

УДК 624(075.8):624.131

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ УСИЛЕНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ТРУБЫ МЕТОДОМ ГИЛЬЗОВАНИЯ

Шалкаров А.

доктор технический наук, ведущий научный сотрудник
Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт, Алматы, Казахстан
<https://orcid.org/0000-0001-7594-1217>, email: shalkarov56@mail.ru

Шалкар К. А.

магистр
Казахстанский дорожный научно-исследовательский институт, Алматы, Казахстан
<https://orcid.org/0000-0001-7776-6213>, email: shalkar-k@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В статье приведены результаты научно-технического сопровождения, проведенные АО «КаздорНИИ» по оценке напряженно-деформированного состояния прямоугольной трубы усиленного методом гильзования. Даны предложения по дальнейшей эксплуатации данного искусственного сооружения

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

*искусственные сооружения, водопропускные трубы,
гофрированный металл, металлические гофрированные конструкции,
несущая способность, предельное равновесие*

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время все большее распространение в области строительства дорог получают водопропускные трубы и другие искусственные сооружения, выполненные из гофрированного металла. Однако конструкции из гофрированного металла известны уже более ста лет.

К неоспоримым преимуществам данных сооружений относится следующее:

- относительно небольшой вес элементов конструкции;
- относительная простота сборки;
- меньшие по сравнению с железобетонными конструкциями сроки возведения;
- привлекательный внешний вид.

Помимо использования гофрированных водопропускных труб вместо традиционных железобетонных, сооружения из гофрированных листов открывают новые возможности перед проектировщиками и строителями. Используя сооружения из гофрированного металла, имеется возможность перекрывать пролеты длиной до 30 м, возводить сооружения для пропуска автомобильных и железных дорог в разных уровнях (путепроводы), сооружения для защиты дорог от камнепадов и другие конструкции [1,2]. При этом цена строительства сооружений из гофрированного металла значительно ниже цены малых и средних мостовых сооружений, имеющих аналогичную область применения [3].

Примерами сооружений из гофрированного металла, способными заменить малые и средние мосты, водопропускные трубы и скотопрогоны, сооруженные по типовому проекту АО «КаздорНИИ». Одними из наиболее интересных конструкций, построенных в последние годы, является мост через реку Карачик км 8+850 дороги Р-31 «Кентау – Туркестан – Шаульдер – Тортколь», запроектированный АО «КаздорНИИ», представлен на рис. 1.



Рисунок 1 - Общий вид моста через реку Карачик км 8+850 дороги Р-31 «Кентау – Туркестан – Шаульдер – Тортколь»

Мост - грунтозасыпное арочное сооружение из гофрированной стали, запроектирован трехпролетным по схеме 3x14,45 м, имеет общую длину 43,1 м. Радиус арок $R = 7,5$ м, подмостовой габарит средней арки - 4,853 м, а крайних арок - 4,353 м.

Большое количество водопропускных труб из металлической гофрированной конструкций диаметром 1,0, 1,25, 1,5, 2,0 м и скотопрогонов длиной от 7,0 до 10, м сооружены на автомобильной дороге А-15 «Жизак – Гагарин – Жетысай – Кировский – Кызыласкер – Абай – Сарыагаш – Жибек жолы».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 2020 году АО «КаздорНИИ» совместно с Казахским университетом проведено научно-техническое сопровождение усиления прямо-угольной трубы на автомобильной дороге «Семей-Кайнар»

Целью организации научно-технического сопровождения скотопрогона 4х2,5 м является устранение дефектов прямоугольной трубы и обеспечение эксплуатационных и потреби-тельских свойств прямоугольной трубы методом гильзования [4].

Научно-техническое сопровождение в строительстве трубы и самой конструкции МГК преследовало обеспечить основные задачи:

- надежность, безопасность и долговечность, впервые применяемой в Казахстане, конструкции МГК, производимой СООО Виакон;
- экономическая эффективность технических решений, а также методов и технологий организации строительства;
- контроль качества выполняемых работ;
- развитие нормативной базы.

В процессе эксплуатации сооружения произошло развитие и накопление различного рода повреждений. Основными дефектами трубы являются:

- отсутствие откылка со стороны выходного оголовка;
- разрушение и трещины входного и выходного оголовков;
- сколы и трещины в стыках между звеньев трубы;
- шелушение поверхности бетона;
- скопление грязи в лотковой части трубы.

Для обеспечения бесперебойного и безопасного пропуска транспортных средств АО «НК «КазАвтоЖол» принято решение усиление трубы путем установки внутри ремонтируемого сооружения стальных гофрированных конструкций (МГК). Поперечное сечение устанавливаемой МГК - эллипс полицентрического очертания шириной 3,3м и высотой 2,28м. МГК выполнен из «MultiPlate MP200» (замкнутого сечения) толщиной 3 мм (Рис.2).

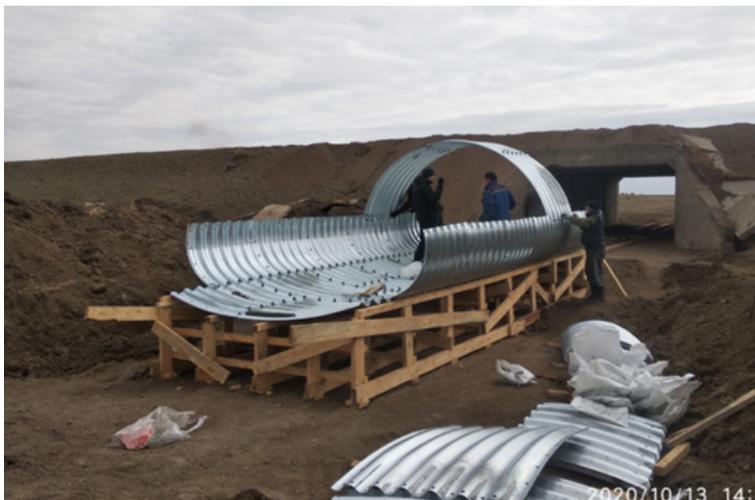


Рисунок 2 - Монтаж МГК на деревянном стапеле

Монтаж конструкции МГК осуществлялся заранее собранном стапеле из деревянных брусьев 100х100 мм, нижнюю часть в ручную, а верхнюю часть - с помощью автомобильного крана. Перемещение трубы по длине ремонтируемой трубы осуществлялся погрузчиком с помощью троса прикрепляемого по 4-м точкам по периметру. Для защиты наружной (бетонируемой) стороны установлены геотекстильный материал плотностью 300 г/м². Пространство между существующей трубой и конструкцией МГК заполняется бетоном (рис. 3).



Рисунок 3 - Скотопрогон после усиления из МГК

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Оценка технического состояния МГК. Методом конечных элементов производился моделирование конструкции МГК с помощью ПК «Midas Civil». Расчетная схема и разбивка на конечные элементы показаны на рис. 4 и 5.

Расчет произведен для стадии:

- 1) После сборки МГК;
- 2) После бетонирования МГК;
- 3) После набора прочности бетона.

Результаты расчета приведены на рисунках 9-14. Величина расчетных усилий и напряжения, возникающие от внешних нагрузок на всех этапах сооружения в элементах трубы приведены в приложениях 3 и 4.

После монтажа трубы (1 стадия) величина растягивающего изгибающего момента, возникающего в месте примыкания основания со стенкой МГК незначительная и составляет $5,41 \text{ Н/см}^2$, прогиб в замке арки составил $0,29 \text{ мм}$.

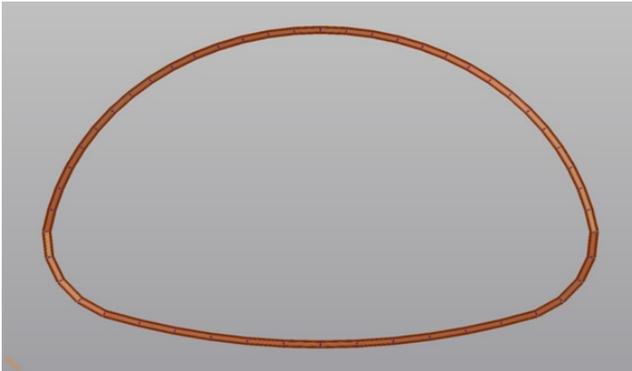


Рисунок 4 - Расчетная схема МГК

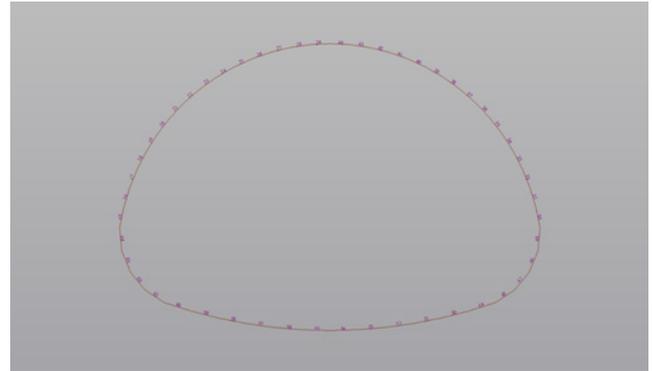


Рисунок 5 - Разбивка на конечные элементы

Во второй стадии расчета, когда бетон еще в жидком состоянии (не набрал свою прочность) значение изгибающего момента в месте примыкания основания со стенкой МГК составляет $108,2 \text{ Н/см}^2$, прогиб в замке $5,31 \text{ мм}$.

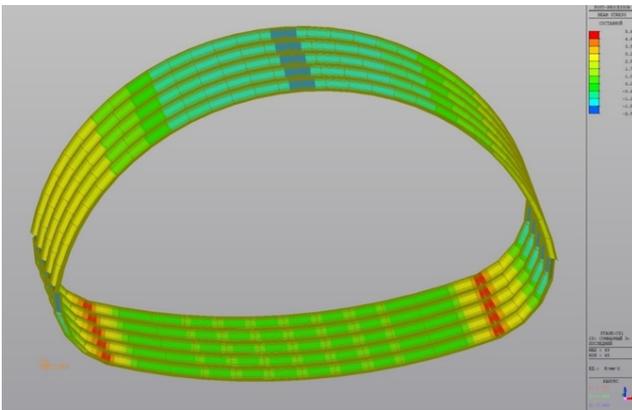


Рисунок 6 - Напряжения от собственного веса.
1-я стадия

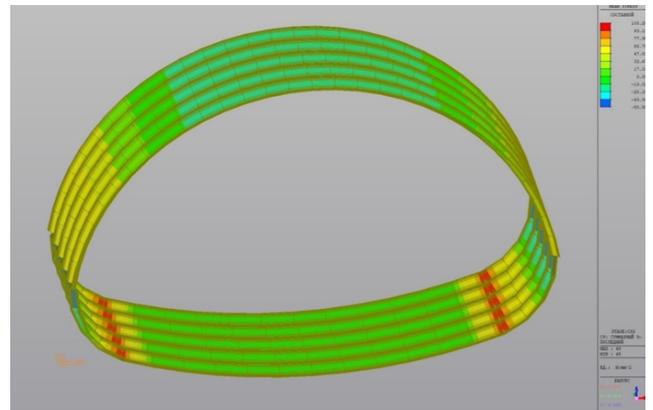


Рисунок 7 - Напряжения от пластичного бетона.
2-я стадия.

В третьей стадии - после набора бетоном прочности, изгибающий момент перераспределяется в замок арки, величина максимального изгибающего момента составляет $-87,11 \text{ Н/см}^2$, значение прогибав замке уменьшается до $0,25 \text{ мм}$.

Для получения более полной информации о работе сооружений под разной нагрузкой были выполнены осмотр и измерения геометрических параметров водопропускных труб после каждого этапа.

В результате выполненных измерений установлено, что отклонение всех размеров металлической гофрированной трубы в пределах допустимых величин.

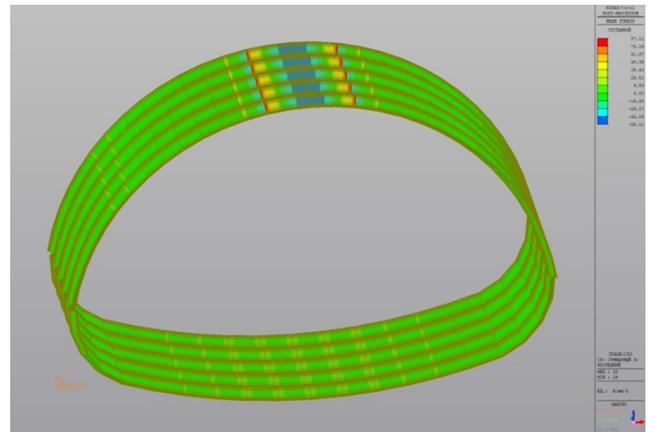


Рисунок 8 - Напряжения от подвижной нагрузки НК-120.
3-я стадия.

РАСЧЕТ МГК ПО ПРЕДЕЛЬНОМУ РАВНОВЕСИЮ ПО ОДМ.

Расчет конструкции по предельному равновесию ведется по п. В.1 ОДМ 218.2.001-2009 [5].

Площадь грунта над сводом

$$A_{gp} = (R \cdot D - \pi \cdot R^2/2) + 0,3 \cdot 3,3 = 1,53 \cdot 3,3 - 3,14 \cdot 1,65^2/2 + 0,99 = 5,05 - 4,27 + 0,99 = 1,77 \text{ м}^2$$

Масса столба бетона (рис. 9), расположенного выше свода, при значении H составит:

$$W = \gamma \cdot A_{gp} = 24 \cdot 1,77 = 42,48 \text{ кН/м}$$

Постоянная нагрузка на 1 п.м. длины арки

$$P_{\gamma} = 0,5 \cdot (1,0 - 0,1 \cdot C_s) \cdot A_f \cdot W,$$

где коэффициент выгиба A_f принимается равным максимальному значению

$$D_H/D_V = 3,3/2,28 = 1,45 \text{ и } H/D_H = 0,3/3,3 = 0,09;$$

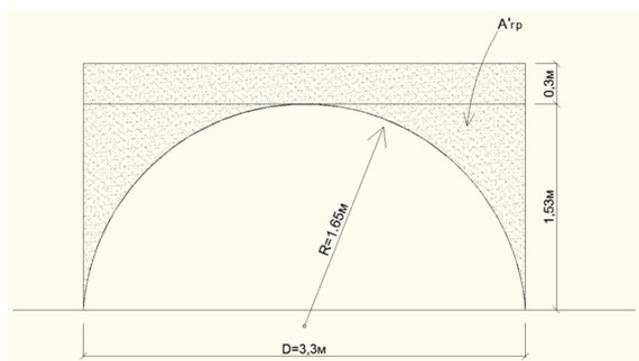


Рисунок 9 - Схема к расчету площади грунта над сводом

Масса столба бетона (Рис. 15), расположенного выше свода, при значении H составит:

$$W = \gamma \cdot A_{gp} = 24 \cdot 1,77 = 42,48 \text{ кН/м}$$

Постоянная нагрузка на 1 п.м. длины арки

$$P_{\gamma} = 0,5 \cdot (1,0 - 0,1 \cdot C_s) \cdot A_f \cdot W,$$

где коэффициент выгиба A_f принимается равным максимальному значению

$$D_H/D_V = 3,3/2,28 = 1,45 \text{ и } H/D_H = 0,3/3,3 = 0,09;$$

Показатель жесткости

$$C_s = 1000 \cdot E_b \cdot D_V / (E \cdot A) = 1000 \cdot 24 \cdot 2,28 / (2,06 \cdot 10^5 \cdot 4,73) = 0,056,$$

где $A = 47,286 \text{ см}^2/\text{м} = 4,73 \text{ см}^2/\text{см}$.

$$P_{\gamma} = 0,5 \cdot (1,0 - 0,1 \cdot 0,056) \cdot 1,45 \cdot 42,48 = 30,62 \text{ кН/м}$$

Расчетная нагрузка от временной нагрузки [6]

$$p_v = \psi / (a_0 + h) = 233 / 3 + 1,27,$$

где $h = 0,3 + 0,47 + 0,5 = 1,27 \text{ м}$.

0,3 м - толщина бетона над сводом,

0,47 м - толщина верха прямоугольной трубы,
0,5 м - толщина грунта над трубой.

$$p_v = 233 / (3 + 1,27) = 54,56 \text{ кН/м}$$

Расчетная нагрузка от полной нагрузки

$$q = P_{\gamma} + P_v = 30,62 + 54,56 = 85,18 \text{ кН/м}^2 = 0,8518 \text{ кгс/см}^2,$$

где P_{γ} - интенсивность постоянной нагрузки, кН/м^2 ,
 P_v - интенсивность временной нагрузки от НК,
 q_p - расчетная несущая способность МГТ в грунте, т.е. интенсивность предельно допустимой нагрузки из условия предельного статического равновесия рассчитываемой системы.

Условие, гарантирующее конструкцию в эксплуатации от наступления первого предельного состояния, предельным статическим равновесием взаимодействующей системы «конструкция - бетон», удовлетворяется неравенством

$$q \leq q_p,$$

здесь q - расчетная интенсивность равномерно распределенного по периметру поперечного сечения трубы нормального давления грунта засыпки, принимаемая равной расчетной интенсивности вертикального давления на МГТ от суммарного воздействия собственного веса грунта насыпи и временной нагрузки;

Расчетную несущую способность МГК q_p определяют по формуле:

$$q_p = K_{ув} \cdot q_{1p} = 9,83 \cdot 0,181 = 1,78 \text{ кгс/см}^2$$

где $K_{ув}$ - коэффициент увеличения несущей способности МГТ за счет упругого отпора окружающего грунта:

$$K_{ув} = 1 + 12,1 \cdot 10^{-4} / \sqrt{1,89 \cdot 10^{-8}} = 9,83,$$

q_{1p} - расчетная несущая способность МГТ вне грунта для рекомендуемых сталей, кгс/см^2 : q

$$q_{1p} = 0,32 \cdot 10^6 / (W \cdot D^2) = 0,32 \cdot 10^6 \cdot (0,6167/330^2) = 0,181,$$

$W = 0,6167 \text{ см}^3/\text{см}$ - момент сопротивления продольного (вдоль МГТ) сечения брутто стенки на единицу длины МГТ; $D = 330 \text{ см}$ - диаметр МГТ по средней линии гофров, см; G - обобщенный показатель жесткости взаимодействующей системы «конструкция-бетон», $\text{см}^2/\text{кгс}$, $E_b = 300 \text{ кгс/см}^2$ - модуль упругости бетона.

$$G = W / (D^2 \cdot E_b) = 0,6167 / (330^2 \cdot 300) = 1,89 \cdot 10^{-8}.$$

Условия предельного равновесия в период эксплуатации

$q = 0,8518 \text{ кгс/см}^2 < q_p = 1,78 \text{ кгс/см}^2$ - условие выполняется

Коэффициент запаса равен $K_3 = 1,78 / 0,8518 = 2,09$ - условие выполняется.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Монтаж трубы осуществлялся согласно монтажной схеме представленной ООО «Viakon» и выполнен по Инструкции по монтажу сборных металлических конструкций замкнутого очертания «MultiPlate MP200».

2. Оценка технического состояния выполнена методом конечных элементов с помощью ПК «Midas Civil» и по ОДМ 218.2.001-2009. Полученные напряжения и деформации от расчетных усилий меньше предельных значений для стали S235JR, изготовленной трубы.

3. Качество выполненных работ удовлетворительное с учетом месторасположения трубы.

Также была проведена оценка предельного состояния конструкции по статическому равновесию и расчет несущей способности, которая продемонстрировала высокий коэффициент запаса прочности ($K_3 = 2,09$), что обеспечивает устойчивость сооружения в условиях эксплуатации. Таким образом, разработанные

технические решения и примененные методы позволяют гарантировать эксплуатационную пригодность конструкции, эффективность и экономичность принятых мер, а также служат основой для дальнейшего совершенствования нормативной базы по применению гофрированных конструкций в дорожном строительстве в Республике Казахстан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петрова Е.Н. Проектирование и строительство транспортных сооружений из металлических гофрированных элементов: учеб. пособие / Е.Н. Петрова. – М.: МАДИ, 2012. – 56 с.
2. Петрова Е.Н. Совершенствование методов расчета обделок тоннелей из стальных гофрированных элементов: автореф. ... дис. ... канд. техн. наук (05.23.11) / Е.Н. Петрова, МАДИ. – М., 2011. – 24 с.
3. Лебедева Т.Б. Практика применения металлических гофрированных конструкций в Хабаровском филиале ОАО «ГИПРОДОРНИИ» / Т.Б. Лебедева, Т.Л. Селина, В.С. Беляев, С.Ю. Привалов, Л.Е. Михайловский // Вопросы проектирования и строительства автомобильных дорог: опыт и инновации: сб. науч. тр. / Екатеринбург, 2010. – №1. – С. 162-175.
4. ОДМ 218.3.099-2017 Рекомендации по капитальному ремонту водопропускных труб методом гильзования металлическими гофрированными спиральновитыми трубами.
5. ОДМ 218.2.001-2009 Рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур на автомобильных дорогах общего пользования с учетом региональных условий (дорожно-климатических зон).
6. СП РК 3.03-112 -2013 Мосты и трубы.