

УДК 624.6.014.2

А.С. Бирин, А.С. Гришина

A.S. Birin, A.S. Grishina

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ВОДОПРОПУСКНЫХ ГОФРИРОВАННЫХ ЗАГЛУБЛЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

ON THE QUESTION OF THE USE OF METAL CORRUGATED SUNKEN CULVERT

Одним из типов пролетных строений являются водопропускные заглубленные сооружения из металлических гофрированных структур. Такие конструкции имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными, но отсутствие опыта проектирования и строительства, а также недостаточность нормативной литературы в этой области существенно осложняют их применение в транспортном строительстве. В статье представлен обзор изученности проблемы применения водопропускных гофрированных сооружений на автомобильных и железных дорогах. Приведено сравнение методов конструктивного расчета подобных сооружений в России и США.

Ключевые слова: водопропускное сооружение, металлическая гофрированная заглубленная конструкция, арочная конструкция, метод конечных элементов.

Abstract. One of the types of bridges is metal corrugated sunken culvert. Such structures have a number of advantages over traditional ones, but the lack of experience in design and construction, as well as the inadequacy of the regulatory literature in this field significantly complicates their application in transport construction. The article gives an overview of the problem of using culvert structures on roads and railways. Comparison of the design methods of such structures in Russia and the USA is given.

Keywords: culvert, metal corrugated structure, arch construction, finite element method.

Водопропускные сооружения из металлических гофрированных структур (МГС) могут быть использованы в качестве альтернативы жестким бетонным или металлическим пролетным строениям. В настоящее время металлические гофрированные конструкции (МГК) активно применяются на автомобильных и железных дорогах. Такие конструкции способны отвечать требованиям конструктивной безопасности наравне с традиционными мостами при существенно меньших затратах на строительство [1].

Особенностью работы таких сооружения является малая поперечная жесткость, ввиду чего в них могут возникать значительные деформации от действия внешних нагрузок. Однако деформации гофрированной конструкции, находящейся в окружении массива грунта, ограничены таким взаимодействием

ем. В этом заключается суть высокой эффективности таких сооружений. Также достаточно высокая гибкость гофрированной конструкции позволяет ей легко воспринимать возможные деформации грунтового основания без нарушения целостности сооружения.

Несмотря на то что в нашей стране подобные сооружения появились еще более века назад, в общем количестве число мостов и водопропускных сооружений, выполненных из МГС, до последнего времени оставалось незначительным, а большое количество аварий, произошедших в период с 1970 г., привело к полному запрету на строительство МКГ на автомобильных и железных дорогах [2].

Альтернативная история применения сооружений из МГС наблюдается в Японии, США и Канаде. Отсутствие аварий и такие преимущества, как небольшой вес, простота сборки, малые сроки строительства, привели к большому распространению данных конструкций на автомобильных и железных дорогах этих стран.

В последнее время и в нашей стране снова стали применять металлические гофрированные водопропускные сооружения. Одним из примеров использования МКГ является реконструкция транспортной развязки на площади Восстания в г. Перми в 2016 г. Два железобетонных моста по ул. Мостовой и Соликамской были заменены на мосты из металлических гофрированных структур пролетом более 6 м (рисунок) [3].



Рис. Водопропускное сооружение из металлических гофрированных структур

Сооружения из МГС имеют большое разнообразие форм и сечений, которые могут варьироваться в зависимости от условий строительства сооружения. Применяются сечения круглого, эллипсоидного, полицентрического, арочного, коробчатого и другого вида. Сечение конструкции может быть замкнутым и незамкнутым. Сооружение из МКС может быть одноочковым и многоочковым с расстоянием в свету между звеньями, обеспечивающим

отсыпку, армирование и уплотнение грунта до требуемой плотности. В плане МГК могут быть как прямыми, так и изогнутыми.

Основным сдерживающим фактором для большого распространения гофрированных заглубленных сооружений является отсутствие достаточной нормативной документации в совокупности с нехваткой опыта проектирования и строительства.

На сегодняшний день в соответствии с нормативной базой область применения водопропускных сооружений из МГС ограничена только федеральным законом о техническом регулировании. Единственным нормативным документом для проектирования и строительства таких конструкций является носящий рекомендательный характер ОДМ 218.2.001–2009 «Рекомендации по строительству водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур на автомобильных дорогах общего пользования с учетом региональных условий». Данный отраслевой дорожный документ является актуализированной версией ВСН-176-78 «Инструкция по проектированию и постройке металлических гофрированных водопропускных труб».

Особенность нового документа заключается в расширение области применения водопропускных труб. Если ВСН-176-78 распространялся только на трубы круглого очертания диаметром до трех метров, то ОДМ 218.2.001–2009 распространяется на сооружения любых очертаний и пролетов. При этом в части расчета большепролетных сооружений даются только общие рекомендации по определению НДС, без выделения особенностей. Инженерная часть расчета аналогична ВСН 176-78 и не распространяется на сооружения больше трех метров.

Сама методика проектирования водопропускных сооружений из МГС основана на расчете конструкции по предельному равновесию взаимодействующей системы «конструкция – грунт» и проверке общей устойчивости формы поперечного сечения МГК. Последний расчет чаще всего является определяющим.

В статье [4] были представлены результаты обследования существующих металлических гофрированных труб диаметром 1,5 м и был проведен расчет по существующей методике. Полученные результаты показали, что трубы находятся в неудовлетворительном состоянии и не соответствуют требованиям как первой, так и второй группы предельных состояний.

Причиной такого состояния конструкций было либо нарушение технологии производства строительно-монтажных работ, либо несоответствие существующей методики проектирования требованиям обеспечения безотказной работы сооружения.

В защиту существующих норм проектирования можно привести американский и канадский опыт применения МГК. Расчет конструкций в этом случае выполняется по методике, изложенной в Bridge Design Specifications of the America Association of State Highway Transportation Officials (AASHTO LRFD, 2012) и Canadian Highway Bridge Design Code (CHBDC).

Так, в AASHTO LRFD расчет также, как и в ОДМ, выполняется из условия недопустимости превышения фактического осевого усилия в стенках МГК над расчетным и устойчивости формы. При этом определяющей также является проверка устойчивости формы в зависимости от размера пролета:

$$f_{cr} = \frac{12E_m}{\left(\frac{kS}{r}\right)^2},$$

$$f_{cr} = F_u - \frac{\left(\frac{F_u kS}{r}\right)^2}{48E_m},$$

где E_m – модуль упругости стали, ksi; F_u – предел прочности стали, ksi; f_{cr} – критическое напряжение, ksi; r – радиус инерции, дюйм; S – коэффициент жесткости грунта засыпки, принимаемый равным 0,22.

При решении тестовой задачи нагрузка, воспринимаемая конструкцией, при расчете по методике AASHTO, даже несколько превышает нагрузку по ОДМ при прочих равных условиях.

Действительной причиной аварий обследованных сооружений в данном случае является нарушение технологии производства строительного-монтажных работ, а основными ошибками являются использование в качестве обратной засыпки глинистого грунта и грунта, содержащего крупные включения. Во избежание аварийных ситуаций на стадии выполнения обратной засыпки необходим тщательный контроль СМР.

Для конструкций пролетом более 3 м, а также сечений некруглого очертания напряженно-деформированное состояние, рассчитанное по методике, изложенной в ОДМ 218.2.001–2009, может не соответствовать реальной картине поведения МГК.

В статьях [5–7] был представлен анализ отечественных и зарубежных экспериментальных исследований большепролетных гофрированных сооружений. На их основе были проверены существующие методики расчета и предложены новые, проведено сравнение с методикой по ОДМ 218.2.001–2009.

Методики расчета МГК можно классифицировать следующим образом:

- 1) инженерные методы расчета на основе строительной механики и механики грунтов;
- 2) аналитические методы расчета на основе механики сплошной и дискретной среды;
- 3) численные методы, реализующие математические модели подземных сооружений.

Перечисленные методики имеют как свои достоинства, так и недостатки [8–11]. Наиболее универсальным является метод конечных элементов (МКЭ). Как показывает зарубежный опыт, несмотря на некоторые недостатки МКЭ, он был верифицирован на гофрированных конструкциях зарубежными авторами и практически вытеснил остальные методы расчета.

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Водопрopusкные сооружения из металлических гофрированных структур – перспективное решение для городского и транспортного строительства в качестве альтернативы железобетонным и металлическим конструкциям.

2. Несмотря на очевидные преимущества МГК, такие как небольшой вес, простота сборки, малые сроки строительства, применение данных конструкций ограничено на территории России вследствие несовершенства методов расчета и производства строительно-монтажных работ.

3. Численные методы наиболее предпочтительны для расчета конструкций из МГС, так как они позволяют производить комплексный расчет, учитывая поведение материала конструкции и окружающего грунта.

Авторами данной статьи в дальнейшем планируется использование МКЭ для исследования напряженно-деформированного состояния заглубленного водопрopusкного сооружения. Основной целью при этом будет являться оптимизация методики расчета для накопления опыта проектирования и увеличения общего числа подобных сооружений.

Список литературы

1. Моисеева О.В., Клевеко В.И. Выбор оптимального типа сечения металлической гофрированной конструкции для возведения подземного пешеходного перехода // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2016. – Т. 1. – С. 181–189.

2. Металлические гофрированные трубы под насыпями: учеб. / Н.М. Колоколов [и др.]. – М.: Транспорт, 1973. – 120 с.

3. Площадь Восстания готовится к открытию движения по постоянной схеме [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gorodperm.ru/news/2016/09/29/36469-id> (дата обращения: 05.12.2016).

4. Овчинников И.Г., Овчинников И.И. Анализ причин аварий и повреждений транспортных сооружений // Транспортное строительство. – 2010. – № 7. – С. 2–5.

5. Анализ экспериментальных исследований поведения металлических гофрированных конструкций под воздействием статических и динамических нагрузок с учетом их совместной работы с окружающим грунтом. Часть 1. Обзор и анализ зарубежных статических экспериментальных исследований

[Электронный ресурс] / И.Г. Овчинников [и др.] // Науковедение. – 2013. – № 6 (19). – URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/130TVN613.pdf> (дата обращения: 05.12.2016).

6. Анализ экспериментальных исследований поведения металлических гофрированных конструкций под воздействием статических и динамических нагрузок с учетом их совместной работы с окружающим грунтом. Часть 2. Обзор отечественных экспериментальных исследований. Сопоставление результатов эксперимента с результатами расчетов по разным методикам [Электронный ресурс] / В.С. Беляев [и др.] // Науковедение. – 2013. – № 6 (19). – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/190TVN613.pdf> (дата обращения: 05.12.2016).

7. Анализ экспериментальных исследований поведения металлических гофрированных конструкций под воздействием статических и динамических нагрузок с учетом их совместной работы с окружающим грунтом. Часть 3. Отечественные экспериментальные исследования. Динамические испытания [Электронный ресурс] / В.С. Беляев [и др.] // Науковедение. – 2014. – № 1 (20). – URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/13TVN114.pdf> (дата обращения: 05.12.2016).

8. Осокин И.А., Пермикин А.С. Анализ методик расчета предельных деформаций поперечного сечения гофрированных водопропускных труб // Дороги и мосты. – 2013. – № 2 (30). – С. 224–236.

9. Осокин И.А. Применение теории оболочек вращения к расчету гофрированных водопропускных труб [Электронный ресурс] // Науковедение. – 2013. – № 2 (15). – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/40tvn213.pdf> (дата обращения: 05.12.2016).

10. Овчинников И.Г., Осокин И.А. О возможности применения теории полубезмоментных оболочек В.З. Власова к расчету металлических гофрированных конструкций [Электронный ресурс] // Науковедение. – 2014. – № 4 (23). – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/35TVN414.pdf> (дата обращения 05.12.2016).

11. 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. 101–108.

Получено 31.10.2017

Бирин Александр Сергеевич – магистр, строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: birins@mail.ru.

Гришина Алла Сергеевна – аспирант кафедры «Строительное производство и геотехника», строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: koallita@yandex.ru.