

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian journal of transport engineering <http://t-s.today/>

2017, Том 4, №1 / 2017, Vol 4, No 1 <http://t-s.today/issues/vol4-no1.html>

URL статьи: <http://t-s.today/PDF/01TS117.pdf>

DOI: 10.15862/01TS117 (<http://dx.doi.org/10.15862/01TS117>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Блинков М.А., Зарудный А.И. Расчетная оценка возможных причин разрушения гофрированной трубы под автомобильной дорогой в Крыму // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 4, №1 (2017) <http://t-s.today/PDF/01TS117.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/01TS117

For citation:

Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Blinkov M.A., Zarudny A.I. [Estimation of the possible causes of a corrugated pipe destruction under the auto-road in the Crimea] Russian journal of transport engineering, 2017, Vol. 4, no. 1. Available at: <http://t-s.today/PDF/01TS117.pdf> (In Russ.) DOI: 10.15862/01TS117

УДК 624.042

Овчинников Илья Игоревич

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Россия, Саратов¹
ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»
Сочинский филиал, Россия, Сочи
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: bridgeart@mail.ru

Овчинников Игорь Георгиевич

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Балаковский инженерно-технологический институт (филиал), Россия, Балаково
ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Россия, Саратов
ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Россия, Пермь
Доктор технических наук, профессор
E-mail: bridgesar@mail.ru

Блинков Максим Андреевич

ООО «Институт «Проектмостореконструкция», Россия, Саратов
Инженер I категории
E-mail: diamond@bridge-pmr.ru

Зарудный Андрей Игоревич

ООО «Институт «Проектмостореконструкция», Россия, Саратов
Инженер I категории
E-mail: diamond@bridge-pmr.ru

**Расчетная оценка возможных
причин разрушения гофрированной трубы
под автомобильной дорогой в Крыму**

Аннотация. С использованием программного комплекса Midas Civil смоделировано поведение участка автодорожной насыпи с проложенной под ней гофрированной арочной конструкцией. Было проведено численное моделирование поведения конструкции для трех схем работы: нормальная проектная работа конструкции на действие расчетных нагрузок; работа конструкции при образовании локальных полостей за гофрированным арочным сводом

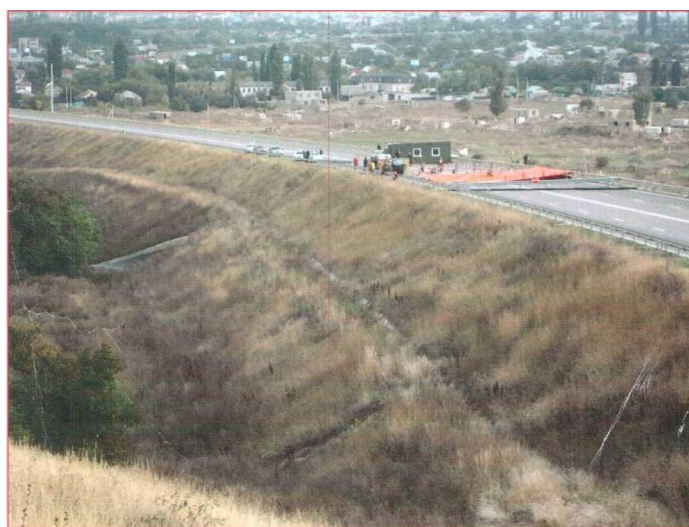
¹ 410054, Саратов, Политехническая 77

(часть подпора от грунта убирается с одной стороны гофрированного арочного свода); работа конструкции при полном обводнении грунта с одной стороны гофрированного арочного свода. Для всех расчетных схем представлены клеенки распределения нормальных напряжений в гофрированном арочном своде от приложенных расчетных усилий. Анализ результатов расчета позволил установить, что при нарушении условий нормальной работы (образование локальных полостей в грунтовой обойме за гофрированным арочным сводом, или при обводнении грунтовой обоймы с одной стороны гофрированного арочного свода) возникают критические усилия, вызывающие наступление первого предельного состояния (напряжения в отдельных зонах гофрированного арочного свода превосходят допускаемые напряжения материала), что может привести к разрушению самой конструкции гофрированного арочного свода. Отмечено, что обязательным условием надежной работы грунтозасыпной конструкции является совместная работа металлического гофрированного арочного свода с окружающей его грунтовой обоймой, приводящая к образованию единого грунтозасыпного сооружения, воспринимающего действующие на сооружение нагрузки и другие воздействия.

Ключевые слова: разрушение насыпи; гофрированная конструкция; грунтозасыпная конструкция; математическое моделирование; расчетный анализ; исследование причин разрушения

Введение

Как известно, 28 сентября 2014 года на км 1+350 участка автомобильной дороги Симферополь-Евпатория-Мирное-Дубки, км 0+700 – км 2+200 произошло разрушение, повлекшее за собой гибель людей. Прилегающие к месту разрушения участки дороги в плане расположены на кривой радиусом 1500 м, поперечный профиль дороги в месте разрушения односкатный. На ПК 13+30 ось дороги пересекает однопутную железнодорожную подъездную дорогу и потому для проезда железнодорожного транспорта устроена металлическая гофрированная арка габаритом 9,43x4,715 м, высота насыпи по оси дороги над верхней точкой арки составляет порядка 11,0 м (рис. 1). Для арки применена конструкция «SuperCog» фирмы «ViaCon».



*Рисунок 1. Вид на участок дороги, на котором произошло разрушение²
Figure 1. View of the road section, on which destruction occurred*

² Отчет комиссии по расследованию причин и ликвидации последствий разрушения, возникшего 28 сентября 2014 года на км 1+350 участка автомобильной дороги Симферополь-Евпатория-Мирное-Дубки, км 0+700 – км 2+200, повлекшего за собой гибель людей. 2014 г. Симферополь. 25 с.

В результате обследования было установлено, что разрушение дороги в виде провала диаметром порядка 8 метров и глубиной до 10 метров произошло со стороны внешней кромки виража в пределах двух полос четырехполосного участка автомобильной дороги (рис. 2).



Рисунок 2. Расположение провала на участке автомобильной дороги³
Figure 2. Location of a dip on the auto-road section

На рисунке 3 представлены результаты применения беспилотного летательного аппарата ООО «ГЕОСКАН» и технологий 3-d моделирования при проведении экспертизы участка этой дороги, на котором произошло разрушение [1]



Рисунок 3. Результат применения беспилотника (дрона) для обследования участка автомобильной дороги, на котором произошел провал⁴ [1]

Figure 3. The result of using a pilotless aircraft (drone) to inspect a auto-road section, on which a dip occurred [1]

³ Отчет комиссии по расследованию причин и ликвидации последствий разрушения, возникшего 28 сентября 2014 года на км 1+350 участка автомобильной дороги Симферополь-Евпатория-Мирное-Дубки, км 0+700 – км 2+200, повлекшего за собой гибель людей. 2014 г. Симферополь. 25 с.

⁴ Отчет комиссии по расследованию причин и ликвидации последствий разрушения, возникшего 28 сентября 2014 года на км 1+350 участка автомобильной дороги Симферополь-Евпатория-Мирное-Дубки, км 0+700 – км 2+200, повлекшего за собой гибель людей. 2014 г. Симферополь. 25 с.

Некоторые результаты проведенного обследования представлены на рис. 4, 5.

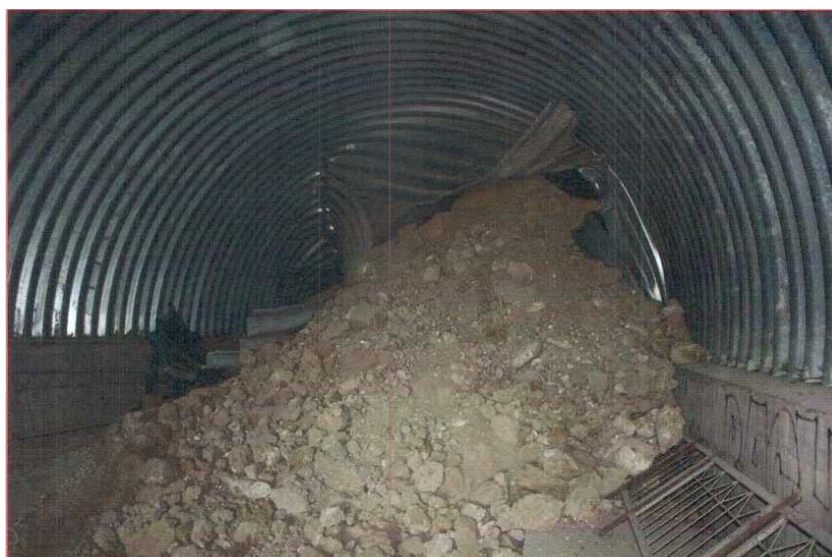


Рисунок 4. Вывал грунта насыпи автомобильной дороги внутрь гофрированной арки⁵
Figure 4. The intrush of mass of the auto-road embankment into the corrugated arch

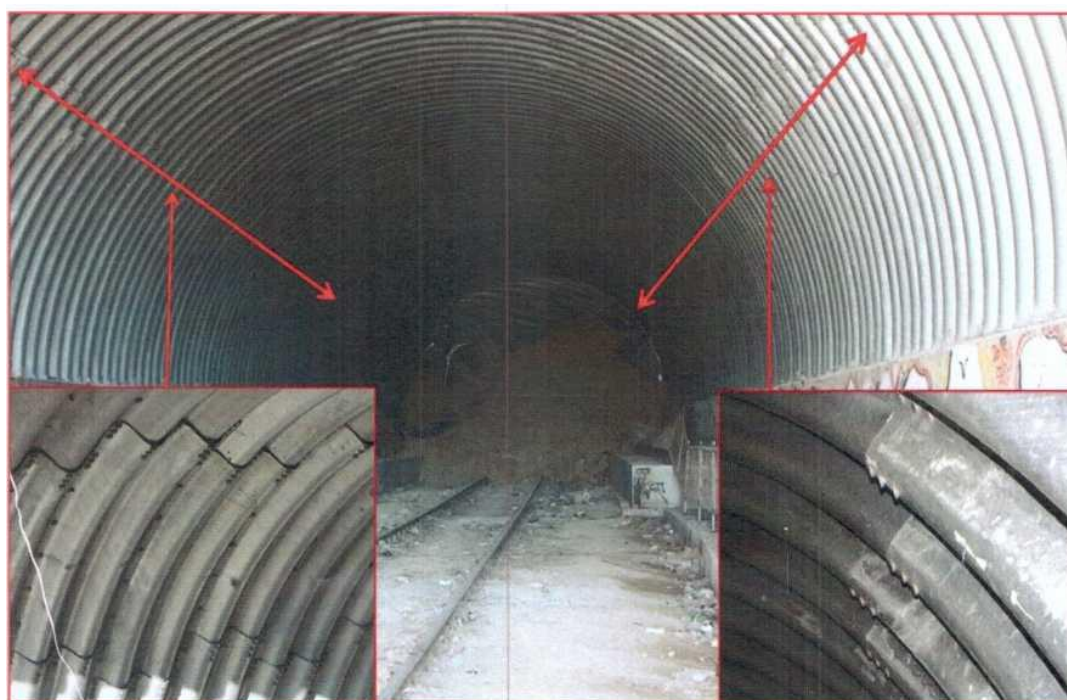


Рисунок 5. Повреждения гофрированной арки
в зонах действия наибольших изгибающих моментов⁶
Figure 5. Damage of the corrugated arch in the areas of the greatest bending moments

С целью выяснения возможной причины, спровоцировавшей разрушение автомобильной дороги над гофрированной аркой, было проведено компьютерное моделирование поведения участка автомобильной дороги с проложенной под ней

⁵ Отчет комиссии по расследованию причин и ликвидации последствий разрушения, возникшего 28 сентября 2014 года на км 1+350 участка автомобильной дороги Симферополь-Евпатория-Мирное-Дубки, км 0+700 – км 2+200, повлекшего за собой гибель людей. 2014 г. Симферополь. 25 с.

⁶ Там же.

гофрированной трубой для случая обводнения грунтовой обоймы с одной стороны гофрированного арочного свода. Расчетный анализ проводился с использованием программного комплекса Midas Civil.

1. Построение расчетной схемы для исследования

Для построения расчетной схемы использовались данные об общем виде сооружения (автомобильной дороги с проложенной под ней гофрированной арочной трубой) (рис. 6), поперечный разрез сооружения в рассматриваемом месте (рис. 7) и данные о гофрированном профиле (рис. 8).

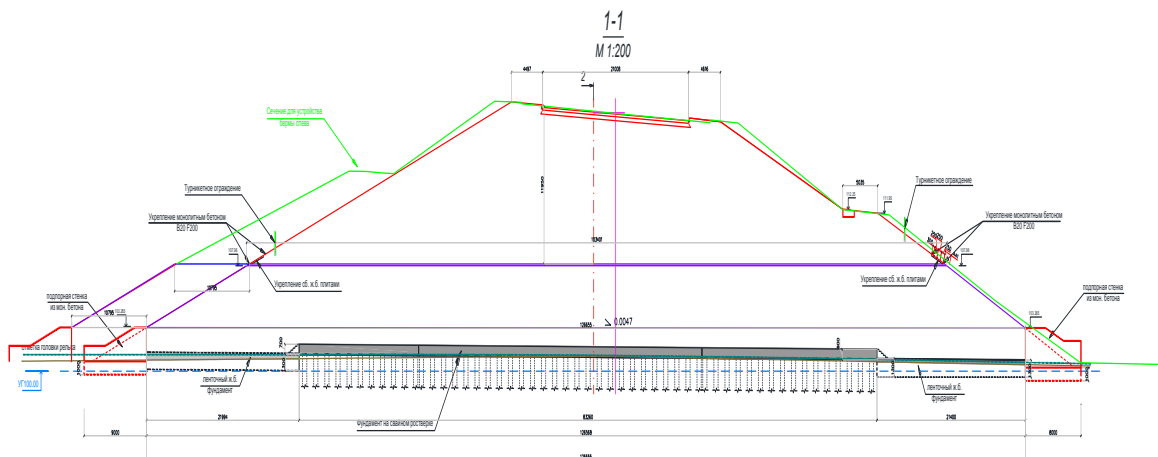


Рисунок 6. Общий вид сооружения (рисунок авторов)
Figure 6. Overall view of the structure (the authors' drawing)

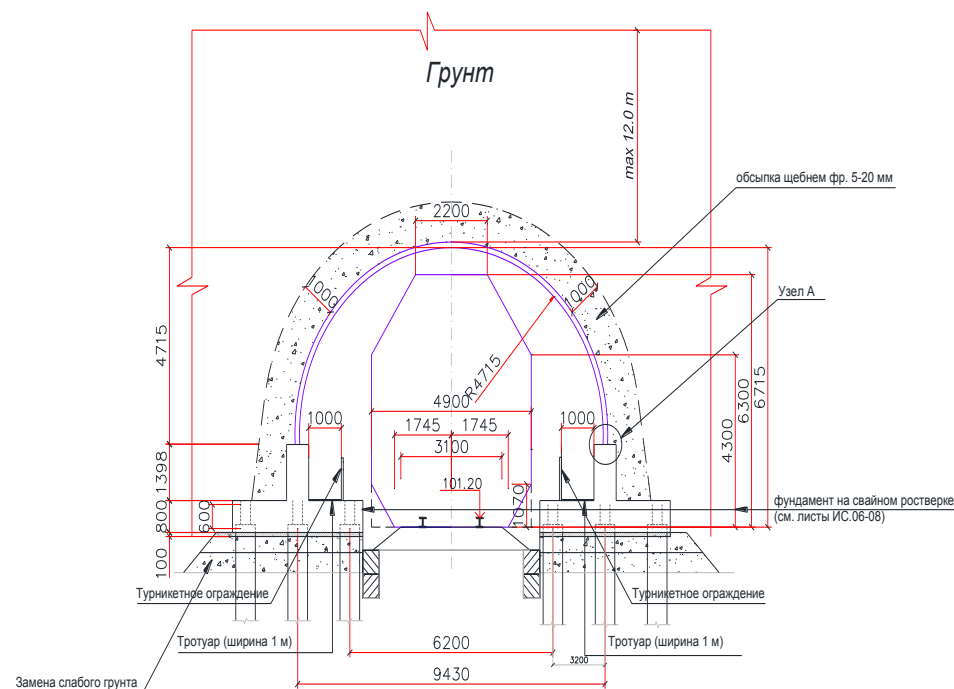
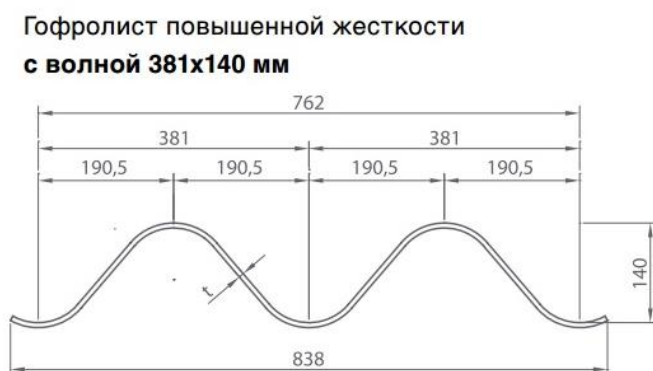


Рисунок 7. Поперечный разрез сооружения (рисунок авторов)
Figure 7. Cross section of structure (the authors' drawing)



Толщина листа

7 мм

85 мкм

Цинковое покрытие
с каждой стороны
листового металла

250 мкм

эпоксидный
защитный слой

Соединение листов

болты типа **M20**
класса **8,8**

Рисунок 8. Поперечный разрез гофрированного профиля (рисунок авторов)
Figure 8. Cross section of the corrugated profile (the authors' drawing)

Грунт насыпи земляного полотна в расчетах принят как насыпной со следующими характеристиками: удельный вес грунта в сухом состоянии – 1,9 т/м³, удельный вес грунта в водонасыщенном состоянии – 2,9 т/м³, удельное сцепление грунта – 2,1 т/м², угол внутреннего трения – 15°.

Сбор нагрузок

Расчет будет производиться без учета сейсмической нагрузки (хотя район расположения сооружения относится к сейсмическим районам с 8 баллами), так как сейсмических подвижек в рассматриваемое время не наблюдалось. Для упрощения расчетной схемы подпор грунта заменяется на эквивалентную нагрузку.

Расчетные нагрузки собраны на основе конструктивной схемы сооружения в соответствии с ГОСТ Р 52748-2007 «Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения».

Определим погонную вертикальную нагрузку на гофрированный арочный свод в середине пролета, там, где нагрузка наибольшая:

$$q_{ног} = q_{вр} + q_{гр},$$

где: $q_{вр}$ – погонная вертикальная нагрузка на гофрированный арочный свод длиной 1 м от действия тяжелой колесной одиночной нагрузки по схеме Н-14; $q_{гр}$ – погонная вертикальная нагрузка на гофрированный арочный свод длиной 1 м от веса грунта.

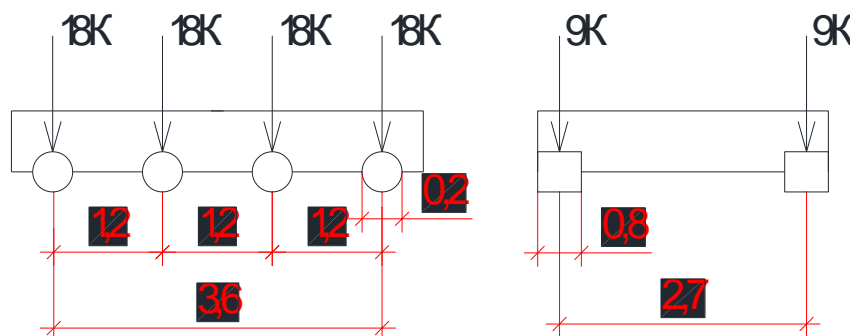
В соответствии с ГОСТ Р 52748-2007 «Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения» (пункт 5.2) нагрузка от транспортных средств приводится к эквивалентному слою грунта земляного полотна, который располагается на всей ширине земляного полотна и распространяется на неограниченную длину вдоль оси дороги.

Толщина эквивалентного слоя грунта вычисляется по формуле:

$$H_{экр} = \frac{4 \cdot 18 \cdot K}{(D + 0.2) \cdot (c + 0.8) \cdot \gamma_{гр}} = \frac{4 \cdot 18 \cdot 1.42}{(3.6 + 0.2) \cdot (2.7 + 0.8) \cdot 1.9} = 4,04 м,$$

где: 18К – нормативная осевая нагрузка НК, т; D = 3.6 – база нормативной нагрузки НК, м; c = 2.7 – колея нормативной нагрузки НК, м; γ_{gp} – удельный вес грунта, т/м³ $\gamma_{gp} = 1.9 \text{ т/м}^3$;

По пункту 4.5 ГОСТ Р 52748-2007 класс нагрузки НК (К) принимаем 1,42 т.



Нагрузка НК

Рисунок 9. Схема нагрузки НК (рисунок авторов)
Figure 9. Scheme of NK loading

Результаты вычисления вертикальных нагрузок сведем в таблицу 1.

Таблица 1/Table 1

Результаты вычисления вертикальных нагрузок (составлено авторами)/
Computations of vertical loads (compiled by the authors)

№ п.п.	Нагрузка	Нормативная нагрузка, т/пм	Коэффициент надежности по нагрузке	Расчетная нагрузка, т/пм
1	Погонная от временной нагрузки Н-14 (эквивалентная h = 4.04 м)	7,676	1,1	8,4436
2	Погонная от веса грунта (h = 12 м)	22,8	1,1	25,08
Итого		30,476		33,5236

Кроме распределенной нагрузки, находящейся выше замка гофрированного арочного свода, также учитывается вертикальное давление от грунта, находящегося на своде арки ниже отметки замка гофрированного арочного свода. Данное воздействие действует симметрично относительно продольной оси. Учтем эту вертикальную нагрузку путем приложения сосредоточенных сил в центрах тяжести соответствующих грунтовых массивов. Величина этих сил определится из выражения:

$$F = \gamma \cdot r^2 \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4}\right) = 1.9 \text{ т/м}^3 \cdot 4.715^2 \cdot \left(1 - \frac{3.14}{4}\right) = 9.08 \text{ т}$$

где: γ_{gp} – удельный вес грунта, т/м³ $\gamma_{gp} = 1.9 \text{ т/м}^3$; r = 4.715 м – радиус гофрированного арочного свода.

При этом точка приложения вертикальной силы расположена на расстоянии $x = 0,2 \cdot r = 0,914$ м от точки закрепления в фундаменте.

Горизонтальная составляющая E_a активного давления связного грунта на глубине определяется по формулам «Справочного пособия к СНиП 2.09.03-85». Сначала находим величины:

$$\sigma = \sigma_{\varphi} - \sigma_c,$$

где $\sigma_c = C \cdot K$ и $\sigma_{\varphi} = \gamma \cdot h \cdot \lambda_a$.

В этих выражениях: коэффициент активного давления λ_a вычисляется по формуле: $\lambda_a = \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi/2)$; C – удельное сцепление; $K = 2$ – безразмерный коэффициент; γ – удельный вес грунта; h – высота насыпи.

Для определения бокового давления на гофрированный арочный свод (горизонтальной силы E_a) находим:

$$\sigma_{2\varphi} = 1.9 \text{ м} / \text{м}^3 \cdot (16.04 \text{ м} + 4.715 \text{ м}) \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{15^\circ}{2}) = 23.21 \text{ м} / \text{м}^2$$

$$\sigma_{2c} = 2 \cdot 2.1 \text{ м} / \text{м}^2 \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{15^\circ}{2}) = 3.22 \text{ м} / \text{м}^2$$

$$\sigma_2 = \sigma_{2\varphi} - \sigma_{2c} = 23.21 \text{ м} - 3.22 \text{ м} = 20 \text{ м} / \text{м}^2$$

$$\sigma_{1\varphi} = 1.9 \text{ м} / \text{м}^3 \cdot 16.04 \text{ м} \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{15^\circ}{2}) = 17.94 \text{ м} / \text{м}^2$$

$$\sigma_1 = \sigma_{1\varphi} - \sigma_{2c} = 17.94 \text{ м} - 3.22 \text{ м} = 14.72 \text{ м} / \text{м}^2$$

Тогда E_a определится как равнодействующая активного давления:

$$E_a = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \cdot h_{арки} = \frac{20 \text{ м} / \text{м}^2 + 17.94 \text{ м} / \text{м}^2}{2} \cdot 4.715 \text{ м} = 89.44 \text{ м} / \text{м}$$

То есть на погонную длину в 1 м гофрированного арочного свода имеем давление 89.44 т, которое приложено на высоте

$$h = \frac{4.715}{3} \cdot \frac{2 \cdot 20 + 17.94}{20 + 17.94} = 2.4 \text{ м}$$

В случае, когда с одной стороны гофрированного арочного свода произошло замачивание грунта.

$$F_b = \gamma \cdot r^2 \cdot (1 - \frac{\pi}{4}) = 2.9 \text{ м} / \text{м}^3 \cdot 4.715^2 \cdot (1 - \frac{3.14}{4}) = 13.85 \text{ м}$$

где: $\gamma_{вод.сп}$ – удельный вес водонасыщенного грунта, $\text{т} / \text{м}^3$ $\gamma_{вод.сп} = 2.9 \text{ м} / \text{м}^3$; $r = 4.715 \text{ м}$ – радиус гофрированного арочного свода.

При этом точка приложения этой вертикальной силы, заменяющей действие грунта в пазухах ниже замка гофрированного арочного свода расположена на расстоянии $x_b = 0,2 \cdot r = 0,914 \text{ м}$ от точки закрепления в фундаменте.

Определим боковое давление на гофрированный арочный свод (горизонтальную силу $E_{a,в}$):

$$\sigma_{2\varphi} = 1.9m/m^3 \cdot 16.04m \cdot tg^2(45^\circ - \frac{15^\circ}{2}) + 2.9m/m^3 \cdot 4.715m \cdot tg^2(45^\circ - \frac{15^\circ}{2}) = 25.95m/m^2$$

$$\sigma_{2c} = 2 \cdot 2.1m/m^2 \cdot tg^2(45^\circ - \frac{15^\circ}{2}) = 3.22m/m^2$$

$$\sigma_2 = \sigma_{2\varphi} - \sigma_{2c} = 25.95m - 3.22m = 22.73m/m^2$$

$$\sigma_{1\varphi} = 1.9m/m^3 \cdot 16.04m \cdot tg^2(45^\circ - \frac{15^\circ}{2}) = 17.94m/m^2$$

$$\sigma_1 = \sigma_{1\varphi} - \sigma_{2c} = 17.94m - 3.22m = 14.72m/m^2$$

Тогда равнодействующая активного давления:

$$E_{a,с} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \cdot h_{арки} = \frac{22.73m/m^2 + 17.94m/m^2}{2} \cdot 4.715m = 95.9m/m$$

То есть на погонную длину в 1 м гофрированного арочного свода имеем давление 95.9 т, которое приложено на высоте

$$h_с = \frac{4.715}{3} \cdot \frac{2 \cdot 22.73 + 17.94}{22.73 + 17.94} = 2.45m$$

2. Рассмотренные схемы работы конструкции

Было проведено численное моделирование поведения конструкции для трех схем работы:

2.1. Нормальная проектная работа конструкции на действие расчетных нагрузок

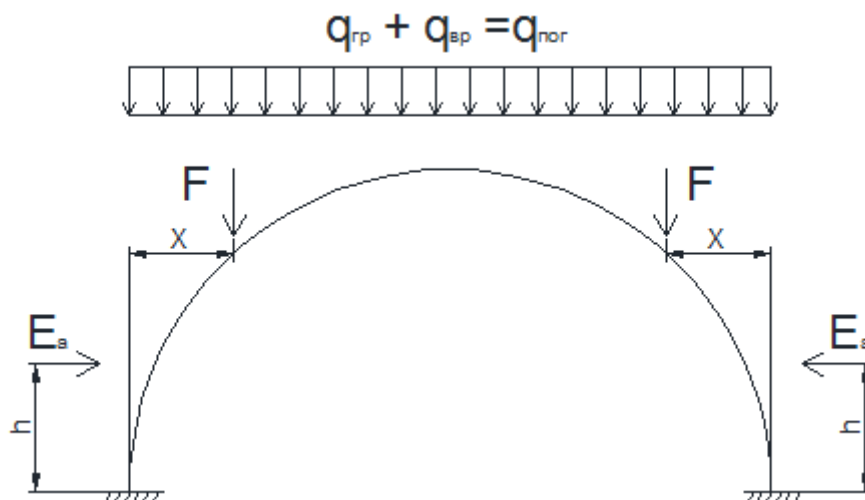


Рисунок 10. Расчетная схема для нормальной работы конструкции на расчетные нагрузки (рисунок авторов)

Figure 10. Computation scheme for the normal operation of structure under the design loads (the authors' drawing)

2.2. Работа конструкции при образовании локальных полостей за гофрированным арочным сводом (часть подпора от грунта убирается с одной стороны гофрированного арочного свода)

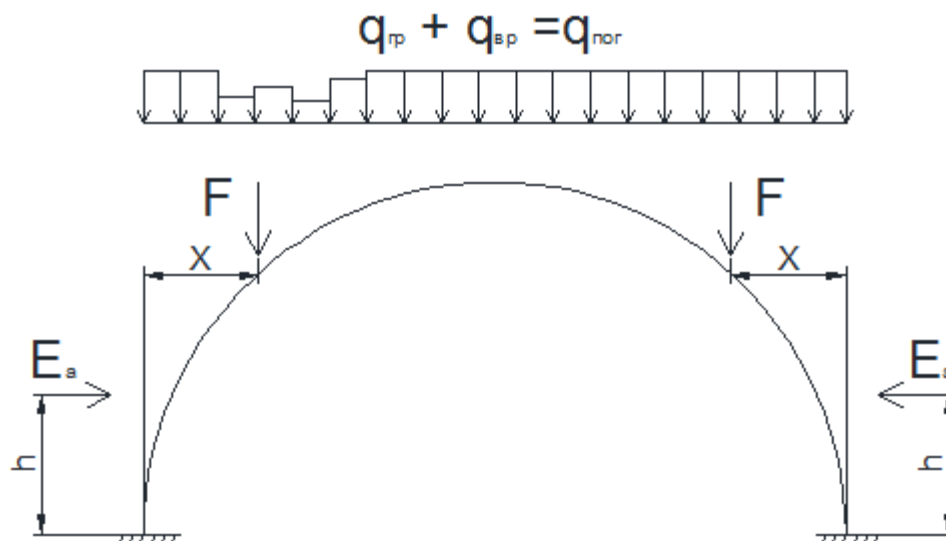


Рисунок 11. Расчетная схема для работы конструкции при образовании локальных полостей за гофрированным арочным сводом (рисунок авторов)

Figure 11. Computation scheme for operation of structure when forming local cavities behind corrugated curved arch (the authors' drawing)

2.3. Работа конструкции при полном обводнении грунта с одной стороны гофрированного арочного свода

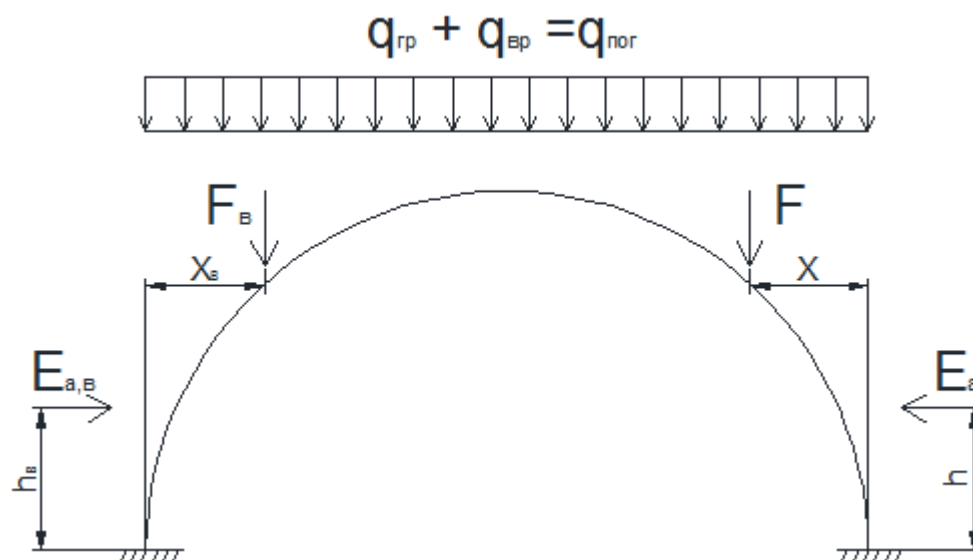


Рисунок 12. Расчетная схема для работы конструкции при обводнении грунта с одной стороны гофрированного арочного свода (рисунок авторов)

Figure 12. Computation scheme for operation of structure with come on water of the sub-soil on one side of the corrugated curved arch (the authors' drawing)

Для упрощения расчета несущие элементы гофрированного арочного свода представлены в виде *конечно элементных (КЭ)* пластин с эквивалентными геометрическими характеристиками гофрированного листа. В программе Midas Civil смоделировано 10 п.м.

конструкций гофрированного арочного свода по 20 пластин в каждом погонном метре (всего 200 КЭ пластин). Величины геометрических характеристик эквивалентных пластин приведены на рис. 13.

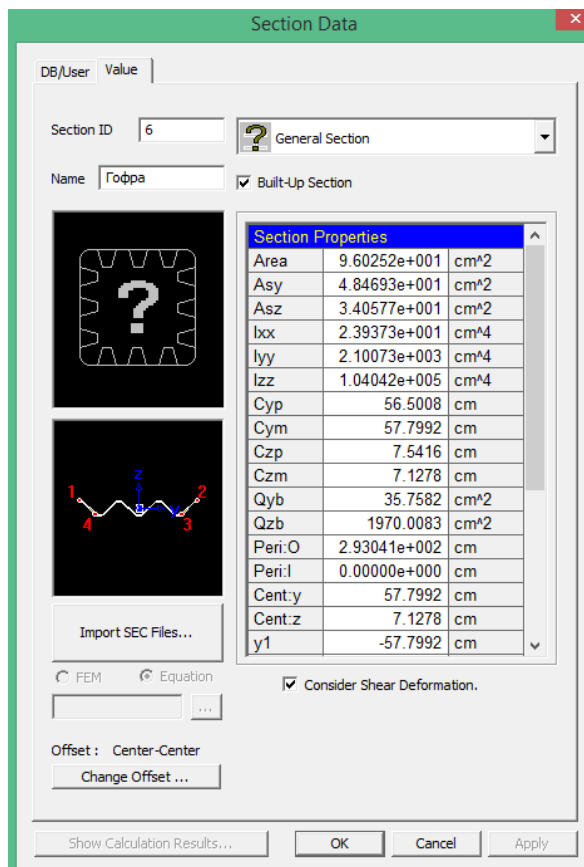


Рисунок 13. Схема сечения пластин (рисунок авторов)
Figure 13. Scheme of plate section (the authors' drawing)

3. Результаты расчета для трех схем работы конструкции

На рисунках 14-16 представлены клеенки распределения нормальных напряжений в гофрированном арочном своде от приложенных расчетных усилий.

Максимальные напряжения, возникающие в гофрированном арочном своде для 1 расчетной схемы (нормальная работа конструкции на расчетные нагрузки).

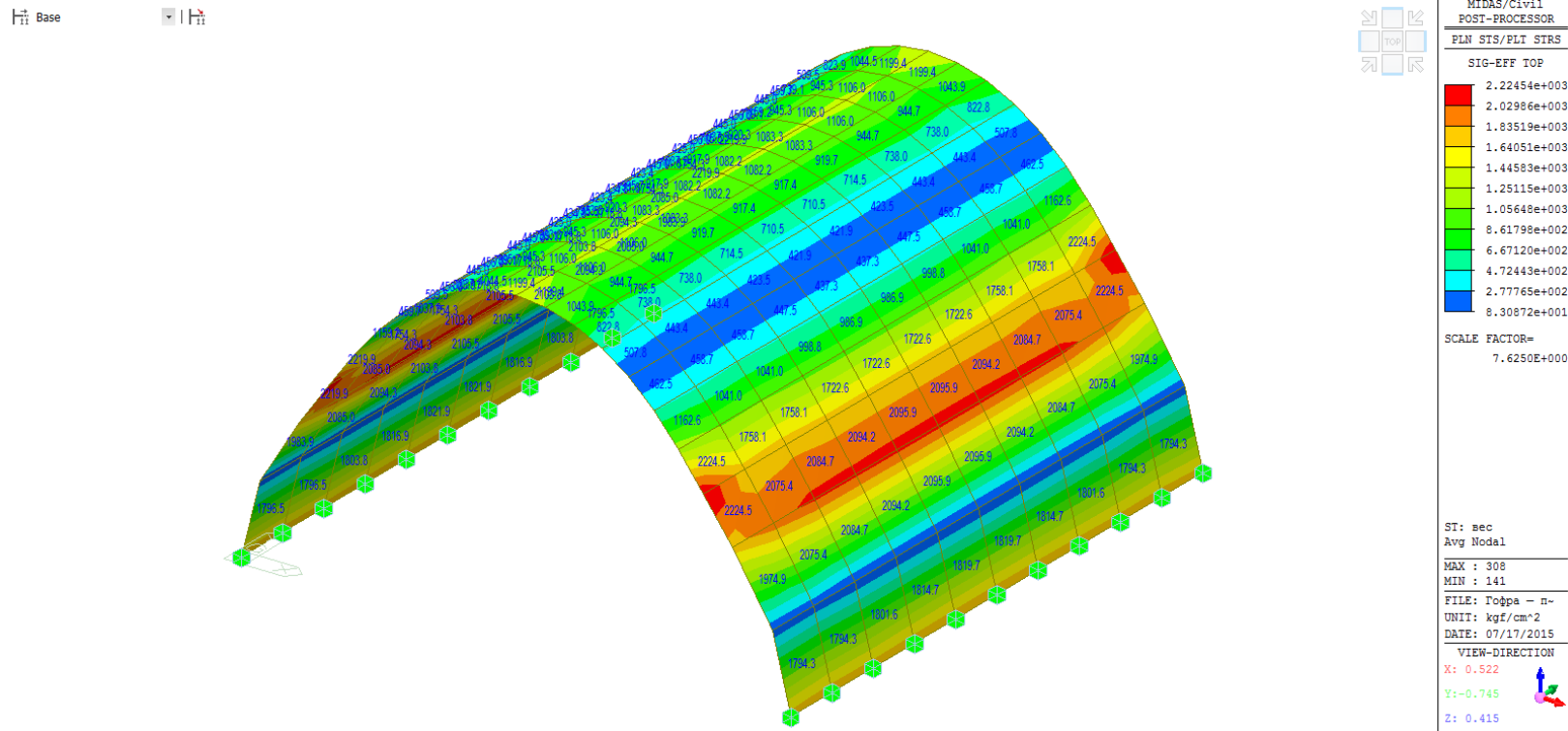


Рисунок 14. Клеенка нормальных напряжений в пластинчатых элементах от действия расчетных нагрузок (максимальное напряжение – 2224.5 кг/см²) (рисунок авторов)
Figure 14. Oilskin of normal stresses in the plate elements from the action of design loads (maximum stress is 2224.5 kg/cm²) (the authors' drawing)

Максимальные напряжения, возникающие в гофрированном арочном своде для 2 расчетной схемы (работа конструкции при образовании локальных полостей за гофрированным арочным сводом).

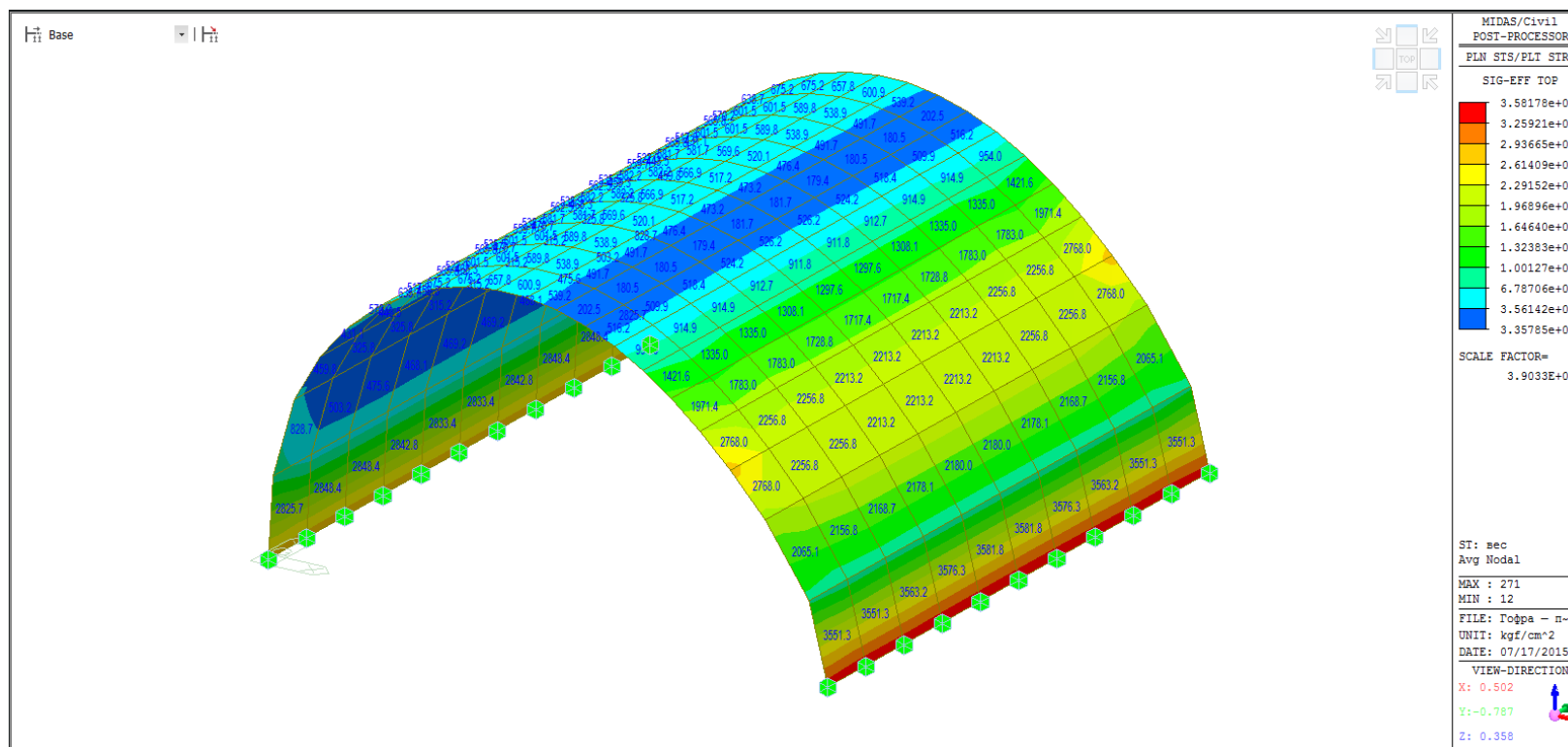


Рисунок 15. Клеенка нормальных напряжений в пластинчатых элементах от действия расчетных нагрузок (максимальное напряжение – 3581.7 кг/см²) (рисунок авторов)
Figure 15. Oilskin of normal stresses in the plate elements from the action of design loads (maximum stress is 3581.7 kg/cm²) (the authors' drawing)

Максимальные напряжения, возникающие в гофрированном арочном своде для 3 расчетной схемы (работа конструкции при обводнении грунта с одной стороны гофрированного арочного свода).

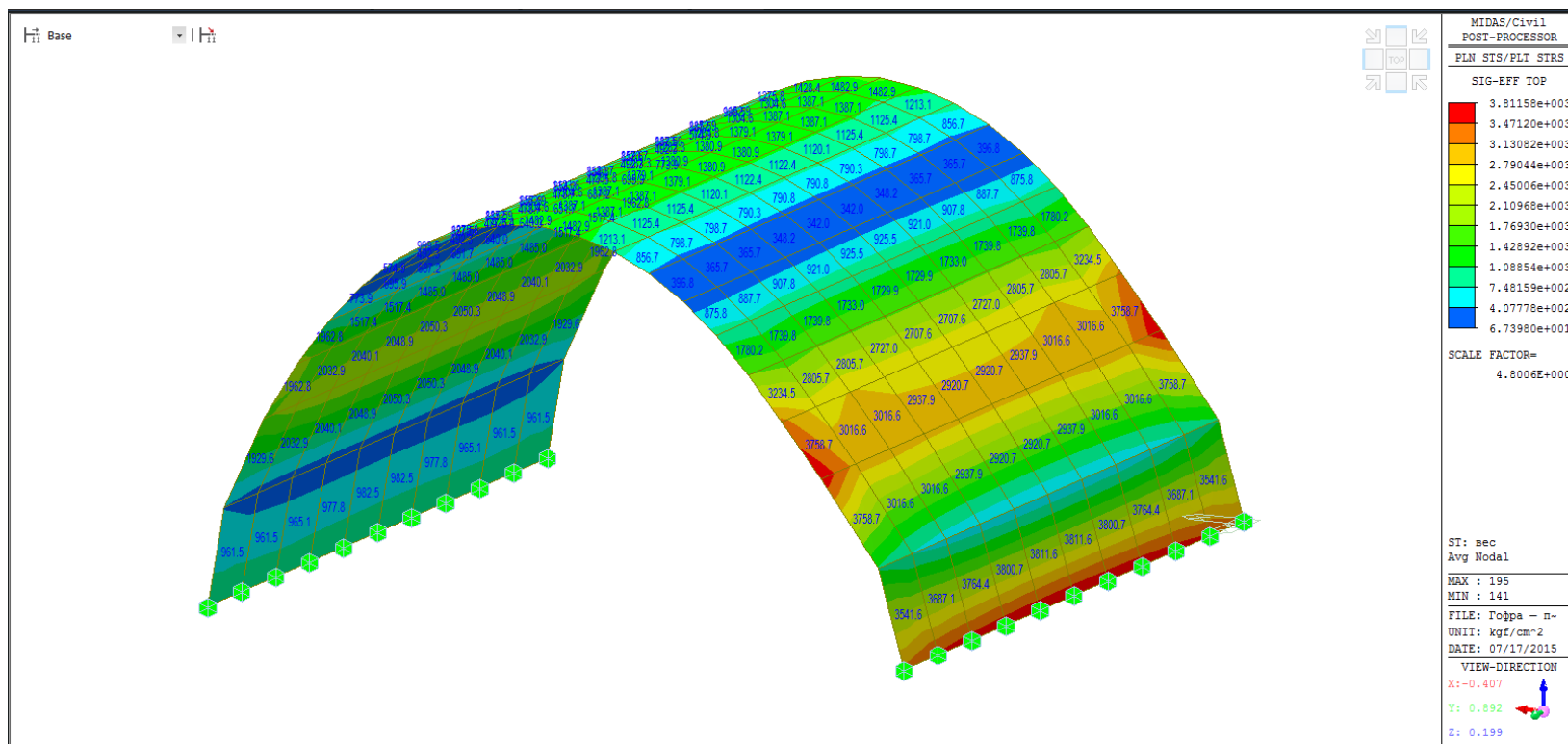


Рисунок 16. Клеенка нормальных напряжений в пластинчатых элементах от действия расчетных нагрузок (максимальное напряжение – 3811.5 кг/см²) (рисунок авторов)
Figure 16. Oilskin of normal stresses in the plate elements from the action of design loads (maximum stress is 3811.5 kg/cm²) (the authors' drawing)

Расчетное сопротивление металла гофролистов, из которых выполнен гофрированный арочный свод, составляет 3150 кг/см^2 .

Сравним максимальные напряжения, полученные в процессе расчета гофрированного арочного свода для рассмотренных трех схем работы свода с допускаемыми напряжениями.

Расчет производится по формуле

$$\sigma \leq \frac{R_y \cdot m}{\gamma_m},$$

где: $m = 0.9$ – коэффициент условия работы по таблице 8.15 СП 35.13330.2011 “Мосты и трубы”; $\gamma_m = 1.165$ – коэффициент надежности по материалу в соответствии с таблицами 8.3 и 8.4 СП 35.13330.2011 “Мосты и трубы”; $R_y = 3150 \text{ кг/см}^2$ – расчетное сопротивление металлоконструкций гофрированного арочного свода.

Для 1 расчетной схемы (нормальная работа конструкции на расчетные нагрузки):

$$2224,5 \text{ кг/см}^2 \leq \frac{3150 \text{ кг/см}^2 \cdot 0.9}{1.165},$$
$$2224,5 \text{ кг/см}^2 \leq 2433,76 \text{ кг/см}^2.$$

То есть условие прочности выполняется с небольшим запасом в 8,6%.

Для 2 расчетной схемы (работа конструкции при образовании локальных полостей за гофрированным арочным сводом):

$$3581,7 \text{ кг/см}^2 \leq \frac{3150 \text{ кг/см}^2 \cdot 0.9}{1.165},$$
$$3581,7 \text{ кг/см}^2 \leq 2433,76 \text{ кг/см}^2.$$

То есть условие прочности не выполняется с перенапряжением в 47,1%.

Для 3 расчетной схемы (работа конструкции при обводнении грунта с одной стороны гофрированного арочного свода):

$$3811,5 \text{ кг/см}^2 \leq \frac{3150 \text{ кг/см}^2 \cdot 0.9}{1.165},$$
$$3811,5 \text{ кг/см}^2 \leq 2433,76 \text{ кг/см}^2.$$

То есть условие прочности не выполняется с перенапряжением в 56,6%.

Заключение

При нормальной работе конструкции на расчетные нагрузки наступления критических усилий в гофрированном арочном своде не наблюдается (запас 8,6 %). При нарушении условий нормальной работы (образование локальных полостей в грунтовой обойме за гофрированным арочным сводом, или при обводнении грунтовой обоймы с одной стороны гофрированного арочного свода) возникают критические усилия, вызывающие наступление первого

предельного состояния (напряжения в отдельных зонах гофрированного арочного свода превосходят допускаемые напряжения материала), что может привести к разрушению самой конструкции гофрированного арочного свода.

Так же стоит отметить, что расчет был произведен без учета возможного сейсмического воздействия (район расположения сооружения относится к сейсмическим районам с 8 баллами). Следовательно, запас прочности при нормальной работе сооружения будет составлять меньшую величину.

Возникновение нарушений в условиях нормальной работы конструкции, а именно обводнение грунтовой обоймы могло возникнуть по нескольким причинам:

1. На стадии П (проекта) и РД (рабочей документации) был не совсем корректно спроектирован водоотвод;
2. Грунт в насыпи и в грунтовой обойме недостаточно был уплотнен или же применен грунт с не соответствующим коэффициентом фильтрации;
3. При эксплуатации могли возникать повреждения, влияющие на дебит воды в насыпи (например, провалы в насыпи, трещины в укреплении бетоном), которые могли быть своевременно не устранены, что могло привести к деградации грунтовой обоймы и разуплотнению насыпи.

Как следствие, из – за обводнения грунтовой насыпи происходило образование полостей в единой конструкции «грунт – гофрированный арочный свод», что привело к нарушению нормальной работы конструкции.

Обязательным условием надежной работы грунтозасыпной конструкции является совместная работа металлического гофрированного арочного свода с окружающей его грунтовой обоймой, приводящая к образованию единого грунтозасыпного сооружения, воспринимающего действующие на сооружение нагрузки и другие воздействия. Металлическая гофрированная конструкция арочного свода воспринимает, в основном, растягивающие напряжения и за счет наличия гофры купирует изгибающие моменты. Грунтовая обойма воспринимает сжимающие напряжения. При нарушении единства такой конструкции возможно её разрушение.

В подтверждении данной гипотезы говорит отчет о геофизических исследованиях грунтовой насыпи. В данном отчете указывается, что грунтовый массив насыпи по геоэлектрическим свойствам в целом однородный за исключением областей, прилегающих к ЖД тоннелю и находящихся над ним. Следовательно, в целом можно говорить о возможном наличии локальных неоднородностей грунтов в пространстве над гофрированным арочным сводом, которые, вероятнее всего, связаны с локальным разуплотнением или же размывом грунта.

Также в подтверждение выдвинутой гипотезы разрушения конструкции гофрированного арочного свода говорят результаты металловедческого исследования представленных образцов гофрированных листов, из которых был выполнен гофрированный арочный свод. В экспертном заключении утверждается, что характер изломов разрушенных поверхностей носит силовой характер без признаков усталостного или коррозионно-усталостного разрушения.

Проблеме исследования взаимодействия гофрированных металлических конструкций с окружающим грунтом посвящены также работы [2-4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Стрижевский Д.А., Кочетков А.В., Янковский Л.В., Задворнов В.Ю., Валиев Ш.Н., Талалай В.В. Использование беспилотных летательных аппаратов при экспертизе ДТП и введении ограничений скоростного режима // Транспорт: проблемы и перспективы: Сборник материалов Международной научно-практической конференции / под общ. ред. В.В. Харина. – Курган: КИЖТ. УрГУПС, 2016. – 180 с. с. 110-113.
2. Овчинников И.Г., Беляев В.С., Яковлев Л.С., Осокин И.А. 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 // Науковедение (электронный журнал). 2013 №6 (19) [Электронный ресурс]. М. – 2013. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/130TVN613.pdf>, свободный – Загл. с экрана.
3. Беляев В.С., Яковлев Л.С., Овчинников И.Г., Осокин И.А. 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 // Науковедение (электронный журнал). 2013 №6 (19) [Электронный ресурс]. М. – 2013. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/190TVN613.pdf>, свободный – Загл. с экрана.
4. Беляев В.С., Яковлев Л.С., Овчинников И.Г., Осокин И.А. 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 // Науковедение (электронный журнал). 2014 №1 (20) [Электронный ресурс]. М. – 2014. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/13TVN114.pdf>, свободный – Загл. с экрана.

Ovchinnikov Ilya Igorevich

Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov
Moscow state automobile & road technical university
Sochi branch, Russia, Sochi
E-mail: bridgeart@mail.ru

Ovchinnikov Igor Georgievich

National research nuclear university MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute)
Balakovo institute of engineering and technology (branch), Russia, Balakovo
Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov
Perm national research polytechnic university, Russia, Perm
E-mail: bridgesar@mail.ru

Blinkov Maxim Andreevich

Institute «Proektmostorekonstruktsiya», Russia, Saratov
E-mail: diamond@bridge-pmr.ru

Zarudny Andrey Igorevich

Institute «Proektmostorekonstruktsiya», Russia, Saratov
E-mail: diamond@bridge-pmr.ru

Estimation of the possible causes of a corrugated pipe destruction under the auto-road in the Crimea

Abstract. With the use of the Midas Civil software, the authors simulated the behavior of a road embankment section with a corrugated arched construction laid under it. Numerical simulation of the structure behavior for three operation schemes was carried out: a normal design behavior of the structure under the impact of design loads; behavior of the structure when forming local cavities behind the corrugated curved arch (a part of the support from the ground is removed from one side of the corrugated curved arch) and behavior of the structure with come on water of the sub-soil on one side of the corrugated curved arch. For all design schemes the article presents the oilskins of distribution of normal stresses in the corrugated curved arch from the applied rated forces. Analysis of the calculation data made it possible to establish that in the event of violation of normal operation conditions (formation of local cavities in the sub-soil casing behind the corrugated curved arch or when watering soil casing on one side of the corrugated curved arch), the critical forces arise causing the onset of the first limit state (the zonal stresses of the corrugated curved arch exceed the permissible ones of material), what can lead to destruction of the corrugated curved arch construction itself. It is noted that the obligatory condition for reliable operation of the soil-filling structure is the joint work of the metal corrugated curved arch with the soil-up casing surrounding it, that leading to the formation of a single soil-filling structure perceiving the loads acting on the structure and other impacts.

Keywords: destruction of embankment; corrugated structure; soil-filling structure; mathematical simulation; design analysis; destruction cause research

REFERENCES

1. Strizhevskij D.A., Kochetkov A.V., Jankovskij L.V., Zadvornov V.Ju., Valiev Sh.N., Talalaj V.V. (2016). Ispol'zovanie bespilotnyh letatel'nyh apparatov pri `ekspertize DTP i vvedenii ogranichenij skorostnogo rezhima. [*The use of unmanned aerial vehicles in the examination of accidents and the introduction of speed limits*. Ed. by V.V. Harina] Kurgan: KIZhT. UrGUPS, p. 180.
2. Ovchinnikov I.G., Beljaev V.S., Jakovlev L.S., Osokin I.A. (2013). 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. Part 1. Review and analysis of foreign static experimental studies. *Naukovedenie*, [online] 6(19). Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/130TVN613.pdf> (in Russian).
3. Beljaev V.S., Jakovlev L.S., Ovchinnikov I.G., Osokin I.A. (2013). 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. Part 2. Review of domestic experimental research. Comparison of the experimental results with the results of calculations using different methods. *Naukovedenie*, [online] 6(19). Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/190TVN613.pdf> (in Russian).
4. Beljaev V.S., Jakovlev L.S., Ovchinnikov I.G., Osokin I.A. (2014). 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. Part 3. Domestic experimental research. Dynamic testing. *Naukovedenie*, [online] 1(2), p. 1-9. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/13TVN114.pdf> (in Russian).