

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2022, №1, Том 9 / 2022, N 1, Vol. 9 <https://t-s.today/issue-1-2022.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/12SATS122.pdf>

DOI: 10.15862/12SATS122 (<https://doi.org/10.15862/12SATS122>)

Применение «зонтичной» технологии для сооружения мостов в стеснённых городских условиях

¹Доронина А.И., ^{1,2}Валиев Ш.Н.

¹ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия

²ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»,
Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Доронина Александра Ивановна, e-mail: sanya.doronina.98@mail.ru

Аннотация. Основными тенденциями в мостостроении является: внедрение новых материалов, освоение новых технологий и сокращение сроков строительства. Освоение новых технологий зачастую связано с потребностью строительства мостовых сооружений в стесненных условиях. Рассматриваемая автором технология «зонтичного моста», отвечает этим тенденциями. Технология разработана в Венском техническом университете, основной идеей является сборка несущих элементов в вертикальном положении с последующим разворачиванием в проектное горизонтальное положение.

Для уменьшения веса монтируемых элементов в данной технологии используются тонкостенные предварительно напряженные сборные железобетонные изделия. После установки их в проектное положение, они выполняют функцию несъемной опалубки и бетонируются непосредственно на строительной площадке.

Данная технология была изобретена для мостов с высокими опорами для исключения монтажа и демонтажа временных опор, но недавно была

доказана её экономическая эффективность для мостов с невысокими опорами.

Преимуществом метода является не только сокращение сроков строительства и наличие свободного подмостового габарита, но и то, что распорки являются не только механизмом для разворота пролета в горизонтальное положение, но и позволяют уменьшить расчетную длину пролета. В статье рассмотрены проекты мостов через реку Лафниц и Ланбах в Австралии, а также предшествующие ему варианты проектов мостов. Особый упор в работе сделан на рассмотрении технологии строительства мостов, выявлении основных технологических этапов, особенностях выполнения тех или иных работ. Автором представлены рекомендации по применению данного метода строительства.

Ключевые слова: зонтичный мост; сбалансированный метод подъема; этапы строительства; тонкостенные сборные элементы; стесненные условия; несъемная опалубка; инновации

The use of balanced lowering method technology for bridge construction in cramped urban environments

¹Alexandra I. Doronina, ^{1,2}Sherali N. Valiev

¹Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

²Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia

Corresponding author: Alexandra I. Doronina, e-mail: sanya.doronina.98@mail.ru

Abstract. The main trends in bridge building are: the implementation of new materials, the assimilation of novel technologies, and the construction time reduction. The new technologies assimilation is often associated with the need to build bridge structures in cramped conditions. Considered by the author balanced lowering method technology corresponds to these trends. The technology was developed at the Vienna Technical University, the main idea is to assemble the supporting elements in a vertical position with subsequent deployment to the design horizontal position.

To reduce the weight of the mounted elements, this technology uses thin-walled prestressed precast concrete units. After installing it in the design position, they perform the function of leave-in-place form and are cast in place directly on the construction site.

This technology was invented for high pier bridges to eliminate the erection and dismantling of temporary

support but has recently been shown to be cost-effective for low pier bridges.

The advantage of this method is not only the construction time reduction and the free underbridge clearance presence but also the fact that the braces are not only a mechanism for turning the span into a horizontal position but also allow to reduce the estimated span length. The article discusses the bridge projects across the Lafnitz and Lahnbach rivers in Austria, as well as previous options for bridge projects. Particular emphasis in the work is placed on the bridge construction technology consideration, the main technological stages identification, as well as the performance features of certain works. The author presents recommendations on the application of this construction method.

Keywords: umbrella bridge; balanced lifting method; construction stages; thin-walled prefabricated elements; cramped conditions; fixed formwork; innovation

Данная статья доступна по лицензии Creative Commons “Attribution” («Атрибуция») 4.0 Всемирная

This article is available under the Creative Commons “Attribution” 4.0 Global License



Введение

Introduction

Мостовые сооружения — это важнейшее звено в системе городских сообщений. Их необходимость растет пропорционально численности населения. Прогресс и развитие технологий строительства позволяют сегодня воздвигать мостовые конструкции, высокой сложности. При этом так как возведение мостов нередко осуществляется в условиях сложившейся плотной городской застройки, то работы должны выполняться без существенного ограничения интенсивного движения транспорта и в сжатые сроки.

«Зонтичная» технология сооружения мостов — это метод возведения мостов, который был разработан в 2006 году в Венском технологическом университете профессором Коллеггером и его командой [1–9].

Основным принципом нового метода строительства является сборка несущих элементов в вертикальном положении с последующим разворачиванием в проектное горизонтальное положение. Разворачивание моста стало возможным благодаря шарнирному соединению балок моста с распорками и опорами моста.

Процесс разворота моста часто сравнивают с открытием зонтика, и поэтому транспортные сооружения, построенные по этому методу, получили название зонтичных мостов. Преимуществом этого метода является не только исключение из процесса строительства «опалубочной рутины», но и то, что названные в простонародье спицы зонтика, являются не только механизмом для разворота пролета в горизонтальное положение, но элементом распорки. Они уменьшают расчётные пролеты и позволяют принимать меньшую высоту поперечного сечения пролетного строения.

Связи с монтажом конструкций в вертикальном состоянии площадь строительной площадки сводится к минимуму. Разворот такой конструкции занимает всего четыре часа. Это позволяет обойтись без устройства временной объездной дороги при наличии под возводимым мостом транспортной развязки либо скоростной автомагистрали.

1. Опыт применения

«ЗОНТИЧНОГО» МЕТОДА ДЛЯ ВЫСОКИХ МОСТОВ

1. Experience in using the balanced lowering method for high bridges

Изначально метод зонтичных мостов был изобретен для мостов через высокие ущелья, в глубоких и широких долинах. По этому методу

был построен мост через реку Зальц в Голлинге, Австралия. Общая длина моста составляла 78 м, средний пролет 33 м. Высота опор 20 и 22 м [4].

Опоры сплошного сечения возводились при помощи подъёмной опалубки. В нижней части опоры монтировалась стальная рама, к ней с помощью болтов крепились распорки, монтируемые в вертикальном положении башенным краном. Стальная рама вместе со стойками поднималась на несколько метров вверх с помощью четырех сцепных подъёмных механизмов [8].

Далее монтировались балки пролетного строения. Балки соединялись с верхними точками распорок. В верхней части балки соединялись сухожилием, состоящим из четырех монострендов. Сухожилие воспринимает растягивающие напряжения при развороте. При подъёме стальной рамы пролетное строение разворачивается. Когда нижние точки распорок поднимаются в проектное положение, домкрат, установленный сверху конструкции, опускает балки в окончательное горизонтальное положение. Как только они достигают конечного положения, балки строения из тонкостенных сборных элементов со стальной арматурой заполняются бетоном. Для завершения конструкции добавляется плита проезжей части. Рисунок 1 иллюстрирует этапы строительства моста.

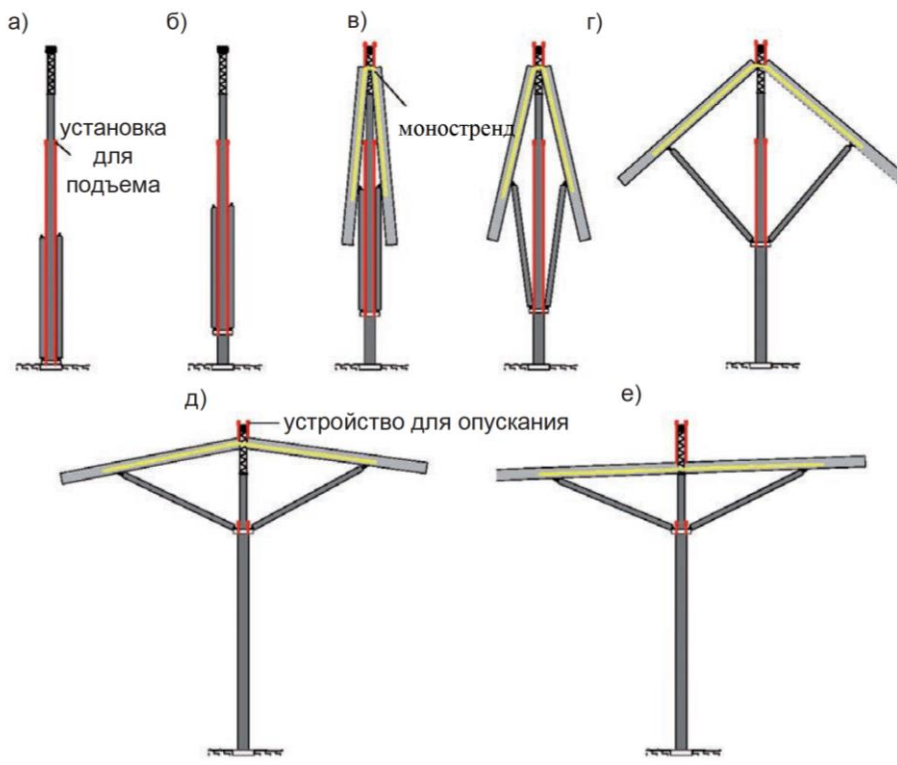


Рисунок 1. Этапы строительства моста
Зальцах мост через реку Зальц в Голлинге, Австралия [5]

Figure 1. Construction stages of the bridge
Salzach bridge across the Saltz River in Golling, Austria [5]

2. Особенности возведения ЗОНТИЧНЫХ МОСТОВ МАЛОЙ ВЫСОТНОСТИ

2. Construction peculiarities of low tallness bridges with the balanced lowering method

В феврале 2020 года технологию раскладного моста — «зонтика» применили при возведении двух мостов с невысокими опорами на трассе S7 Фюрстенфельд, Австралия [4]. Районы, где предполагалось строительство, располагались в природоохранной зоне заповедника «Натура 2020». Во избежание посягательств на естественную среду строительная площадка должна была быть как можно меньшей.

Длина мостового перехода через реку Ланбах составила около 100 м, через Лафниц — 116 м. Высота около 10 м.

Рассматривалось два варианта технологии возведения моста. Первый заключался в уравновешенно-подвесном монтаже пролетного строения. Так как мост располагался в природоохранной зоне, то устройство временных опор было недопустимо, а для восприятия изгибающих моментов высота поперечного сечения пролетного строения должно быть большой — 4,6 м (рис. 2).

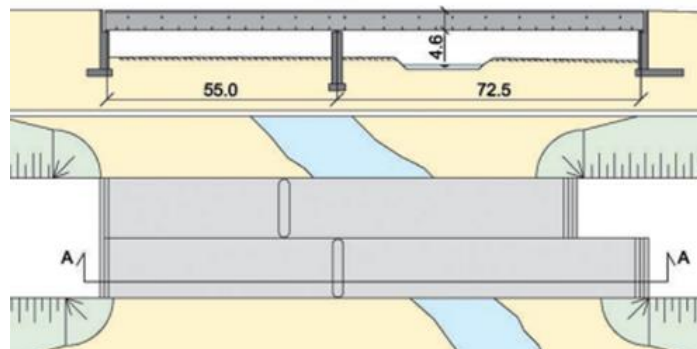


Рисунок 2. Первый вариант моста через реку Лафниц [1]

Figure 2. The first version of the bridge over the river Lafnitz

Второй вариант — использование складного моста, предполагает наличие распорки. Распорка значительно уменьшает пролет и позволяет принять меньшую высоту поперечного сечения балки, равную 2 м. Предполагалось построить центральную часть моста методом складного моста, а для установки крайних секций использовать метод уравновешенного подъема. Для обеспечения лучшего прохода оленей внутри заповедника, было принято решение сместить центральные опоры относительно продольной оси моста. Это изменение привело к конструкции моста с двумя равными пролетами (рис. 3).

Поперечное сечение подходящей к мосту автомагистрали было рассчитано под две проезжих части на двух отдельно возведенных мостах шириной 14,0 м каждый.

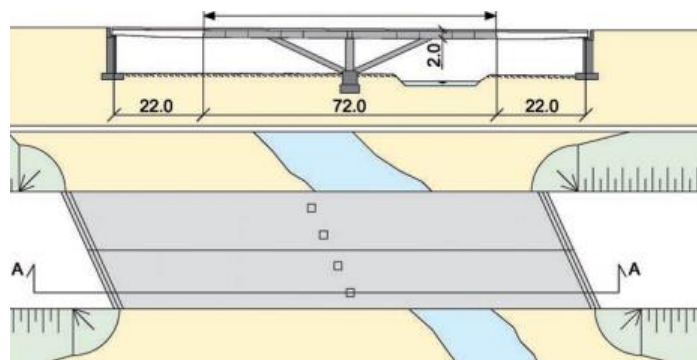


Рисунок 3. Второй вариант моста через реку Лафниц [1]

Figure 3. The second version of the bridge over the river Lafnitz

При этом 12,0 м — ширина проезжей части, 1,25 м высота перильного ограждения [4]. Поперечное сечение пролетного строения моста показано на рисунке 4, где расстояние между осями продольных балок составило 8 м.

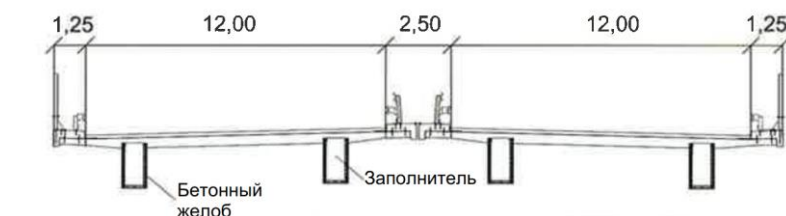


Рисунок 4. Сечение моста через реку Лафниц по проекту с использованием технологии раскладного моста «зонтика» [4]

Figure 4. Cross-section of the bridge over the Lafnitz River according to the project using the balanced lowering method technology

Технология строительства зонтичного моста состоит из нескольких этапов.



Рисунок 5. Первый этап строительства моста через реку Ланбах, Австрия

Figure 5. The first construction stage of a bridge across the Lahnbach River, Austria

Источник / Source: <https://www.betonbau.tuwien.ac.at/forschung/aktuelle-forschungsprojekte/fotogalerie-gars-am-kamp/>

Первый этап включает такие работы как: разработка котлована, устройство опалубки и арматурного каркаса, бетонирование ростверка и тела опоры (рис. 5).

Далее устанавливается вспомогательная опора (рис. 6), которая представляет собой две секции СВСУ (сложные вспомогательные сооружения и устройства), расположенные по обе стороны от опоры и соединенных платформой сверху и непосредственно с фундаментом.



*Рисунок 6. Монтаж секций
вспомогательной опоры моста через реку Ланбах, Австрия*

*Figure 6. Installation of auxiliary
support sections of the bridge over the Lahnbach River, Austria*

Источник / Source: <https://www.betonbau.tuwien.ac.at/forschung/aktuelle-forschungsprojekte/fotogalerie-gars-am-kamp/>

В качестве направляющей для монострендов выступает В-образный стальной профиль, закрепленный по середине на каждой секции СВСУ (рис. 7).



Рисунок 7. Направляющие для монострендов

Figure 7. Guides for monostrands

Источник / Source: <https://docplayer.org/132513009-S7-fuerstenfelder-schnellstrasse-umsetzung-des-brueckenklappverfahrens.html>

После устройства секций СВСУ устраивается узел А (рис. 8). Стык в узле А состоит из стальных пластин толщиной 30 мм, залитых в фундамент, которые соединялись металлическим валом диаметром 150 мм. Такая конструкция позволяла соединению работать как шарнир.



Рисунок 8. Узел А

Figure 8. Node A

Источник / Source: <https://www.betonbau.tuwien.ac.at/forschung/aktuelle-forschungsprojekte/fotogalerie-gars-am-kamp/>

В узел А монтируются распорки в вертикальном положении (рис. 9). Распорки, как и балки будущего пролетного строения, выполняются из тонкостенных сборных элементов со стальной арматурой и изначально являются полами. Это уменьшает вес монтируемых элементов. Толщина боковых стенок составляет 70 мм, толщина нижней стенки — 100 мм.



Рисунок 9. Монтаж распорки через реку Ланбах, Австрия

Figure 9. Braces installation across the Lahnbach River, Austria

Источник / Source: <https://www.betonbau.tuwien.ac.at/forschung/aktuelle-forschungsprojekte/fotogalerie-gars-am-kamp/>

На втором этапе монтируются балки пролетного строения и арматура A1 и A2, которая воспринимает изгибающие моменты в балке моста во время и после процесса раскладывания (рис. 10).

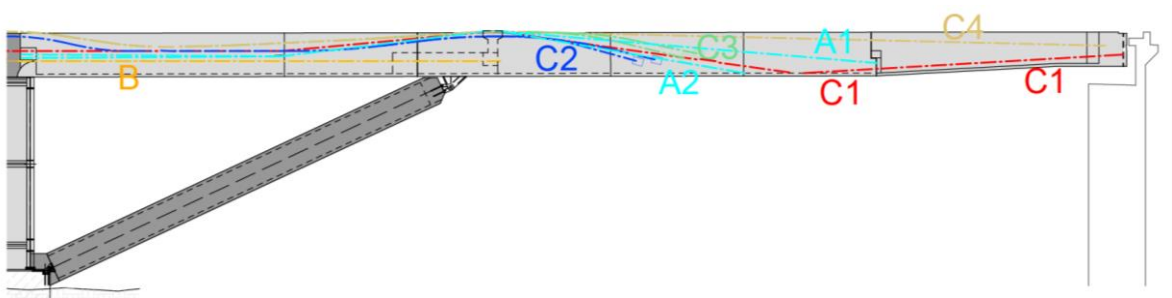


Рисунок 10. Расположение арматуры в балке пролетного строения [7]

Figure 10. Reinforcement arrangement in the span beam [7]

Балки пролетного строения имеют поперечное сечение в виде перевернутых П-образных тонкостенных сборных элементов [11–16]. Толщина боковых стенок составляет 70 мм, толщина нижней стенки — 120 мм. (рис. 11). Ширина балок варьируется от 1 до 2 метров. Максимальная ширина приходится на зону сопряжения балок с распорками. Сборные элементы монтируются краном и прикрепляются к СВСУ с помощью натяжных ремней (с допустимым растягивающим усилием 100 кН).

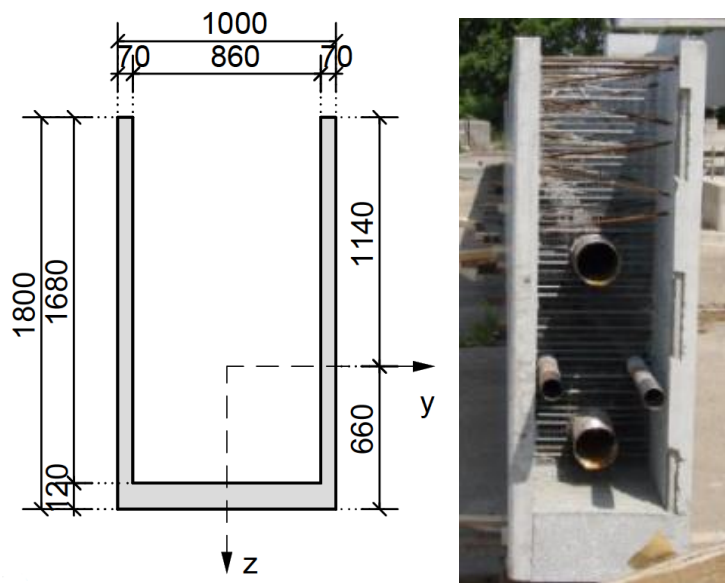


Рисунок 11. Поперечное сечение балки [13; 15]

Figure 11. Cross-section of the beam [13; 15]

При строительстве моста через реку Ланбах балка монтировалась в ее полноразмерном состоянии. А вот из-за стеснённых условий строительной площадки на реке Лафниц балку длиной 35,5 м пришлось разделить на две части длиной 19 и 16,5 м (рис. 12) [3]. Эти части балки были соединены 20-миллиметровым швом из высокопрочного раствора и

четырьмя монострендами, которые воспринимают растягивающие напряжения, возникающие в шве.



Рисунок 12. Монтаж балок башенным краном при строительстве на р. Ланбах, Австрия

Figure 12. Beams installation with a tower crane during construction on the river. Lahnbach, Austria

Источник / Source: <https://www.betonbau.tuwien.ac.at/forschung/aktuelle-forschungsprojekte/fotogalerie-gars-am-kamp/>

Узел крепления распорки к балке моста был выполнен из пластин (рис. 13). Крепление осуществлялось четырьмя болтами 16 мм. Несмотря на то, что цилиндрические отверстия в соединительных стальных пластинах имели допуск всего 1 мм, операция сборки прошла без каких-либо проблем.



Рисунок 13. Соединение балки моста с распоркой

Figure 13. Connecting a bridge beam to a brace

Источник / Source: <https://www.betonbau.tuwien.ac.at/forschung/aktuelle-forschungsprojekte/fotogalerie-gars-am-kamp/>

На третьем этапе устанавливаются тросовые домкраты на площадке, расположенной на верхнем конце опоры, направляющие же тросовых домкратов размещаются наверху площадки СВСУ. Перед началом фактического опускания, 16 монострендов ($\text{Ø}26$ мм) устанавливаются в узлах В (рис. 10) и затягиваются с помощью динамометрического ключа (рис. 14).

Половина из них проходит прямо от одного узла В к другому через узел С (на рисунке 15, показаны желтым цветом), другая половина спускается по направляющей, прикрепленной к СВСУ, к гидравлическому домкрату (на рисунке 15, показаны красным цветом). Таким образом моностренды типа В воспринимают растягивающие усилия во время процесса разворота балок.



Рисунок 14. Подготовительные работы перед разворотом конструкции на р. Ланбах, Австрия

Figure 14. Preliminary works before developing the structure on the river. Lahnbach, Austria

Источник / Source: <https://www.betonbau.tuwien.ac.at/forschung/aktuelle-forschungsprojekte/fotogalerie-gars-am-kamp/>

Процесс раскладывания запускается гидравлическими прессами в узле В под действием горизонтальной силы 20 кН. Процесс опускания контролируется тросовыми домкратами, и мост равномерно поворачивается в конечное положение (рис. 16).

На последнем этапе раскладывания геометрия балки корректируется за счет разгрузки и нагружения соединительного узла В. После того как «раскрытие зонтика» завершено с опор методом уравновешенного

подъёма монтируются крайние секции балки, с рабочей арматурой типа С1-С4 (рис. 10).

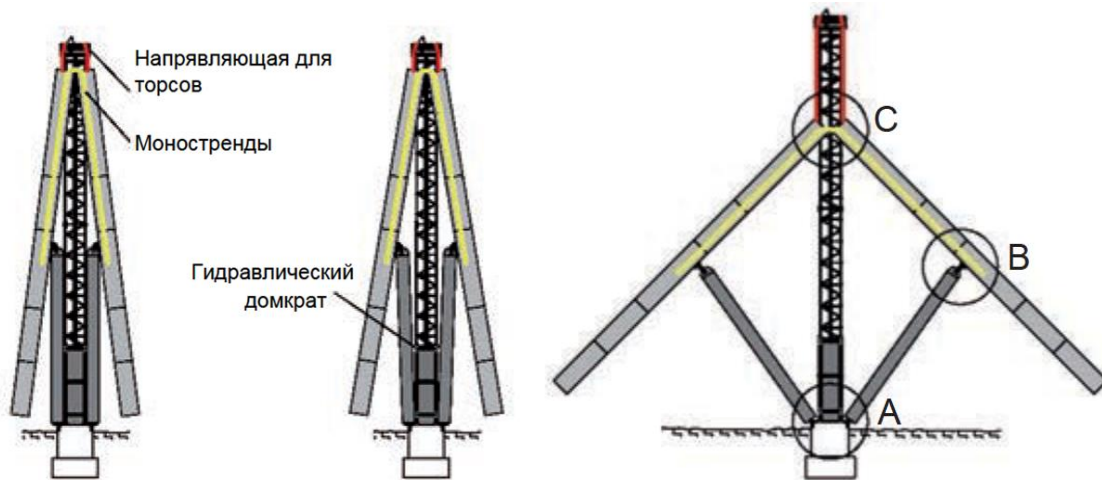


Рисунок 15. Схема процесса опускания [1]

Figure 15. Scheme of the lowering process [1]



Рисунок 16. Разворот конструкции на р. Лафниц, Австралия¹

Figure 16. Structure development on the river. Lafnitz, Austria¹

Арматура типа С1-С4 воспринимает изгибающие моменты, возникающие при спуске подвесной балки, а также воспринимает моменты в окончательном состоянии конструкции.

При достижении желаемого горизонтального положения балок моста подвижные узлы, подкосы и балки моста бетонируются поэтапно. Чтобы иметь возможность воспринимать силы, возникающие от дополнительных нагрузок, они подвергаются предварительному напряжению, с помощью временных вант.

¹ Fuchs K. Gassner G. Diplomarbeit. Vergleich von Brückenklappverfahren und Freivorbauverfahren am Beispiel der Talbrücke San Leonardo // Technische Universität Wien — 2016. — S. 74.

Для закрепления окончательной геометрии узлы А и С омоноличиваются. Следом бетонируется распорка, балка и узел В (рис. 17) [7].

Как только бетон затвердевает, временные ванты демонтируют. Этапы строительства повторяются для следующих трех опор. Процесс сборки и складывания занял в общей сложности четыре дня [6].

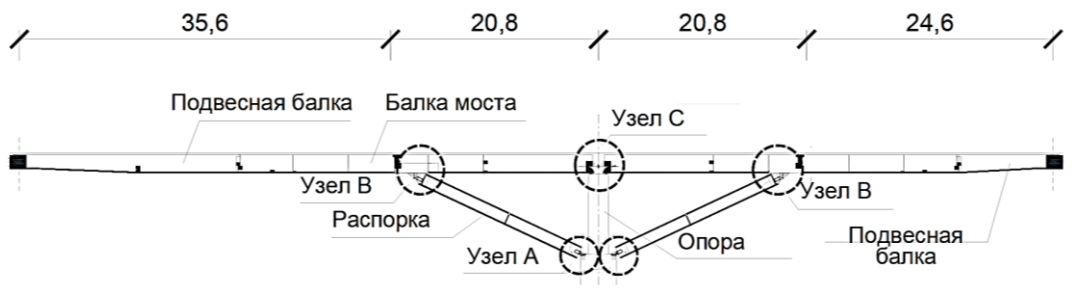


Рисунок 17. Схема узлов зонтичного моста [7]

Figure 17. Nodes scheme of the bridge with the balanced lowering method [7]

В конечном итоге пролетное строение образовывается за счет объединения мостовых балок с железобетонной плитой проезжей части. Плита проезжей части этих мостов была изготовлена с использованием подмостей, установленных на продольные балки, с подвешенной к ним опалубкой [17]. Подмости в свою очередь устанавливаются на опалубочные стулья и перемещаются по ним (рис. 18).



Рисунок 18. Бетонирование проезжей части на р. Ланбах, Австрия [12]

Figure 18. roadway embedding on the river. Lahnbach, Austria [12]

Бетонирование конструкции не занимает много времени, так как из процесса исключаются опалубочные работы, элементом опалубки является сама конструкция.

3. Лабораторные исследования

3. Laboratory research

Мосты, которые строятся с использованием «зонтичной» технологии, требуют точного анализа и контроля на всех этапах строительства, и в особенности во время бетонирования. Различный возраст бетона отдельных составляющих элементов (сборные элементы намного старше и жестче, чем монолитный бетон) приводит к тому, что возникающее в результате перераспределение напряжений из-за ползучести должно быть тщательно изучено.

Для изучения этого процесса осенью 2010 года была изготовлена 30-метровая испытательная балка, поперечное сечение которой составляло 70% ширины и 80 % высоты балок моста S7.22 через Ланбах (рис. 19) [8–10].



Рисунок 19. Испытательная установка [9]

Figure 19. Testing plant [9]

Продольный разрез 30-метровой испытываемой балки показан на рисунке 20. Сама балка состоит из трех частей, соединенных вместе. На концах имеются массивные перекладины шириной 3,0 м, высотой 1440 мм и толщиной 700 мм. Испытываемая балка в поперечном сечении представляло собой перевернутый П-образный тонкостенный желоб, толщина боковых стенок которого 70 мм, а нижней стенки — 120 мм.

Чтобы бетонный заполнитель мог воспринимать нагрузку, балка должна подвергаться предварительному напряжению поэтапно, в зависимости от количества заполнителя [19].



Рисунок 20. Продольный разрез испытываемой балки [18]

Figure 20. Longitudinal section of the tested beam [18]

Приложение усилий предварительного напряжения осуществлялось через моностренды, заделанные в поперечной балке. Последовательность этапов изготовления испытываемой балки приведена в таблице 1.

Таблица 1 / Table 1

Последовательность этапов изготовления испытываемой балки [8]
Manufacturing steps sequence for the test beam [8]

День наблюдения Observation Day	Время Time	Событие Event
1		Изготовление П-образной тонкостенной испытательной балки Production of a U-shaped thin-walled test beam
29		Три части испытательной конструкции: поперечная балка, и две части испытательной балки доставлены на место проведения испытания. Швы между отдельными частями испытываемого образца были соединены слоем высокопрочного раствора толщиной 20 мм Three parts of the test structure: a cross beam, and two parts of the test beam were delivered to the test site. The seams between the individual parts of the test specimen were connected with a layer of high-strength mortar 20 mm thick
30		Создание предварительного натяжения двумя 19-прядными монострендами усилием до P = 1500 кН Pre-tensioning with two 19-strand monostrands up to P = 1500 kN
31	11:05	Увеличение натяжения до P = 2500 кН Tension increase up to P = 2500 kN
	11:10	Бетонирование первого слоя бетона Concreting of the first layer of concrete
	11:34	Увеличение натяжения до P = 3000 кН Tension increase up to P = 3000 kN
	12:00	Бетонирование второго бетонного слоя Embedding of the second concrete layer
	12:10	Бетонирование успешно завершено Embedding completed successfully
32	9:50	Увеличение натяжения до P = 4500 кН Tension increase up to P = 4500 kN
	10:25	Бетонирование третьего слоя бетона Embedding of the third layer of concrete
	10:38	Бетонирование третьего слоя бетона завершено Embedding of the third concrete layer is completed
	10:46	Увеличение натяжения до P = 5300 кН Tension increase up to P = 5300 kN
	11:25	Бетонирование четвертого слоя бетона Embedding of the fourth layer of concrete
	11:40	Бетонирование успешно завершено Embedding completed successfully

Сжатие бетона испытываемого образца измерялось непрерывно в течение первых шести месяцев после изготовления (с октября 2010 г. по май 2011 г.), а затем в течение трех лет (с мая 2014 г. по май 2017 г.) с помощью экстензометра с длиной базы измерения 500 мм [18]. Точки измерения были отмечены на нижней поверхности балки, на теоретической оси стержня. Усредненные значения деформаций сжатия бетона в средней части балки показаны на рисунке 21 (жирная красная линия). Серые линии показывают коридор разброса результатов измерений в результате температурного расширения.

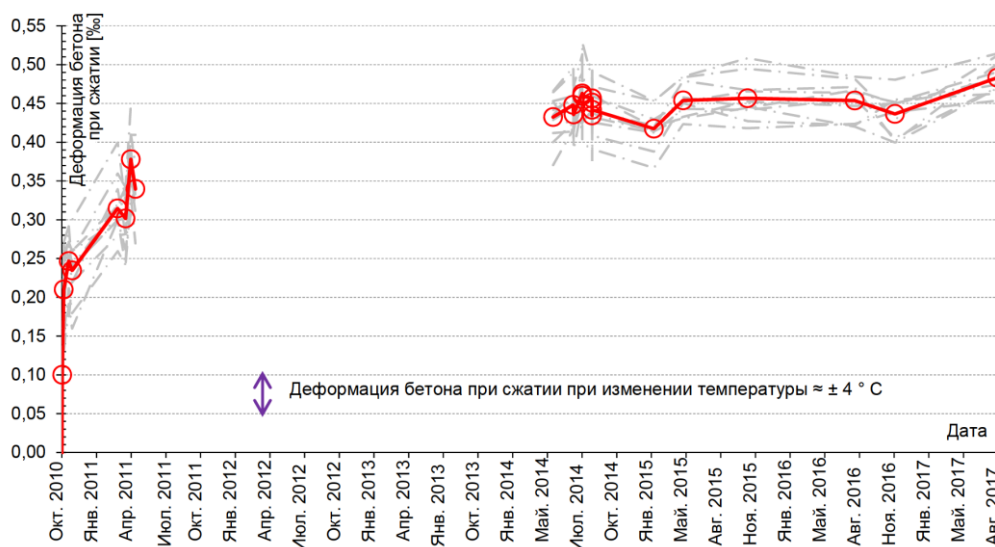


Рисунок 21. Измерения деформаций бетона при сжатии [8]

Figure 21. Measurements of concrete deformations in compression [8]

Измеренные деформации бетона 30-метровой балки сравнивались с расчетами по трем независимым программам. Наилучшая корреляция результатов измерений с результатами расчета была достигнута при использовании методики TDA.

TDA (Time Discretization Analysis) — это общая численная методика пошагового анализа во времени, которая подходит для анализа эффектов, зависящих от времени. Методика TDA позволяет рассчитать изменение прочности бетона на каждом этапе строительства с учетом различного возраста бетона отдельных элементов, внешних нагрузок, а также влияния температурного расширения и ползучести бетона.

При использовании методики TDA в этом конкретном случае необходимо было рассчитать 187 500 значений ползучести, которые затем использовались в ходе расчета [18].

4. Область применения

4. Scope of application

Использование «зонтичной» технологии особенно выгодно для высотного строительства инженерных сооружений. Если строить виадуки методом продольной надвигки в сочетании с конвейерно-тыловой сборкой, то при монтаже пролетного строения возникают высокие изгибающие моменты при надвигке. Устройство высоких временных опор и их демонтаж приводят к увеличению сроков строительства, иным вариантом восприятия этих изгибающих моментов является увеличение поперечного сечения несущих конструкций пролетного строения.

Применение «зонтичной» технологии сооружения мостов позволяет отказаться от сооружения временных опор, а также назначать меньшую высоту поперечного сечения несущих элементов.

Технически целесообразная область применения технологии будет составлять от 50 м до 150 м для главного пролета.

Строительство мостов с использованием этой технологии также будет экономически выгодно при строительстве транспортных сооружений через широкие долины с переменным и крутым рельефом местности (рис. 22–24) из-за экономии на устройстве рабочих площадок под опоры и временных опор.

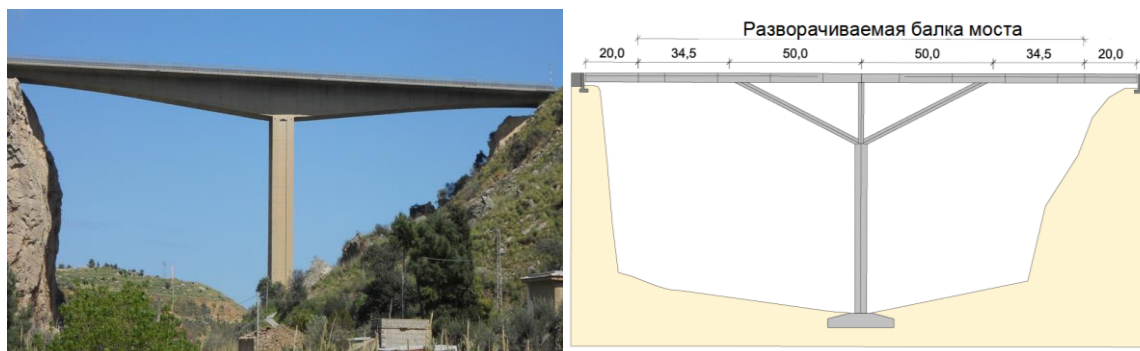


Рисунок 22. Виадук и его альтернативный вид

Figure 22. Viaduct and its alternative view

Источник / Source: https://www.betonbau.tuwien.ac.at/fileadmin/mediapool-betonbau/Diverse/Forschung/Br%C3%BCckenklappen/Technology_Offer_Deutsch.pdf

Технически целесообразная область применения этой технологии в горной местности будет составлять от 100 м до 250 м для главного пролета.

Невысокие мосты зонтичного типа можно использовать для устройства переправ через неширокие, глубокие реки, тем самым исключив необходимость возведения опор в воде, с дорогостоящими работами по возведению понтонов или кессонов (рис. 25).



Рисунок 23. Вариант схемы зонтичного моста через долину

Figure 23. A variant of the bridge with the balanced lowering method scheme across the valley

Источник / Source: https://www.betonbau.tuwien.ac.at/fileadmin/mediapool-betonbau/Diverse/Forschung/Br%C3%BCckenklappen/Technology_Offer_Deutsch.pdf



Рисунок 24. Вариант схемы зонтичного моста через долину

Figure 24. A variant of the bridge with the balanced lowering method scheme across the valley

Источник / Source: <https://docplayer.org/132513009-S7-fuerstenfelder-schnellstrasse-umsetzung-des-brueckenklappverfahrens.html>

Технически целесообразная область применения в данном случае будет составлять от 50 м до 100 м для главного пролета.

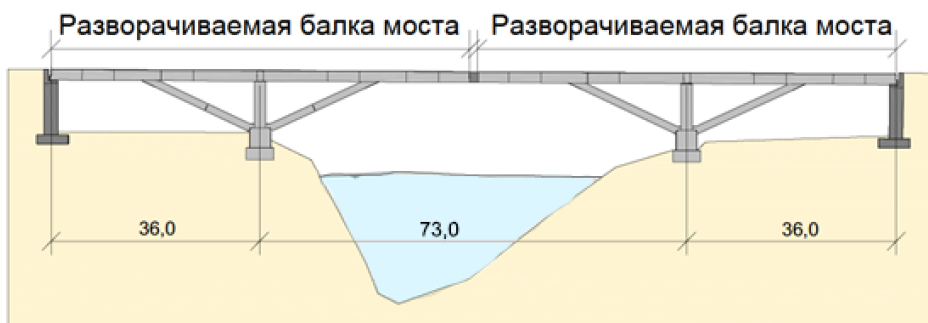


Рисунок 25. Примерная схема зонтичного моста через реку

Figure 25. Approximate diagram of an bridge with the balanced lowering method over a river

Источник / Source: https://www.betonbau.tuwien.ac.at/fileadmin/mediapool-betonbau/Diverse/Forschung/Br%C3%BCckenklappen/Technology_Offer_Deutsch.pdf

Небольшие требования к пространству строительной площадки позволяют использовать «зонтичную» технологию в стесненных условиях строительства. Высокая скорость строительства делает эту технологию особенно эффективной при строительстве путепроводов над железнодорожными путями или над действующими оживленными автомагистралями, где прерывание транспортных потоков должно быть сведено к минимуму (рис. 26).



Рисунок 26. Примерная схема зонтичного моста через автомагистраль (составлено авторами)

Figure 26. Approximate diagram of an bridge with the balanced lowering method across the highway (compiled by the authors)

Площадь строительной площадки в этом случае назначается в соответствии с рабочей зоной мобильного крана и размерами площадки складирования балок пролетного строения. Причем, как было отмечено выше, балку и распорку пролетного строения можно разбить на несколько блоков. Это, конечно, усложнит технологический процесс и увеличит срок строительства за счет выдерживания технологических перерывов в работе для схватывания и твердения раствора в швах между составными блоками балок, но такое решение значительно уменьшит зону работы крана.

Если рассматривать случай, когда под новым путепроводом пролегает скоростная автомагистраль федерального значения, то остановка или частичное ограничение движение зачастую является дорогостоящей и может даже нереализуемой операцией. В таком случае единственным вариантом является устройство временной дороги для переноса движения. Трудоемкость устройства временной дороги и последующего возведения путепровода в сравнении с использованием «зонтичной» технологии для создания путепровода намного выше.

Автомагистраль при применении «зонтичной» технологии сооружения путепровода придется закрывать всего на 4 часа на время разворота конструкции. Если запланировать разворот в ночное время суток, когда интенсивность движения меньше, то вмешательство в транспортную инфраструктуру будет сведено к минимуму.

Выводы

Conclusions

После рассмотрения «зонтичной» технологии сооружения мостов и путепроводов можно выделить следующие ее преимущества:

- малое поперечное сечение несущей конструкции и, как следствие, экономия материала за счет использования распорок для уменьшения пролета;
- сокращение сроков строительства за счет использования сборных деталей, которые так же являются несъёмной опалубкой;
- ограниченная площадь строительной площадки у опоры моста или путепровода;
- экономическая эффективность процесса;
- возможность строительства в стеснённых условиях, вызванными любыми факторами.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Kollegger, J.** Building bridges using the balanced lift method / J. Kollegger, S. Foremniak, D. Suza, D. Wimmer, S. Gmainer. — DOI <https://doi.org/10.1002/suco.201400024> // Structural Concrete. — 2014. — Т 15. — № 3. — С. 281–291. — URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/suco.201400024> (дата обращения: 10.09.2021).
2. **Kollegger, J.** Balanced Lift Method for Bridge Construction / J. Kollegger, S. Blail. — DOI <https://doi.org/10.2749/101686608785096441> // Structural Engineering International. — 2008. — Т 18. — № 3. — С. 283–289. — URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.2749/101686608785096441> (дата обращения: 10.09.2021).
3. **Kollegger, J.** Entwicklung und erste Anwendung des Brückenklappverfahrens [Разработка и первое применение метода складывания моста] / J. Kollegger, D. Suza, C. Proksch-Weilguni, W. Träger. — DOI <https://doi.org/10.1002/best.202000010> // Beton- und Stahlbetonbau. — 2020. — Т 115. — № 7. — С. 484–494. — URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/best.202000010> (дата обращения: 26.08.2021). — (На нем. яз.).
4. **Kollegger, J.** Egg-Graben-Brücke, Wildbrücke AM2, Lafnitzbrücke — Anwendung von neuen Bauverfahren für Brücken in Österreich [Эгг-Грабен-Бридж, Вильдбрюке AM2, Лафницбрюке — Применение новых методов строительства мостов в Австрии] / J. Kollegger, S. Foremniak, B. Kromoser // 25. Dresdner Brückenbausymposium. Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken (9/10. März 2015) / Дрезден, Германия: Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden, 2015. — С. 193–214. — URL: https://www.researchgate.net/publication/319328643_Egg-Graben-Bruecke_Wildbruecke_AM2_Lafnitzbruecke_-_Anwendung_von_neuen_Bauverfahren_fur_Bruecken_in_Oesterreich (дата обращения: 03.09.2021). — (На нем. яз.).
5. **Scholz, U.** Neubau der ÖBB-Salzachbrücke — ein innovatives, einzigartiges Ingenieurbauwerk in Salzburg [Строительство моста ÖBB Salzach Bridge — уникального инновационного инженерного сооружения в Зальцбурге] / U. Scholz, R. Fila, J. Fink. — DOI <https://doi.org/10.1002/stab.200710075> // Stahlbau. — 2007. — Т 76. — № 10. — С. 700–709. — URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/stab.200710075> (дата обращения: 10.09.2021). — (На нем. яз.).

6. **Fasching, S.** Semi-precast segmental bridges: Development of a new construction method using thin-walled prefabricated concrete elements / S. Fasching, T. Huber, M. Rath, J. Kollegger. — DOI <https://doi.org/10.1002/suco.202000474> // Structural Concrete. — 2021. — Т 22. — № 3. — С. 1561–1573. — URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/suco.202000474> (дата обращения: 15.09.2021).
7. **Kollegger, J.** Neubau der ÖBB-Salzachbrücke ein innovatives, einzigartiges Ingenieurbauwerk in Salzburg [Строительство моста ÖBB Salzach, инновационного, уникального инженерного сооружения в Зальцбурге] / J. Kollegger, S. Blail // Zement und Beton. — 2008. — № 5. — С. 18–19. — (На нем. яз.).
8. **Kollegger, J.** Erfahrungsbericht aus Österreich über die Anwendung von neuen Bauverfahren im Brückenbau [Полевой отчет из Австрии об использовании новых методов строительства при строительстве мостов] / J. Kollegger, B. Kromoser, B. Eichwalder // 29. Dresdner Brückenbausymposium. Planung, bauausführung, instandsetzung und ertüchtigung von brücken 11/12. März 2019 / Дрезден, Германия: Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden, 2019. — С. 73–84. — URL: https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/ressourcen/dateien/veranstaltungen/dbbs/29_dbbs/DBBS2019_06-Kollegger.pdf?lang=de (дата обращения: 15.09.2021). — (На нем. яз.).
9. **Blail, S.** Feldversuche mit dem Brückenklappverfahren [Полевые испытания метода складывания моста] / S. Blail, J. Kollegger. — DOI <https://doi.org/10.1002/best.200800657> // Beton- und Stahlbetonbau. — 2009. — Т 104. — № 2. — С. 97–104. — URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/best.200800657> (дата обращения: 15.09.2021). — (На нем. яз.).
10. **Kollegger, J.** Das Brückenklappverfahren für die Herstellung von Talbrücken, Behelfsbrücken und Hubbrücken [Процесс складывания мостов для строительства долинных мостов, временных мостов и подъемных мостов] / J. Kollegger, S. Burtscher, H. Pardatscher // Zement und Beton. — 2002. — № 3. — С. 27–31. — (На нем. яз.).
11. **Fasching, S.** Building box girder bridges using thin-walled pre-fabricated elements / S. Fasching, S. Maier, J. Kollegger // fib Symposium 2019 — Concrete — innovations in materials, design and structures / Краков, Польша: Fédération Internationale du Béton, 2019. — С. 1315–1322. — URL: https://publik.tuwien.ac.at/files/publik_279861.pdf (дата обращения: 15.09.2021).
12. **Kollegger, J.** Building Bridges using Thin-walled Pre-fabricated Elements / J. Kollegger, S. Fasching. — DOI <https://doi.org/10.2749/nantes.2018.s17-73> // IABSE Symposium: Tomorrow's Megastructures, Nantes, France, 19–21 September 2018 / Нант, Франция: IABSE, 2018. — С. S17–73. — URL: <https://structurae.net/en/literature/conference-paper/building-bridges-using-thin-walled-pre-fabricated-elements> (дата обращения: 15.09.2021).
13. **Kollegger, J.** Balanced Lift Method—A New Bridge Construction Technique / J. Kollegger, S. Foremniak. — DOI https://doi.org/10.1007/978-3-319-19785-2_10 // Developments in International Bridge Engineering. Springer Tracts on Transportation and Traffic, vol 9 / Кам: Springer, 2013. — С. 121–131. — URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-19785-2_10 (дата обращения: 15.09.2021).
14. **Preinstorfer, P.** A new construction method for double wall elements made of UHPC / P. Preinstorfer, J. Kollegger // fib Symposium 2016 — Performance-based approaches for concrete structures / Кейптаун, Южная Африка: Fédération Internationale du Béton, 2016. — С. 10. — URL: https://www.researchgate.net/publication/318013374_A_new_construction_method_for_double_wall_elements_made_of_UHPC (дата обращения: 15.09.2021).
15. **Kollegger, J.** Brückenerrichtung mittels leichten dünnwandigen Teilfertigteilträgern aus Beton [Строительство мостов с использованием легких тонкостенных частично сборных железобетонных балок] / S. Reichenbach, J. Kollegger // BetonWerk International. — 2016 — № 2. — С. 2–6. — URL: https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_250896.pdf (дата обращения: 15.09.2021). — (На нем. яз.).
16. **Preinstorfer, P.** Development of prestressed T-beams made of textile reinforced UHPC / P. Preinstorfer, B. Kromoser, J. Kollegger. — DOI <https://doi.org/10.2749/vancouver.2017.3130> // IABSE Symposium: Engineering the Future, Vancouver, Canada, 21–23 September 2017 / Ванкувер, Канада: IABSE, 2017. — С. 3130–3135. — URL: <https://structurae.net/en/literature/conference-paper/development-of-prestressed-t-beams-made-of-textile-reinforced-uhpc> (дата обращения: 15.09.2021).

17. **Kollegger, J.** Innovative Method for the Production of Deck Slabs of Steel-concrete- Composite Bridges / J. Kollegger, K. Fuchs. — DOI <https://doi.org/10.2749/nantes.2018.s5-223> // IABSE Symposium: Tomorrow's Megastructures, Nantes, France, 19–21 September 2018 / Нант, Франция: IABSE, 2018. — С. S5–223. — URL: <https://structurae.net/en/literature/conference-paper/innovative-method-for-the-production-of-deck-slabs-of-steel-concrete-composite-bridges> (дата обращения: 03.09.2021).
 18. **Suza, D.** Comparison of real and theoretical creep strains of large concrete specimens during changing environment conditions / D. Suza, J. Kollegger, H. Müller // fib Symposium 2019 — Concrete — innovations in materials, design and structures / Краков, Польша: Fédération Internationale du Béton, 2019. — С. 738–745. — URL: <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000095827> (дата обращения: 03.09.2021).
 19. **Kollegger, J.** Ultimate strength of curved strand tendons / J. Kollegger, S. Gmainer, K. Lehner, J. Simader. — DOI <https://doi.org/10.1002/suco.201100027> // Structural Concrete. — 2012. — Т 13. — № 1. — С. 42–50. — URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/suco.201100027> (дата обращения: 03.09.2021).
-

Сведения об авторах:

Доронина Александра Ивановна — магистрант базовой кафедры АО «Мостострой-11», ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия, e-mail: sanya.doronina.98@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2135-7311>

Валиев Шерали Назаралиевич — кандидат технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Москва, Россия, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия, e-mail: mosti.madi@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6326-2233>

Статья получена: 23.04.2022. Принята к публикации: 24.05.2022. Опубликовано онлайн: 07.06.2022.

REFERENCES

1. Kollegger J., Foremniak S., Suza D., Wimmer D., Gmainer S. Building bridges using the balanced lift method. *Structural Concrete*. 2014; 15(3): 281–291. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1002/suco.201400024>.
2. Kollegger J., Blail S. Balanced Lift Method for Bridge Construction. *Structural Engineering International*. 2008; 18(3): 283–289. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.2749/101686608785096441>.
3. Kollegger J., Suza D., Proksch-Weilguni C., Träger W. Entwicklung und erste Anwendung des Brückenklappverfahrens [Development and first application of the bridge folding method]. *Beton- und Stahlbetonbau*. 2020; 115(7): 484–494. (In German) DOI: <https://doi.org/10.1002/best.202000010>.
4. Kollegger J., Foremniak S., Kromoser B. Egg-Graben-Brücke, Wildbrücke AM2, Lafnitzbrücke — Anwendung von neuen Bauverfahren für Brücken in Österreich [Egg-Graben-Bridge, Wildbrücke AM2, Lafnitzbrücke — Application of new construction methods for bridges in Austria]. In: *25. Dresdner Brückenbausymposium. Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken (9/10. März 2015)*. Dresden, Germany: Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden; 2015. p. 193–214. Available at: https://www.researchgate.net/publication/319328643_Egg-Graben-Bruecke_Wildbruecke_AM2_Lafnitzbruecke_-_Anwendung_von_neuen_Bauverfahren_fur_Bruecken_in_Oesterreich (accessed 3rd September 2021). (In German).
5. Scholz U., Fila R., Fink J. Neubau der ÖBB-Salzachbrücke — ein innovatives, einzigartiges Ingenieurbauwerk in Salzburg [New construction of the ÖBB Salzach Bridge — an innovative, unique engineering structure in Salzburg]. *Stahlbau*. 2007; 76(10): 700–709. (In German) DOI: <https://doi.org/10.1002/stab.200710075>.
6. Fasching S., Huber T., Rath M., Kollegger J. Semi-precast segmental bridges: Development of a new construction method using thin-walled prefabricated concrete elements. *Structural Concrete*. 2021; 22(3): 1561–1573. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1002/suco.202000474>.
7. Kollegger J., Blail S. Neubau der ÖBB-Salzachbrücke ein innovatives, einzigartiges Ingenieurbauwerk in Salzburg [New construction of the ÖBB Salzach bridge, an innovative, unique engineering structure in Salzburg]. *Zement und Beton*. 2008; (5): 18–19. (In German).
8. Kollegger J., Kromoser B., Eichwalder B. Erfahrungsbericht aus Österreich über die Anwendung von neuen Bauverfahren im Brückenbau [Field report from Austria on the use of new construction methods in bridge construction]. In: *29. Dresdner Brückenbausymposium. Planung, bauausführung, instandsetzung und ertüchtigung von brücken 11/12. März 2019*. Dresden, Germany: Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden; 2019. p. 73–84. Available at: https://tu-dresden.de/bu/bauingenieurwesen/imb/ressourcen/dateien/veranstaltungen/dbbs/29_dbbs/DBBS2019_06-Kollegger.pdf?lang=de (accessed 15th September 2021). (In German).
9. Blail S., Kollegger J. Feldversuche mit dem Brückenklappverfahren [Field trials with the bridge folding method]. *Beton- und Stahlbetonbau*. 2009; 104(2): 97–104. (In German) DOI: <https://doi.org/10.1002/best.200800657>.
10. Kollegger J., Burtscher S., Pardatscher H. Das Brückenklappverfahren für die Herstellung von Talbrücken, Behelfsbrücken und Hubbrücken [The bridge folding process for the construction of valley bridges, temporary bridges and lifting bridges]. *Zement und Beton*. 2002; (3): 27–31. (In German).
11. Fasching S., Maier S., Kollegger J. Building box girder bridges using thin-walled pre-fabricated elements. In: *fib Symposium 2019 — Concrete — innovations in materials, design and structures*. Kraków, Poland: Fédération Internationale du Béton; 2019. p. 1315–1322. Available at: https://publik.tuwien.ac.at/files/publik_279861.pdf (accessed 15th September 2021). (In Eng.).
12. Kollegger J., Fasching S. Building Bridges using Thin-walled Pre-fabricated Elements. In: *IABSE Symposium: Tomorrow's Megastructures, Nantes, France, 19–21 September 2018*. Nantes, France: IABSE; 2018. p. S17–73. Available at: <https://structurae.net/en/literature/conference-paper/building-bridges-using-thin-walled-pre-fabricated-elements> (accessed 15th September 2021). (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.2749/nantes.2018.s17-73>.

13. Kollegger J., Foremniak S. Balanced Lift Method — A New Bridge Construction Technique. In: Caner, A., Gülkan, P., Mahmoud, K. (eds). *Developments in International Bridge Engineering. Springer Tracts on Transportation and Traffic, vol 9*. Cham: Springer; 2013. p. 121–131. Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-19785-2_10 (accessed 15th September 2021). (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-19785-2_10.
14. Preinstorfer P., Kollegger J. A new construction method for double wall elements made of UHPC. In: *fib Symposium 2016 — Performance-based approaches for concrete structures*. Cape Town, South Africa: Fédération Internationale du Béton; 2016. p. 10. Available at: https://www.researchgate.net/publication/318013374_A_new_construction_method_for_double_wall_elements_made_of_UHPC (accessed 15th September 2021). (In Eng.).
15. Reichenbach S., Kollegger J. Brückenerichtung mittels leichten dünnwandigen Teilfertigteilträgern aus Beton [Bridge construction using light, thin-walled, prefabricated concrete girders]. *BetonWerk International*. 2016; (2): 2–6. Available at: https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_250896.pdf (accessed 15th September 2021). (In German).
16. Preinstorfer P., Kromoser B., Kollegger J. Development of prestressed T-beams made of textile reinforced UHPC. In: *IABSE Symposium: Engineering the Future, Vancouver, Canada, 21–23 September 2017*. Vancouver, Canada: IABSE; 2017. p. 3130–3135. Available at: <https://structurae.net/en/literature/conference-paper/development-of-prestressed-t-beams-made-of-textile-reinforced-uhpc> (accessed 15th September 2021). (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.2749/vancouver.2017.3130>.
17. Kollegger J., Fuchs K. Innovative Method for the Production of Deck Slabs of Steel-concrete- Composite Bridges. In: *IABSE Symposium: Tomorrow's Megastructures, Nantes, France, 19–21 September 2018*. Nantes, France: IABSE; 2018. p. S5–223. Available at: <https://structurae.net/en/literature/conference-paper/innovative-method-for-the-production-of-deck-slabs-of-steel-concrete-composite-bridges> (accessed 3rd September 2021). (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.2749/nantes.2018.s5-223>.
18. Suza D., Kollegger J., Müller H. Comparison of real and theoretical creep strains of large concrete specimens during changing environment conditions. In: *fib Symposium 2019 — Concrete — innovations in materials, design and structures*. Kraków, Poland: Fédération Internationale du Béton; 2019. p. 738–745. Available at: <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000095827> (accessed 3rd September 2021). (In Eng.).
19. Kollegger J., Gmainer S., Lehner K., Simader J. Ultimate strength of curved strand tendons. *Structural Concrete*. 2012; 13(1): 42–50. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1002/suco.201100027>.

Information about the authors:

Alexandra I. Doronina — Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia,
e-mail: sanya.doronina.98@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2135-7311>

Sherali N. Valiev — Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia,
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia, e-mail: mosti.madi@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6326-2233>

Submitted: 23rd April 2022. Revised: 24th May 2022. Published online: 7th June 2022.