаются единичными и являются скорее экспериментальными образцами, а не объектами массового строительства. В определённом смысле это, повышает уникальность таких сооружений и их объективную ценность. Строительство преднапряжённых мостов с МГС приобрело поистине массовый характер в Японии, где сложный рельеф и сейсмическая активность способствуют раскрытию потенциала изучаемого типа конструкций. Уже к 2012 году на территории страны было построено около 150 таких мостов, что существенно повлияло на облик крупных магистралей, автострад и скоростных дорог [31]. Широкие перспективы для использования этих конструкций открываются сегодня в Китае и Южной Корее.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Караханян А.Б. Пешеходные мосты современности: тенденции проектирования. Часть 2. Многофункциональные мосты // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №2 (2015) [Электронный ресурс] http://naukovedenie.ru/PDF/93TVN215.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/93TVN215 (дата обращения: 16.04.2018).
2. Дмитриева Л., Уламбаяр Х. Использование балок с гофростенкой в современном проектировании // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2015. №4 (15) С. 132–138.
3. Wang S., He J., Liu Y., Li C., Xin H. Shear capacity of a novel joint between corrugated steel web and concrete lower slab // Construction and Building Materials. 2018. Volume 163. P. 360–375.
4. Шляхин Д.А., Лукин А.О. Анализ работы гофрированной стенки упругой балки при изгибе // Вестник КРСУ. 2017. Том 17. № 5. С. 184–188.
5. Остерман Е.Д., Шутова О.А. Анализ типов сооружений из металлических гофрированных конструкций // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2016. Том 7 № 1. С. 18–29.
6. Лукин А.О., Суворов А.А. Пролётные строения мостов с гофрированными металлическими стенками // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 2. С. 46–60.
7. Коськов М.А., Харитонова М.Е. Философско-культурологический анализ архитектурного образа // Вестник Ленинградского государственного университета им. А.С. Пушкина. 2016. № 3. С. 236–247.
8. Овчинникова Н.П. О специфике архитектуроведения // Региональная архитектура и строительство. 2012 №1. С. 170–177.
9. Chung Tang M. Forms and Aesthetics of Bridges // Engineering. 2018. Volume 4, Issue 2. P. 267–276.
10. Порозова Д.Ю. Гештальт как основа визуального восприятия // Человек в мире культуры. 2012. №3. С. 23–27.

11. Астафьева Н.С., Фомина Ю.А. Влияние мостовых городских сооружений на систему городской застройки // Региональное развитие: электронный научно-практический журнал. Выпуск № 1(5), 2015 [Электронный ресурс] https://elibrary.ru/download/elibrary_23251718_32543618.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: 16.04.2018).

12. Cheyrezy M., Combault J. Composite bridges with corrugated steel webs – Achievements and prospects // IABSE Symposium: Mixed Structures including New Materials, Zurich, Switzerland. 1990. P. 479–484.

13. Virlogeux M. External Prestressing: from Construction History to Modern Technique and Technology // Lecture paper. 2 days seminar Theme: Recent developments in bridge design and construction. Technical chamber of Greece, May 9–10. Athens, 1991. P. 54.

14. Spielmann A. La résistance des sites. De l'architecture des ponts. Paris, 2013. 208 p.

15. Chen Y., Dong J., Xu T. Composite box girder with corrugated steel webs and trusses – A new type of bridge structure // Engineering Structures. 2018. Volume 1 (July). P. 354–362.

16. De Saône-et-Loire C. Guide d'architecture en Bourgogne: 1893–2007. Paris, 2008. 399 p.

17. Дмитриева А.О. Влияние философских и научных течений второй половины XX века на формирование промышленной архитектуры // Социально-гуманитарное обозрение. 2018 №3. С. 83–85.

18. Bundesautobahn A 71 Erfurt-Schweinfurt Dokumentation. Verkehrsprojekt Deutsche Einheit Nr. 16. Potsdam, 2005. 106 p.

19. Ташлинская Е.Ш. Эстетические принципы инженерной деятельности // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2016. №4 (76). С. 4–9.

20. Corrugated-steel-web bridges. State-of-the-art report FIB bulletin 77. Féd. Int. du Béton. Zurich, 2016. 110 p.

21. Hino S. The Great Himiyume Bridge, Highway entrance to Nagasaki: The world first extradosed bridge using corrugated steel plate webs // Civil Engineering. JSCE. 42. Japan. 2005.

22. Thapa R. Rhythm in Architecture: an Aesthetic Appeal // Journal of the Institute of Engineering. 2017. 13 (1). P. 206–214.

23. Jiang R.J., Au Tat Kwong F., Feng Xiao Y. Prestressed Concrete Girder Bridges with Corrugated Steel Webs // Review Journal of Structural Engineering. 2015. 141(2):04014108.

24. Wilcox T., Guarre J.S., Berger F.S. Bridge in flight: Harmony of style and structure // FIB. Proceedings of the 1st fib Congress Session 14. Aesthetics of concrete structures. Osaka, 2002. P. 125–134.

25. Ikeda S., Sakurada M. Development of hybrid prestressed concrete bridges with corrugated steel web construction // 30th Conference on Our World in concrete & structures, 23–24 August. 2005. P. 10.

26. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Караханян А.Б. Пешеходные мосты современности: тенденции проектирования. Часть 1. Использование

бионического подхода // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №2 (2015) [Электронный ресурс] http://naukovedenie.ru/PDF/81TVN215.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/81TVN215 (дата обращения: 16.04.2018).

27. Маяцкая И.А., Демченко Б.М., Швецов П.А. О возможности совершенствования сетчатых пластин и оболочек с учётом бионических принципов // Региональная архитектура и строительство. 2016 №2. С. 137–145.

28. Prestressed Concrete Engineering Association 21st Symposium Proceedings (October 2012). 2012 Pp. 183–186. P. 183.

29. Corrugated steel web bridge nears completion // Taiwan Today. September 08, 2010 [Электронный ресурс] https://taiwantoday.tw/news.php?unit=10&post=17045 (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: 16.04.2018).

30. Shao H., Lin T., Wang Z., Lin Y., Liu Y., Wang Z. Design and Construction of the 9-line Suhua-changing White Rice Landscape Bridge. The magazine of the Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering. 44. Vol. 3 (2017/06/01). 2017. P. 54–67.

31. Mori T. Evolution of hybrid prestressed concrete bridges with corrugated steel webs. New challenges in the evolution of corrugated steel web technology // Japan’s concrete technology. 2014. P. 75–77.

Strugach Alexander Gennadjevich
SAB, Saint-Petersburg, Russia
E-mail: r-9@bk.ru

Trifonov Andrey Gennadjevich
SAB, Saint-Petersburg, Russia
E-mail: trifffon@mail.ru

The architecture of bridges with corrugated steel webs: ways of expression

Abstract. Current research paper presents the case study focused on identification and analysis of the distinctive aesthetic techniques, architectural and artistic ways of expression in area of contemporary composite prestressed steel-concrete bridges with corrugated steel webs architecture. Hybrid bridges with corrugated steel webs have been designed and built since mid. 1980s; architectural research on structures of this type offer important insights into under-appreciated aspect of contemporary bridge engineering art.

In this case study authors analyze recent research papers on corrugated steel webs bridges design, construction and development, as well as crucial architectural studies in area of perception psychology, architectural bionics, etc.

Several important master parameters are used to compare the architectural solutions – including main span length, superstructure scheme, the type of silhouette, the shape of cross section, the type of corrugated steel webs installation into the girder box, the type of junction of corrugated steel webs to lower and upper girder slabs and the color scheme. The study features research and detailed analysis of twenty bridges with corrugated steel webs built in Europe and East Asia.

The use of corrugated steel webs in bridges allows influencing the following architectural design techniques: the scale of the structure; the rhythm; color scheme; microrelief; metaphors and semantic references embedded in the architectural concept.

The study on architecture, design, construction and development of contemporary bridges with corrugated steel webs allows not only to research the worldwide experience, but also to propose the future developments of this type of technology in Russia.

Keywords: bridge architecture; corrugated steel webs; steel-concrete composite bridge; prestressed concrete bridge; girder box bridge; extradosed bridge; cable-stayed bridge; technical aesthetics; coloristics; engineering art