

DOI 10.15593/24111678/2017.04.03

УДК 625.745.22

**Н.А. Богоявленский¹, И.А. Осетров¹,
М.Н. Останин¹, Е.И. Филенкина²**

¹Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

²ООО «Туборус», Рязань, Россия

ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ СБОРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГОФРИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ОТКРЫТЫМ НИЖНИМ СЕЧЕНИЕМ

В настоящее время проблема малых мостов как в мировой практике, так и почти во всех субъектах Российской Федерации заключается в сложности состава работ, при этом не каждое предприятие берется за это дело из-за малой рентабельности. В процессе эксплуатации подрядные организации испытывают большие трудности в обслуживании мостов; занимаясь большими мостами, они оставляют в стороне малые. Отсюда следует, что нужно внедрять такие технологии, которые позволяли бы строить мосты «без обслуживания». Одной из современных альтернатив является применение металлических гофрированных конструкций (в основном стальных оцинкованных). В статье рассмотрена тема технических особенностей искусственных сооружений из сборных металлических гофрированных конструкций с открытым нижним сечением. Выявлены преимущества, которыми обладают данные конструкции перед традиционными мостами из железобетонных балок малой длины. Представлены краткая технология устройства, основные виды систем, эксплуатационные вопросы, описаны плюсы конструкции, кратко изложен контроль качества. Искусственные сооружения из металлической гофры показали хорошие результаты по всем параметрам. Преимуществами таких сооружений перед своими конкурентами являются долговечность, простота монтажа, удобство транспортировки, малые затраты на обслуживание, возможность строительства в труднодоступных районах, быстрота возведения конструкции, экономическая составляющая. Разнообразие вариантов очертаний позволяет найти в таких конструкциях эстетические и архитектурные достоинства, так как арочные мосты всегда привлекали людей. Следовательно, подрядным организациям стоит принять во внимание сборные металлические гофрированные конструкции как один из возможных вариантов при строительстве.

Ключевые слова: сборная металлическая гофрированная конструкция (СМГК), арочные гофрированные мосты, гофрированные конструкции с открытым нижним сечением.

**N.A. Bogoyavlenskiy¹, I.A. Osetrov¹,
M.N. Ostanin¹, E.I. Filenkina²**

¹Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

²“Tuborus” Ltd., Ryazan, Russian Federation

TECHNICAL PECULIARITIES OF ARTIFICIAL CONSTRUCTIONS FROM PREFABRICATED METAL CORRUGATED STRUCTURES WITH AN OPEN LOWER SECTION

At present, the problem of small bridges, both in world practice and in almost all constituent entities of the Russian Federation, is the complexity of the composition of work; moreover, not every enterprise "gets down to business" because of its low profitability. In the process of operation contractors are experiencing great difficulties in maintaining the bridge, working on large bridges and leaving the small ones aside. Hence, it is necessary to introduce such technologies that would allow building bridges "without maintenance". One of the modern alternatives is the use of metal corrugated structures (mostly galvanized steel). In this paper the issue of technical peculiarities of artificial constructions from prefabricated metal corrugated structures with an open lower section has been studied. The advantages of structures over traditional bridges of reinforced concrete beams of small length have been identified. Brief technology of the device, main types of systems, operational issues, design advantages, an outline of quality control are presented. Artificial metal corrugation structures have showed good results in all parameters. Advantages of such constructions to their competitors are their durability, ease of installation, ease of transportation, low maintenance costs, erection in hard-to-reach areas, rapid construction of the structure, economic characteristics. The variety of profile options makes it possible to find aesthetic and architectural advantages in such constructions, since arch bridges always attracted people. Consequently, contractor organizations should take into account prefabricated metal corrugated structures as one of the possible options for construction.

Keywords: prefabricated metal corrugated structure, arched corrugated bridges, corrugated structures with an open lower section.

Сборные металлические гофрированные конструкции, а точнее трубы диаметром до 1,5 м, впервые возникли в 70-х гг. XIX в. [1]. Однако в годы Первой мировой войны и революции их перестали использовать. Через столетие технология вновь возродилась при строительстве Байкало-Амурской магистрали. В настоящее время, наряду с трубами диаметром до 8 м, широко применяются конструкции с открытым нижним сечением, попросту говоря гофрированные арки, которые применяются для строительства малых мостов пролетом до 10 м (ГОСТ 33178–2014), пешеходных переходов и мостов пролетом до 25 м.

Гофрированные металлические конструкции имеют ряд достоинств [2]. Наиболее важным является то, что данная конструкция наименее затратна по сравнению с железобетонными аналогами, поскольку ее стоимость гораздо ниже – на целых 40–60 % [3]. Это происходит за счет того, что в гофрированных мостах исключается связь

балка – опора. В балочных же мостах стоимость пролетного строения примерно равна половине стоимости опоры. В нашем случае затраты на опору сводятся до минимума (только фундамент), а пролет заменяется конструкцией с малой стоимостью. Если говорить о сроках строительства, то они занимают малозначимых 1–3 месяца [4], независимо от времени года, а конкретно арочная конструкция собирается от нескольких часов до нескольких дней. Доставка элементов арки ведется в разобранном виде в транспортных пакетах весом от 500 кг любыми видами транспорта (автомобили, железнодорожные вагоны, морские суда, вертолет) и обеспечивает возможность проведения работ даже в труднодоступных местах.

Данная конструкция позволяет сохранять геометрические параметры дороги, т.е. не имеет сужения, что не влияет на уровень безопасности движения автомобилей по мостовому переходу [5]. Следует также обратить внимание на ту особенность, что во время эксплуатации гофрированные арки более просты в обслуживании и менее затратны, так как не имеют в своей конструкции конструктивных элементов, которые имеются в других мостах, таких как мостовое полотно, деформационные швы, опорные части, сопряжение с насыпью подхода [6]. В основе работы лежит прочность листа гофрированной формы. Волны играют роль ребер жесткости. Листы собираются в арку, и выполняется засыпка грунтом. В итоге вся система работает как единое целое, при этом толщина металла может достигать 8 мм (СП 35.13330.2011), а этого более чем достаточно, чтобы воспринимать нагрузки в поперечном и продольном направлениях, что подтверждено расчетом [7–9]. Листы обрабатываются цинком в процессе горячего оцинкования при температуре 460 °С. Средства дополнительной защиты МГК от коррозии следует назначать на основе данных о коррозионной активности (агрессивности) грунтов основания [10], насыпи и пропускаемой сооружением воды и вод подземной фильтрации [11]. В качестве дополнительных покрытий используются полимерные покрытия: гермокрон, форпол, Steelpaint-Pu-Combination-100 и др. (ОДМ 218.2.001–2009). Возможно также применение дополнительного покрытия на эпоксидной основе. Основные виды гофр арочных металлических конструкций с открытыми нижними сечениями в России представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики типов гофр

№ п/п	Характеристики	Типы гофр		
		150×50 мм	200×55 мм MultiPlate	381×140 мм SuperCor
1	Размер гофры	150×50 мм	200×55 мм MultiPlate	381×140 мм SuperCor
2	Сталь	Ст3 (ГОСТ380–94); 09Г2 (ГОСТ19281–89)	Ст3 (ГОСТ380–94); 09Г2 (ГОСТ19281–89)	Ст3 (ГОСТ380–94); 09Г2 (ГОСТ19281–89)
3	Ширина перекры- ваемого пролета	До 10 м	До 12 м	До 25 м
4	Толщина стали	3,0–7,0 мм	3,0–8,0 мм	5,0–8,0 мм
5	Толщина слоя цинка	Не менее 80 мкм	Не менее 80 мкм	Не менее 80 мкм
6	Болты/гайки/шайбы	M20 класса 8,8	M20 класса 8,8	M20 класса 8,8

Основные геометрические параметры представлены на рис. 1–3 [12].

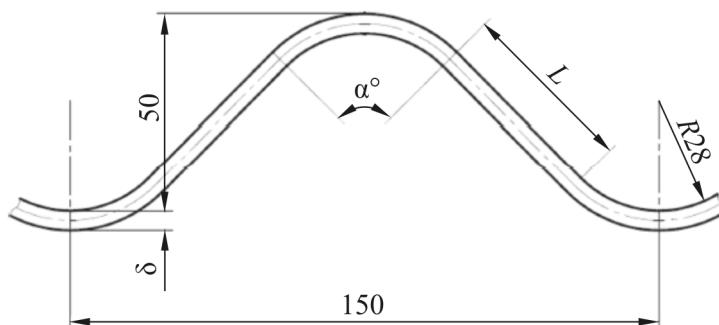


Рис. 1. Профиль гофры 150×50 мм

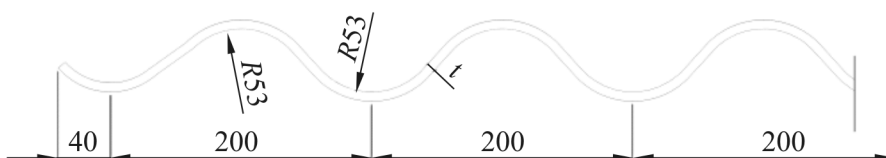


Рис. 2. Профиль гофры MultiPlate 200×55 мм

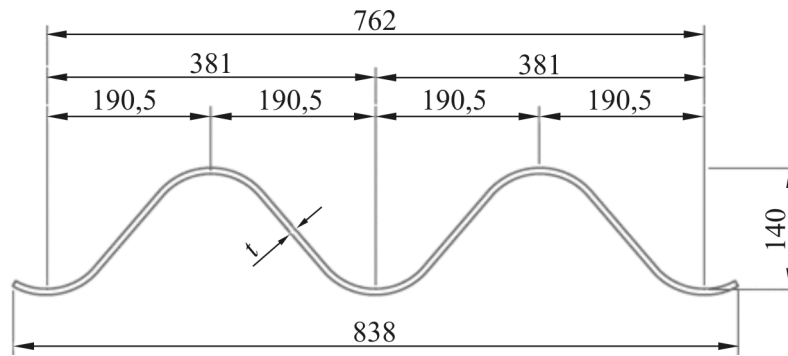


Рис. 3. Профиль гофры SuperCor 381×140 мм

Основные виды МГК с открытым нижним сечением представлены в трех вариантах на рис. 4.

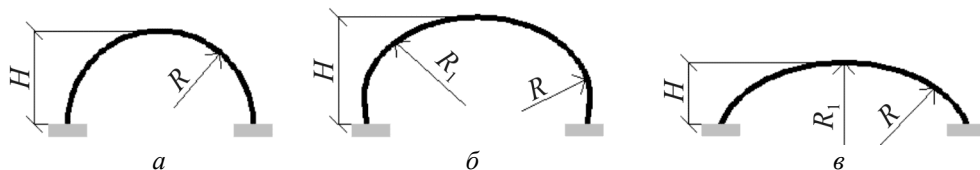


Рис. 4. Основные виды арочных гофрированных конструкций:
a – круглого очертания; *б* – повышенного очертания; *в* – пониженного очертания

В табл. 2 представлено описание видов арочных конструкций.

Таблица 2

Описание видов арочных конструкций

Вариант <i>a</i>	Вариант <i>б</i>	Вариант <i>в</i>
<p>Арка кругового очертания, с постоянным радиусом свода R. Угол в основании – от 165 до 195°. Возводится на продольных бетонных фундаментах</p>	<p>Арка повышенного очертания, металлические листы изгибаются по двум и более радиусам. Стрела подъема в такой арке выше, чем в круговой арке того же пролета. Такую конструкцию обычно выбирают при необходимости обеспечения габаритов по высоте</p>	<p>Арка пониженного очертания, изогнутая по двум и более радиусам, радиус свода R и радиус угла R_1, при этом отношение R к $R_1 \leq 4$. Высота стрелы подъема принимается ниже, чем в круговой арке, при том же пролете</p>

Технология монтажа конструкции гофра и монолитного фундамента выполняется по трем основным схемам, показанным на рис. 5–9.

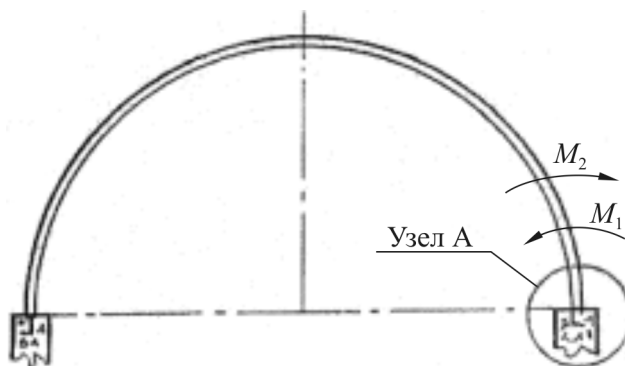


Рис. 5. Арка сооружения из СМГК (узел А)

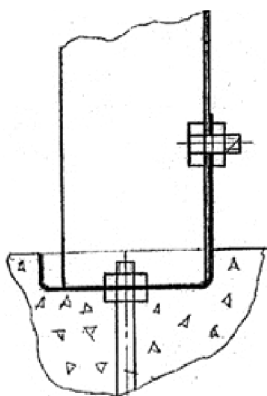


Рис. 6. Крепление арки к фундаменту швеллером (узел А)

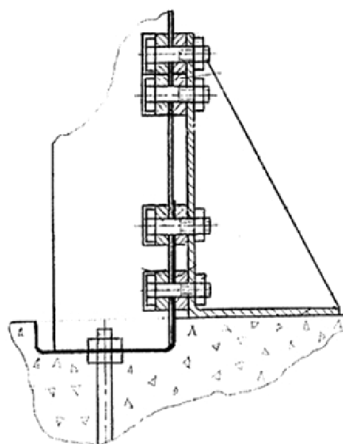


Рис. 7. Крепление к фундаменту с помощью опорных кронштейнов

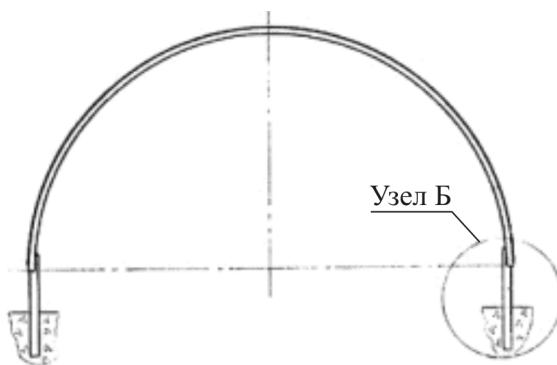


Рис. 8. Арка сооружения из СМГК с трубами (узел Б)

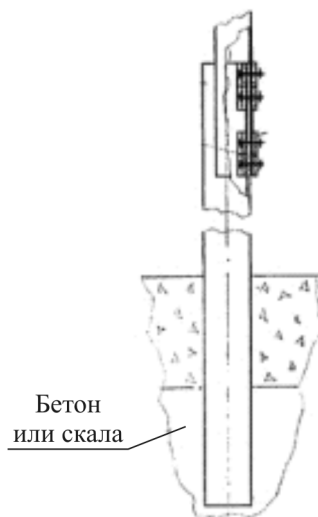


Рис. 9. Крепление узлов крепления трубы к СМГК

Самый распространенный способ монтажа СМГК – это соединение с помощью опорного элемента, прикрепленного к ранее забетонированным анкерам [13]. Установка анкеров производится так, чтобы они выступали над фундаментом от 4 до 6 см. Анкеры следует расставлять строго по одной линии, а угол, образуемый анкерами и вертикалью, не должен отклоняться от проектных значений более чем на 3° . Анкеры на противоположных фундаментах должны находиться строго друг напротив друга.

Сборка ведется одновременно с обеих опор по направлению к коньку, последовательно, при этом неважен способ сборки – поэлементный или укрупненный (рис. 10). Последний лист – коньковый – замыкающий. Сборку свода можно вести монтажными секциями, состоящими из двух полуарок. Полуарки собираются из трех (четырёх) листов. Первыми устанавливаются те полуарки, у которых опорные листы длиннее по сравнению со смежными секциями. Монтажные секции лучше всего собирать на боку, на монтажной площадке, рядом с местом монтажа [14].



Рис. 10. Применение гофрированной конструкции пониженного типа (производитель – ООО «ВиаКон Сейфрод») в г. Перми, объект «Реконструкция площади Восстания»

На рис. 11 представлен пример применения гофрированной конструкции круглого очертания на трассе М5 «Урал».



Рис. 11. Применение гофрированной конструкции круглого очертания (трасса М5 «Урал»)

Особенности возведения СМГК:

1. Контроль толщины покрытия листа осуществляется с помощью электромагнитных толщиномеров. Толщина покрытия на элементе определяется как средняя арифметическая величина из количества замеров, принятого для данной конструкции, а именно определяется количество контрольных точек в разных местах в зависимости от длины элемента: при длине элемента до 5 м – 5 точек, при длине элемента свыше 5 м – 11 точек.

2. Болты рекомендуется ставить от середины к краям листов. При совмещении двух соседних листов одной полуарки ставится средний (из трех) болт в средней волне и во всех других, где совмещены отверстия. Запрещается ставить болты в крайние волны, при этом гайки только наживляются, имея у резьбовой части свободный ход. Гайки болтов могут быть расположены внутри или снаружи конструкции. Их положение не влияет на работу конструкции. С практической точки зрения лучше разместить все гайки с внешней стороны (со стороны засыпки). Допускается постановка более чем 50 % болтов, в оставшиеся свободные отверстия ставятся так называемые «пробки». За счет свободно собранного стыка и хода болтов «пробки» заходят в стык, соединяя отверстия. После совмещения «пробки» последовательно удаляют, и в отверстия устанавливаются болты, без окончательной затяжки гаек, а в опорных участках ставятся все болты.

3. Проверку правильной затяжки болтов следует выполнять с помощью динамометрического ключа. Контролю подлежит 10 % от общего количества болтов. Минимум 90 % проверяемых болтов должны соответствовать требованиям по значению крутящего момента затяжки, а крутящий момент затяжки остальных болтов (максимум 10 % контролируемого количества) не должен доставлять менее 20 кгс·см. Болты проверяются выборочно.

4. Контрольную затяжку рекомендуется начинать с середины верха конструкции и идти по одному полукольцу в направлении входного и выходного портала. После монтажа конструкции следует устранить повреждения антикоррозионного покрытия, возникшие во время транспортировки и монтажа конструкции.

5. При засыпке конструкции следует выборочно контролировать затяжку болтов, которые под воздействием колебаний, связанных с уплотнением, могут ослабиться.

6. Материал засыпки укладывается слоями с максимальной толщиной 30–40 см в свободном состоянии, а затем уплотняется. Укладка выполняется симметрично с обеих сторон. Допускается разница высот, равная одному слою (30–40 см).

7. Коэффициент уплотнения каждого слоя засыпки должен составлять $K_{\text{мин}} = 0,95$ на расстоянии до 30 см от стенки конструкции; $K_{\text{мин}} = 0,98$ – на остальной площади [15].

8. Для уплотнения грунта засыпки следует использовать общедоступное оборудование. Тяжелое оборудование может работать на расстоянии не ближе 1 м от конструкции, двигаясь всегда параллельно продольной оси. На концах конструкции необходимо использовать только легкое (ручное) уплотняющее оборудование.

Основные методы расчета МГК, используемые в настоящее время, можно разделить на три основные группы:

- методы, изначально разработанные для проектирования тоннелей и впоследствии адаптированные для расчета МГК;
- методы, использующие аппарат теории сплошной среды;
- численные методы расчета: метод конечных разностей (МКР), метод конечных элементов (МКЭ) или метод граничных элементов (МГЭ) – методы, рекомендованные ОДМ 218.2.001–2009.

Для расчета конструкции МГК используют компьютерные программы (COSMOS/M, PLAXIS, LIRA_94 и др.) на основе этих методов, с помощью которых можно рассчитать требующиеся конструктивные элементы (толщину металла гофрированных листов, необходимость армирования грунтовой обоймы, количество слоев армирования).

В работе [16] предложена несколько иная классификация существующих методов расчета МГК:

- инженерные методы расчета на основе строительной механики и механики грунтов (незаданные нагрузки);
- аналитические методы расчета системы «обделка – грунтовый массив» на основе механики сплошной и дискретной сред;
- численные методы, реализующие математические модели подземных сооружений в виде контактного взаимодействия и совместной работы системы «обделка – грунтовый массив».

В настоящее время в мировой практике проектирования СМГК широкое применение получил метод конечных элементов, являющийся наиболее оптимальным для расчета. Однако он имеет недостатки, связанные с вводом большого количества заранее неизвестных парамет-

ров, сложностью расчета пространственных систем, что делает невозможным учет параметров напряженно-деформированного состояния в продольном направлении. В ближайшее время стоит задуматься над созданием точной и простой методики расчета, которая, возможно, станет альтернативой МКЭ.

Основными производителями металлических гофрированных конструкций в Российской Федерации являются ОАО «АлексинСтройКонструкция», ЗАО «Гофросталь», ООО «Губорус», ООО «КТЦ». Они изготавливают разнообразные типы конструкций.

Металлические гофрированные конструкции выгодны как с экономической точки зрения [17] (строительство мостового перехода из МГК обходится в несколько раз дешевле, чем аналогичных мостовых сооружений), так и с эксплуатационной (при надлежащем качестве строительно-монтажных работ при возведении гофрированной конструкции затраты на эксплуатацию минимальны). Учитывая производство гофрированных конструкций в России, необходимо предусмотреть устройство и замену малых мостов на сборные металлические гофрированные конструкции в рамках специальных программ.

Список литературы

1. Герцог А.А. Гофрированные трубы на автомобильных дорогах. – М.: Транспорт, 1989. – 112 с.
2. Опыт и преимущества применения гофрированных конструкций для устройства малых искусственных сооружений на автомобильных дорогах / Е.И. Матвеева, Н.А. Богоявленский, А.Г. Кузнецов, Е.А. Андреева, А.С. Кудинова // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – 2015. – № 1. – С. 420–425.
3. Металлические гофрированные конструкции для транспортных сооружений [Электронный ресурс]. – URL: http://ptkor.ru/production/metallicheskiye_gofrirovannye_konstruktsii (дата обращения: 16.11.2016).
4. Строительство, реконструкция и ремонт водопропускных сооружений [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.road-stroy.ru/services/discharge-facility> (дата обращения: 22.11.2016).
5. Жинкин А. Проблемы и перспективы типового проектирования металлических гофрированных конструкций // Транспорт Российской Федерации. – 2006. – № 5. – С. 53–54.

6. Практика применения металлических гофрированных конструкций в хабаровском филиале ОАО «ГИПРОДОРНИИ» / Т.Б. Лебедева, Т.Л. Селина, В.С. Беляев [и др.] // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог: сб. науч. тр. ОАО «ГИПРОДОРНИИ». – Екатеринбург, 2010. – № 1. – С. 162–175.

7. Новодзинский А.Л., Клевко В.И. Учет влияния толщины гофрированного элемента на прочность и устойчивость металлической водопропускной трубы // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 1. – С. 81–94.

8. Анализ экспериментальных исследований поведения металлических гофрированных конструкций под воздействием статических и динамических нагрузок с учетом их совместной работы с окружающим грунтом [Электронный ресурс] / В.С. Беляев, Л.С. Яковлев, И.Г. Овчинников, И.А. Осокин // Наукоедение. – 2014. – № 1. – С. 1–15. – URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/13TVN114.pdf> (дата обращения: 29.11.2016).

9. Статические испытания арочной конструкции из МГК (гофр 381×140 мм) производства ЗАО «Гофросталь», в том числе в условиях предельного нагружения: техн. отчет / НПФ «Атом-Динамик». – М., 2012. – 49 с.

10. Родичев Л.В. Физическое моделирование процессов коррозии металла, протекающих под слоем антикоррозионной защиты // Строительство трубопроводов. – 1993. – № 6. – С. 29–32.

11. Павлов П.А. Кадырбеков Б.А., Колесников В.А. Прочность сталей в коррозионных средах. – Алма-Ата: Наука, 1987. – 272 с.

12. Металлические гофрированные трубы под насыпями / Н.М. Колоколов, О.А. Янковский, К.Б. Щербина, С.Э. Черняховская. – М.: Транспорт, 1973. – 117 с.

13. Петрова Е.Н. Проектирование и строительство транспортных сооружений из металлических гофрированных элементов: учеб. пособие. – М.: Изд-во МАДИ, 2012. – 56 с.

14. Осокин И.А., Пермикин А.С. О проблемах эксплуатации гофрированных водопропускных труб под насыпями автомобильных и железных дорог уральского региона // Сучасні методи проектування, будівництва та експлуатації систем водовідводуна автомобільних дорогах: матеріали міжнарод. конф., 1–2 березня 2012 року / Національний транспортний університет НТУ. – Киев, 2012. – С. 14–19.

15. Подвальный Р.Е., Потапов А.С., Янковский О.А. Технология строительства металлических гофрированных водопропускных труб. – М.: Транспорт, 1978. – 78 с

16. Экспериментальные исследования фрагмента искусственного сооружения из гофролиста производства предприятия ООО «Гофра-2001» на действие статических и временных нагрузок: техн. отчет / НПФ «Атом-Динамик». – М., 2007. – 57 с.

17. Ухов С.Б. Расчет сооружений и оснований методом конечных элементов. – М.: Изд-во МИСИ, 1973. – 118 с.

References

1. Gercog A.A. Gofrirovannye truby na avtomobil'nyh dorogah [Corrugated pipes on highways]. Moscow, Transport, 1989, 112 p.

2. Matveeva E.I., Bogojavlenskij N.A., Kuznecov A.G., Andreeva E.A., Kudinova A.S. Opyt i preimushhestva primeneniya gofrirovannykh konstrukcij dlja ustrojstva malyh iskusstvennykh sooruzhenij na avtomobil'nyh dorogah [Experience and advantages of using corrugated structures for the device of small artificial structures on highways]. *Modernizacija i nauchnye issledovanija v transportnom komplekse*. Perm, Permskij nacional'nyj issledovatel'skij politehnicheskij universitet, 2015, pp. 420-425.

3. Metallicheskie gofrirovannye konstrukcii dlja transportnykh sooruzhenij [Metal corrugated structures for transport structures], available at: http://ptkor.ru/production/metallicheskiye_gofrirovannye_konstruktsii (accessed 16 November 2016).

4. Stroitel'stvo, rekonstrukcija i remont vodopropusknykh sooruzhenij [Construction, reconstruction and repair of culverts] available at: <http://www.roadstroy.ru/services/discharge-facility> (accessed: 22 November 2016).

5. Zhinkin A. Problemy i perspektivy tipovogo proektirovanija metallicheskih gofrirovannykh konstrukcij [Problems and prospects for the typical design of metal corrugated structures]. *Transport Rossijskoj Federacii*, 2006, no 5, pp. 53-54.

6. Lebedeva T.B., Selina T.L., Beljaev V.S. i dr. Praktika primeneniya metallicheskih gofrirovannykh konstrukcij v habarovskom filiale OAO «GIPRODORNII» [The practice of using metal corrugated structures in the Khabarovsk branch of JSC «GIPRODORNII»]. *Aktual'nye voprosy proektirovanija avtomobil'nyh dorog. Sbornik nauchnykh trudov OAO*

«GIPRODORNII». Ekaterinburg, Dorozhnyj proektno-izyskatel'skij i nauchno-issledovatel'skij institut «GIPRODORNII», 2010, no 1, pp. 162-175.

7. Novodzinskij A.L., Kleveko V.I. Uchet vlijanija tolshhiny gofrirovannogo jelementa na prochnost' i ustojchivost' metallicheskoj vodopropuskoj truby [Accounting for the effect of the thickness of the corrugated element on the strength and stability of the metal culvert]. *Vestnik Permskogo Nacional'nogo Issledovatel'skogo Politehnicheskogo Universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2012, no 1, pp. 81-94.

8. Beljaev V.S., Jakovlev L.S., Ovchinnikov I.G., Osokin I.A. Analiz jeksperimental'nyh issledovanij povedenija metallicheskih gofrirovannyh konstrukcij pod vozdejstviem staticheskikh i dinamicheskikh nagruzok s uchetom ih sovmestnoj raboty s okruzhajushhim gruntom [Analysis of experimental studies of the behavior of metal corrugated structures under the influence of static and dynamic loads, taking into account their joint work with the surrounding soil]. «*NAUKOVEDENIE*», 2014, no 1. pp. 1-15, available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/13TVN114.pdf> (accessed 29 November 2016).

9. Staticheskie ispytaniya arochnoj konstrukcii iz MGK (gofr 381*140 mm) proizvodstva ZAO «Gofrostal» v tom chisle v uslovijah predel'nogo nagruzenija [Static tests of the arch structure made of MGC (corrugated 381 * 140 mm) produced by CJSC "Gofrostal", including under extreme loading conditions]. *Tehnicheskij otchet «Atom-Dinamik»*, Moskva, 2012, 49 p.

10. Rodichev L.V. Fizicheskoe modelirovanie processov korrozii metalla, protekajushhij pod sloem antikorrozionnoj zashhity [Physical modeling of metal corrosion processes occurring under a layer of corrosion protection]. *Stroitel'stvo truboprovodov*, 1993, no 6, pp. 29-32.

11. Pavlov P.A. Kadyrbekov B.A., Kolesnikov V.A. Prochnost' stalej v korrozionnyh sredah [Strength of steels in corrosive environments]. Alma-Ata, Nauka, 1987, 272 p.

12. Kolokolov N.M., Jankovskij O.A., Shherbina K.B., Chernjahovskaja S.Je. Metallicheskie gofrirovannye truby pod nasypjami [Metal corrugated pipes under embankments)]. Moskva, Transport, 1973, 117 p.

13. Petrova E.N. Proektirovanie i stroitel'stvo transportnyh sooruzhenij iz metallicheskih gofrirovannyh jelementov [Design and construction of transport structures from metal corrugated elements]. Moskva, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), 2012, 56 p.

14. Osokin I.A., Permikin A.S. O problemah jekspluatacii gofrirovannyh vodopropusknyh trub pod nasypjami avtomobil'nyh i zheleznyh dorog ural'skogo regiona [On the problems of exploitation of corrugated culverts under the embankments of roads and railways in the Urals region]. *Sovremennye metody proektirovanija, stroitel'stva i jekspluatacii sistem vodootvoda avtomobil'nyh dorog. Materialy mezhdunarodnoi. Konferentsii*. Kiev, Nacional'nyj transportnyj universitet, 2012, pp.14-19.

15. Podval'nyj R.E., Potapov A.S., Jankovskij O.A. Tehnologija stroitel'stva metallicheskih gofrirovannyh vodopropusknyh trub [Technology of construction of metal corrugated culverts]. Moskva, Transport, 1978, 78 p.

16. Jeksperimental'nye issledovanija fragmenta iskusstvennogo sooruzhenija iz gofrolista proizvodstva predprijatija OOO "Gofra-2001" na dejstvie staticheskih i vremennyh nagruzok [Experimental studies of a fragment of an artificial building made of corrugated sheet produced by the enterprise Gofra-2001 LLC for the effect of static and temporary loads]. *Tehnicheskij otchet, Atom-Dinamik*, 2007, pp 57.

17. Uhov S.B. Raschet sooruzhenij i osnovanij metodom konechnyh jelementov [Calculation of structures and foundations by the finite element method]. Moskva: Moskovskij inzhenerno-stroitel'nyj institut, 1973, 118 p.

Получено 03.05.2017

Об авторах

Богоявленский Николай Анатольевич (Пермь, Россия) – старший преподаватель, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614000, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: nb1848@yandex.ru).

Осетров Игорь Анатольевич (Пермь, Россия) – студент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614000, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: igor5009_59@mail.ru).

Останин Максим Николаевич (Пермь, Россия) – студент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614000, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: maksim.ostanin@mail.ru).

Филёнкина Елена Игоревна (Рязань, Россия) – ведущий менеджер по продукту, ООО «Туборус» (390037, г. Рязань, ул. Зубковой, 8а, e-mail: filenkina@tuborus.ru).

About the authors

Nikolai A. Bogoyavlenskiy (Perm, Russian Federation) – Senior Lecturer, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614000, Russian Federation, e-mail: nb1848@yandex.ru).

Igor' A. Osetrov (Perm, Russian Federation) – Student, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614000, Russian Federation, e-mail: igor5009_59@mail.ru).

Maksim N. Ostanin (Perm, Russian Federation) – Student, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614000, Russian Federation, e-mail: maksim.ostanin@mail.ru).

Elena I. Filenkina (Ryazan, Russian Federation) – Lead Product Manager, “Tuborus” Ltd. (8a, Zubkovo st., Ryazan, 390037, Russian Federation, e-mail: filenkina@tuborus.ru).