

УДК 624.042

Беляев Вячеслав Семенович

ООО «НПФ «Строй-Динамика»»
Россия, Санкт-Петербург¹
Генеральный директор, Доктор технических наук
E-Mail: belyaev@mail.wplus.net

Яковлев Лев Сергеевич

ЗАО «Гофросталь»
Россия, Московская область, Наро-Фоминский район, пос. Селятино,
Технический директор
E-Mail: yakovlev@gofrostal.ru

Овчинников Игорь Георгиевич

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Россия, Пермь
Профессор, Доктор технических наук
E-Mail: bridgesar@mail.ru

Осокин Илья Александрович

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения»
Россия, Екатеринбург
Аспирант
E-Mail: ilyanashivfinale@mail.ru

**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**

¹ 197706, Россия, Санкт-Петербург, ул. Полевая, 5.

Аннотация: Проблема расчета металлических гофрированных конструкций является весьма сложной, но, учитывая перспективность и преимущества конструкций данного типа, вместе с тем актуальной задачей. Сложность расчета металлических гофрированных конструкций обусловлена их большой гибкостью и расположением в грунтовой среде, следствием чего является совместная работа грунтовой обоймы и стальной гофрированной оболочки конструкции.

Для объективной оценки используемых и разрабатываемых расчетных методик необходимо провести экспериментальную работу, в рамках которой модель металлической гофрированной конструкций загружается нагрузками, имитирующими расчетные нагрузки, фиксируются параметры напряженно-деформированного состояния. Одним из видов воздействий на металлические гофрированные конструкции являются динамические воздействия. Данный вид силовых воздействий на конструкции транспортных сооружений может быть реализован в сейсмически-активных районах строительства, а также посредством динамических воздействий от подвижного состава.

В данной статье подробно рассмотрен эксперимент на модели металлической гофрированной конструкции арочного полукругового очертания, испытанной с помощью сейсмоплатформы СГД-75. С помощью данной сейсмоплатформы возможна имитация как однонаправленных динамических загрузений (горизонтальное, вертикальное), так и многокомпонентных, включающих вращательные составляющие движения.

В ходе испытаний с помощью установленных датчиков фиксировались нормальные напряжения в стальных гофрированных листах, изменения формы поперечного сечения конструкции, а также напряжения в грунте. В настоящей статье представлены обработанные результаты испытаний в виде графиков и таблиц. Данные испытания позволят совершенствовать методики расчета металлических гофрированных конструкций, испытывающие динамические (в частности, сейсмические) воздействия.

Ключевые слова: Сооружение; металлическая гофрированная конструкция; динамические воздействия; экспериментальное исследование; нагрузки; сейсмика.

Идентификационный номер статьи в журнале 13TVN114

Vyacheslav Belyaev
«SPC «Story-Dinamica» Ltd.
Russia, St. Petersburg
E-Mail: belyaev@mail.wplus.net

Lev Yakovlev
CJSC “Gofrostal”
Russia, Naro-Fominsk district, pos. Selyatino
E-Mail: yakovlev@gofrostal.ru

Igor Ovchinnikov
Perm national research polytechnic university
Russia, Perm
E-Mail: bridgesar@mail.ru

Ilya Osokin
Ural State University of Railway Transport
Russia, Ekaterinburg
E-Mail: ilyanashivfinale@mail.ru

Analysis of the experimental research of the behavior of metal corrugated structures under static and dynamic loads with account of their collaboration with the surrounding soil. Part 3. Domestic experimental studies. Dynamic tests

Abstract: The problem of calculation of corrugated metal structures is very complicated , but given the prospects and benefits of structures of this type , however, an urgent task. Computational complexity of corrugated metal structures due to their great flexibility and location in soil medium , resulting in a joint work dirt races and corrugated steel shell construction .

Used for objective assessment and developed computational techniques necessary to conduct experimental work in which the model of corrugated metal structures loaded loads simulating design loads are fixed parameters of the stress- strain state . One of the types of impacts on metal corrugated structures are dynamic effects . This type of power influences on the construction of transportation facilities can be implemented in a seismically active areas of construction , as well as through the dynamic effects of the rolling stock.

This article describes how an experiment on the model of corrugated metal structures arch semicircular shape, seysmoplatformy tested using the SGD -75. With the help of this simulation as possible seysmoplatformy unidirectional dynamic loadings (horizontal, vertical) and multicomponent including rotational components of motion.

In trials using sensors installed fixed normal stresses in steel corrugated sheets , changing the shape of the cross-sectional structure , and a ground voltage . This article presents the results of tests processed in the form of graphs and tables. These tests allow to improve the methodology of calculation of corrugated metal structures , experiencing dynamic (including seismic) effects .

Keywords: Construction; metal bellows design; dynamic effects; a pilot study load; seismic.

Identification number of article 13TVN114

1. Введение

В реальных условиях эксплуатации металлические гофрированные конструкции могут подвергаться не только статическому, но и динамическому нагружению. Причем источником динамических воздействий может служить и воздействие проходящего над гофрированными трубчатыми конструкциями транспорта, и сейсмические воздействия, интенсивность которых зависит от района строительства.

И если либо лабораторные, либо натурные статические *испытания металлических гофрированных конструкций (МГК)* проводятся, а результаты их сопоставляются с результатами расчетного анализа [1] – [16] то динамические испытания проводятся весьма редко. Дело в том, что при проведении динамических испытаний необходимо корректно оценивать характер и интенсивность динамических воздействий, а для этого надо иметь специализированные испытательные стенды, позволяющие создавать управляемые и измеряемые динамические воздействия на конструкции.

Проведение экспериментальных исследований динамического поведения гофрированных металлических конструкций, взаимодействующих с грунтом засыпки представляет интерес также и с точки зрения построения расчетных схем, позволяющих корректно моделировать поведение таких конструкций при динамическом нагружении с учетом нелинейных эффектов взаимодействия конструкции с грунтом, а также геометрической и физической нелинейности гофрированной конструкции.

В данной статье рассмотрены методика и результаты сейсмических испытаний арочной гофрированной металлической конструкции [17], проведенных под руководством д.т.н. Беляева В.С.

2. Динамические испытания полукруговой арочной МГК

Объектом исследования являлась арочная МГК кругового очертания, с углом кругового сектора $\varphi = 182^\circ$ (полукруговая арка). МГК выполнена из гофрированных листов профилем 381x140 мм, толщиной 4 мм. Пролет арки составлял 5,0 м, высота 2,55 м. Испытания проводились с применением сейсмоплатформы СГД-75. Сейсмоплатформа СГД-75 представляет собой прямоугольную металлическую конструкцию размером 11,3*5,0*0,5 м, установленную с зазором внутри жесткого обрамления коробчатой формы на пневматических элементах подушечного типа. На сейсмоплатформе закреплен лоток с жесткими стенками. Размеры внутренней полости лотка составляют 9,5*2,6*4,0 м. Испытательная установка расположена на открытой площадке (рис.1).

Для обеспечения требуемого по условиям испытаний движения сейсмоплатформы используется силовой привод, состоящий из набора пороховых толкателей, пневматических и гидравлических активаторов, с помощью которых реализуется импульсное нагружение, вибромашин для воспроизведения вибрационного нагружения и системы программного управления их действием. В результате суперпозиции этих процессов и их наложения на колебание упруго опертой сейсмоплатформы формируется испытательное нагружение с заданными параметрами. Сейсмоплатформа может совершать как однонаправленное (горизонтальное, вертикальное), так и многокомпонентное, включающее вращательные составляющие, движение.



Рис. 1. Общий вид камеры сейсмоплатформы СГД-75

Управление параметрами испытательного движения помимо программного включения в действие устройств силового привода производится путем вариации характеристик пороховых толкателей (масса, тип заряда), пневматических и пневмогидравлических активаторов (величина давления, дроссельное сопротивление, уровень заполнения и т.д.), расположения и режимов работы вибромашин. В результате целенаправленного выбора характеристик силового привода на сейсмоплатформе обеспечивается реализация трех основных видов сейсмических воздействий:

- «ударносейсмического», воспроизводящего сотрясение заглубленных конструкций при воздействии, например, близких промышленных взрывов;
- «жесткосейсмического», имитирующего, в частности, сейсмические колебания на высоких (12 м и выше) отметках зданий и сооружений, а также воспроизводящие, в соответствии с законами подобия, условия сейсмических испытаний маломасштабных моделей заглубленных конструкций;
- «мягкосейсмического», имитирующего движение грунта и натуральных или крупномасштабных образцов заглубленных конструкций в условиях землетрясений различной интенсивности.

Пределы изменения амплитудно-временных значений движения сейсмоплатформы при этих видах испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры испытательных режимов

Тип режима нагружения	Ускорения (g) по осям		Скорости (м/с) по осям		Смещения (м) по осям		Длительности нагружения, с
	oz	ox(oy)	oz	ox(oy)	oz	ox(oy)	
Ударно-сейсмический	+15/-2	±30	+3/-1	±3	+0,1	±0,1	до 1,0
Жестко-сейсмический	±7/-2	±10	±2	±2	±0,2	±0,2	до 10,0
Мягко-сейсмический	±2	±2	±1	±1	+0,3/-0,2	±0,5	до 60,0

При проведении экспериментальных исследований модели МГК полукруглого сечения в условиях имитации действия сейсмической нагрузки фиксировались основные параметры напряженно-деформированного состояния испытуемой МГК и грунтовой среды засыпки. К регистрируемым параметрам относятся: прогибы арки; относительные деформации на вершинах и впадинах гофра; давление грунта в прилегающей к МГК области засыпки. Измерения производились в центральном продольном сечении лотка сейсмоплатформы с целью снижения влияния граничных условий. Все датчики деформаций ориентированы вдоль гофра.

Измерению и регистрации подлежали следующие параметры движения сейсмоплатформы: ускорения в вертикальном и горизонтальном направлениях с амплитудами до $\pm 50 \text{ м/с}^2$ ($5g$) и с частотным диапазоном $0 \div 100$ Гц; смещения в вертикальном и горизонтальном направлениях с амплитудами до ± 0.25 м и с частотным диапазоном $0 \div 10$ Гц; относительные смещения точек МГК с амплитудами до ± 0.06 м и с частотным диапазоном $0 \div 10$ Гц; давления грунта с амплитудами до 10 кг/см^2 и с частотным диапазоном $0 \div 30$ Гц.

Схема расстановки датчиков представлена на рис. 2 (продольный разрез в центральном сечении лотка). Всего установлено 40 датчиков, в том числе 14 датчиков относительных деформаций (тензорезисторов) материала МГК (№№ Т1÷Т14), 7 датчиков прогиба (относительных перемещений) точек МГК (№№ Р1÷Р7), 7 датчиков давления грунта (№№ D1÷D7), 4 датчика вертикальных и горизонтальных ускорений сейсмоплатформы (№№ А166, А192, А184, А193), 4 датчика вертикальных и горизонтальных перемещений сейсмоплатформы (№№ Р8÷Р11).

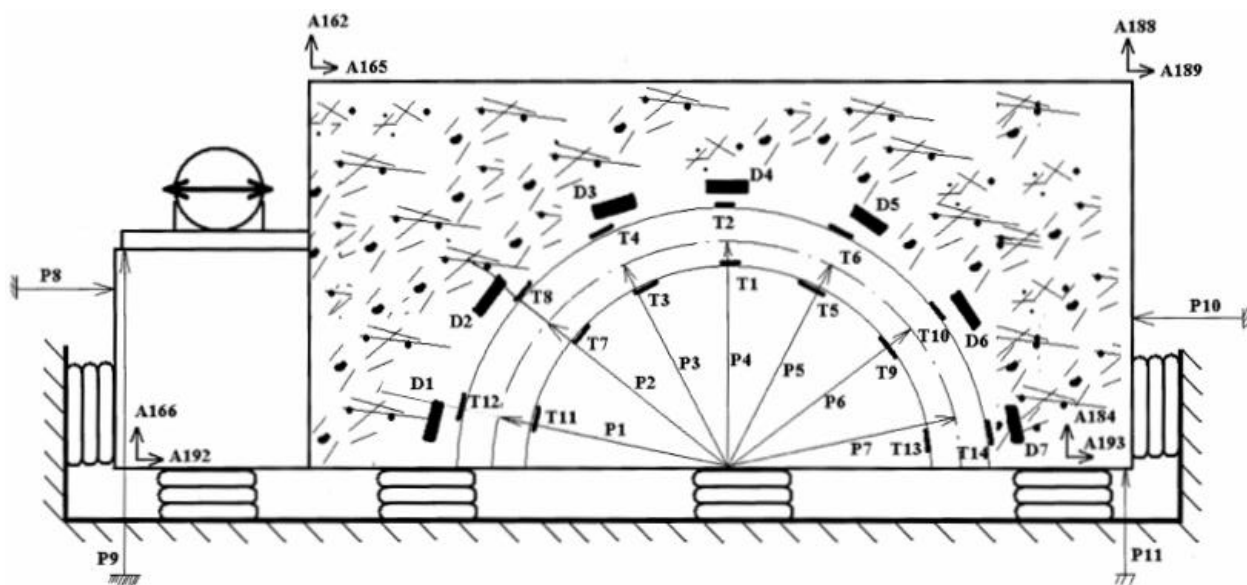


Рис. 2. Схема расположения датчиков

Представленные в настоящей статье испытания воспроизводят сейсмические колебания арки из МГК и окружающего грунта засыпки в процессе землетрясения с повторяемостью 1 раз в 500 лет. Пиковое значение горизонтального ускорения грунта в основании МГК при землетрясении составляет $0,253 g$, пиковое значение вертикального ускорения – $0,152 g$, а расчетная сейсмичность $8,3$ балла по шкале MSK-64.

Вид акселерограмм вертикального и горизонтального расчетного испытательного движения сейсмоплатформы показан на рис. 3 и 4. На этих рисунках приведены также графики изменения во времени ускорения верха стенки грунтового лотка сейсмоплатформы в

горизонтальном и вертикальном направлениях при проведении опытов. Эти графики представляют собой выделенную искусственно часть существенно более длительного процесса колебаний сейсмоплатформы (45-50 с) и соответствуют наиболее интенсивной стадии сейсмического нагружения – взаимного наложения импульсивной и вибрационной составляющих возбуждаемых колебаний. Рассматриваемая часть процесса находится в интервале от 16,8 до 26,8 с.

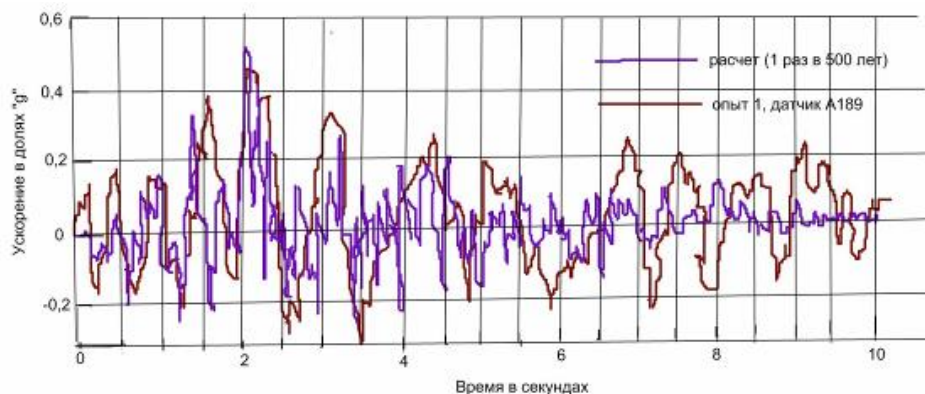


Рис. 3. Расчетная и опытная акселерограммы горизонтального испытательного движения сейсмоплатформы.

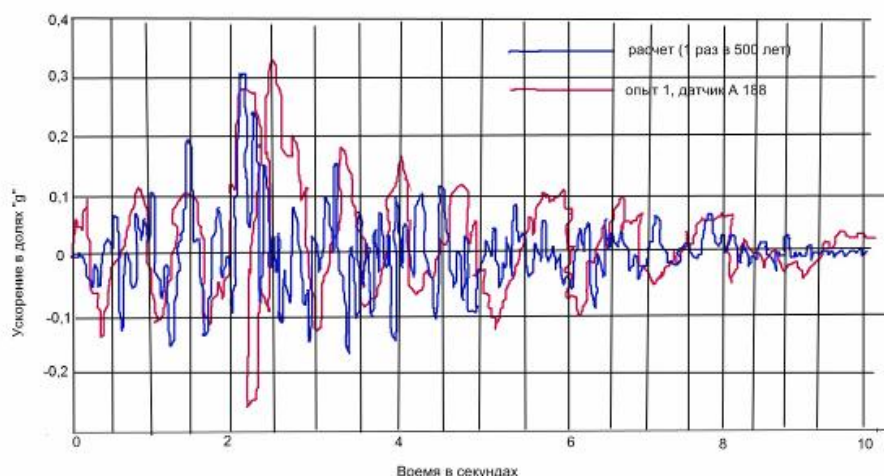


Рис. 4. Расчетная и опытная акселерограммы вертикального испытательного движения сейсмоплатформы.

Расчетные акселерограммы получены с помощью программного комплекса ANSYS, при этом, учтены особенности поведения грунтовой среды при динамических нагружениях [17].

Из сравнения расчетных и опытных акселерограмм на рис. 3-4 можно отметить вполне удовлетворительное соответствие частотно-временных характеристик моделируемого и испытательного сейсмического нагружения и пиковых значений процессов, особенно для горизонтальной составляющей. Амплитуды ускорения вертикального движения сейсмоплатформы в экспериментах изменяются в более широком диапазоне, чем это требуется из данных расчета, и опытные акселерограммы огибают расчетную практически во всем временном интервале. Это приводит к некоторому избыточному нагружению испытываемой модели грунтозасыпной МГК в вертикальном направлении. В целом, условия испытательного нагружения модели можно оценить как соответствующие с незначительным консерватизмом требованиям моделирования и удовлетворяющие целям экспериментов.

3. Результаты испытаний

В таблицах 2-5 представлены полученные в результате обработки опытных данных максимальные значения знакопеременных амплитуд изменения параметров напряженно-деформированного состояния системы «арка из МГК – грунт» на трех стадиях испытательного процесса. Согласно показаниям датчиков сейсмические нагрузки испытываемой модели послужили причиной весьма умеренной и далекой от критической, динамической деформации конструкций арки и окружающего грунта.

Таблица 2

Максимальные перемещения точек центрального поперечного сечения модели МГК на стадиях процесса динамической деформации

Точка измерения		1	2	3	4	5	6	7
Номер датчика		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Максимальные перемещения, мм, на стадиях процесса	1	0	-0,81/ -0,52	-0,70/ -0,50	-0,42/ -0,40	-0,52/ -0,20	+0,40/ +0,30	0
	2	0	+0,61	+0,75	-0,20	-0,70	-0,65	0
	3	0	-0,39	-0,50	-0,60	-0,40	+0,3	0

Таблица 3

Максимальные относительные деформации материала гофролистов (вершина гофра) на стадиях процесса динамической деформации

Точка измерения		1	2	3	4	5	6	7
Номер датчика		T11	T7	T3	T1	T5	T9	T13
Относительные деформации, 10^{-4} на стадии процесса	1	-0,22/ -0,20	+0,30/ +0,16	+0,32/ +0,15	-0,30/ -0,11	+0,41/ +0,35	-0,40/ -0,35	-0,37/ -0,35
	2	-0,19	-0,25	-0,51	+0,31	+0,51	+0,32	+0,18
	3	-0,21	-0,08	+0,10	+0,25	+0,40	-0,38	-0,45

Таблица 4

Максимальные относительные деформации материала гофролистов (впадина гофра) на стадиях процесса динамической деформации

Точка измерения		1	2	3	4	5	6	7
Номер датчика		T12	T8	T4	T2	T6	T10	T14
Относительные деформации, 10^{-4} на стадии процесса	1	+0,10/ +0,08	-0,36/ -0,17	-0,40/ -0,20	~ 0	-0,40/ -0,28	+0,21/ +0,19	+0,13/ +0,10
	2	+0,21	+0,24	+0,50	~ 0	-0,31	-0,25	-0,13
	3	+0,12	+0,02	+0,21	~ 0	-0,29	+0,27	+0,20

Таблица 5

Максимальные значения давления грунта на удалении (~ 10 см) от модели МГК в ее центральном поперечном сечении на стадиях процесса динамического нагружения

Точка измерения		1	2	3	4	5	6	7
Номер датчика		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Давления, кПа, на стадии процесса	1	-9,0/ -4,0	+1,5/ +1,0	+9,0/ +5,0	+0,8/ +0,4	+12,0/ +10,0	+2,2/ +2,0	~ 0
	2	+8,5	+4,0	+13,0	+1,5	-7,0	-1,0	~0
	3	-4,0	-4,0	+5,0	~ 0	+7,5	+1,0	~ 0

Максимальные величины прогиба МГК вдоль периметра центрального поперечного сечения изменялись в диапазоне от 0,40 мм до -0,81 мм на первой стадии нагружения, от 0,75 мм до - 0,70 мм на второй и от 0,3 мм до -0,6 мм на третьей стадиях, максимальные динамические напряжения в материале гофролистов ($E=2 \cdot 10^5$ МПа) на вершинах гофра: от 8,2 МПа до -7,4 МПа (первая стадия) и от 10,2 МПа до - 10,2 МПа (вторая стадия) и от 8,0 МПа до -9,0 МПа (третья стадия), на впадинах гофра: от 4,2 МПа до -8,0 МПа, от 10,0 МПа до -6,2 МПа и от 5,4 МПа до -5,9 МПа соответственно. Давления в грунтовой среде вокруг МГК изменялись в диапазоне от 12,0 кПа до -9,0 кПа (первая стадия), от 13,0 кПа до -7,0 кПа (вторая стадия) и от 7,5 кПа до -4,0 кПа (третья стадия).

В качестве стадий, определяющих напряженно-деформированное состояние системы «арка из МГК – грунт» можно выделить первую (вибрационную) и вторую (импульсивно-вибрационную активную) стадии испытательного нагружения.

Необходимо отметить, что, как и во время активной фазы (вторая стадия), максимальные значения параметров состояния МГК и давления грунта на первой стадии реализуются практически синхронно с максимальными амплитудами ускорения сейсмоплатформы. Отличия во временах достижения максимумов процессов в различных точках измерений не превышают 0,1÷0,2 с, их появление связано с эффектами фактически существующей деформируемости конструкций сейсмоплатформы, сжимаемости грунтовой среды и возможности взаимной подвижности гофролистов в болтовых отверстиях. Точная оценка отмеченных эффектов при анализе показаний опытов затруднена.

В связи с этим приемлемым для получения консервативных оценок является условный прием объединения табличных (таблицы 2-5) амплитудных значений при построении эпюр (рис. 5-9), характеризующих состояние МГК и грунта, несмотря на некоторую разновременность достижения максимумов в точках измерений. Вид эпюр динамической деформации центрального сечения МГК (рис. 5), указывает на превалирующее влияние обжатия арки на основной части периметра сечения на первой стадии нагружения и существенно несимметричный прогиб гофролистов на второй активной стадии нагружения с образованием области вдавливания со стороны действия пневматического активатора. В целом наблюдаются аналогичные закономерности формирования динамических напряжений в материале гофролистов на вершинах (рис. 6) и на впадинах (рис. 7) гофров, а также в прилегающей к МГК грунтовой среде (рис. 8). Следует отметить близость по модулю опытных значений динамических напряжений на вершинах и впадинах гофра и подобие их распределения по периметру МГК, положительные значения которых соответствуют сжатию материала, отрицательные – растяжению материала. Такая картина деформации гофрированной поверхности свидетельствуют об упругой работе материала МГК. С учетом этого обстоятельства наиболее вероятной причиной появления выявленного при анализе опытных данных нелинейного эффекта – образования остаточных прогибов МГК - может быть проскальзывание болтов в болтовых отверстиях при действии интенсивных

динамических испытательных нагрузок. Вид центрального поперечного сечения МГК после окончания опыта иллюстрируется опытной эпюрой на рис. 9. Анализ рисунка позволяет отметить почти равномерное остаточное обжатие сборной листовой конструкции арки с максимальным остаточным прогибом в своде (0,6 мм) [17].

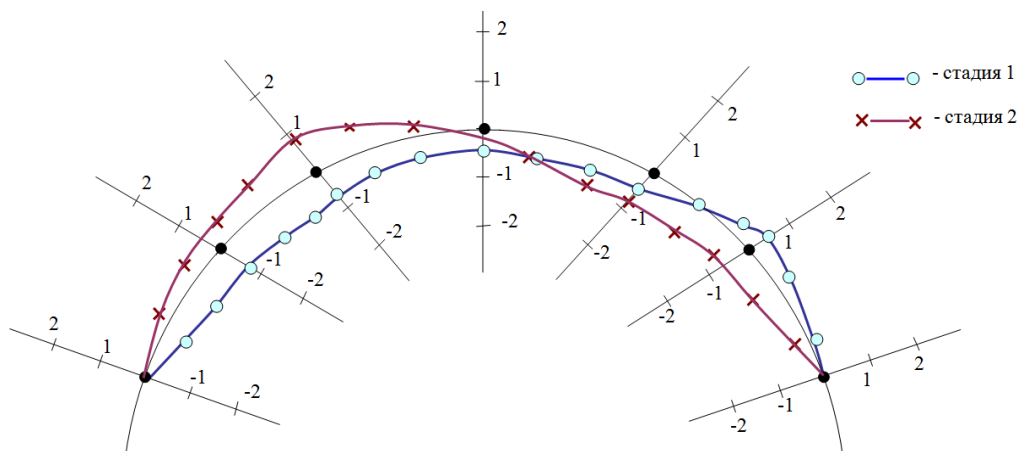


Рис. 5. Деформация центрального сечения МГК (мм) при максимальном нагружении

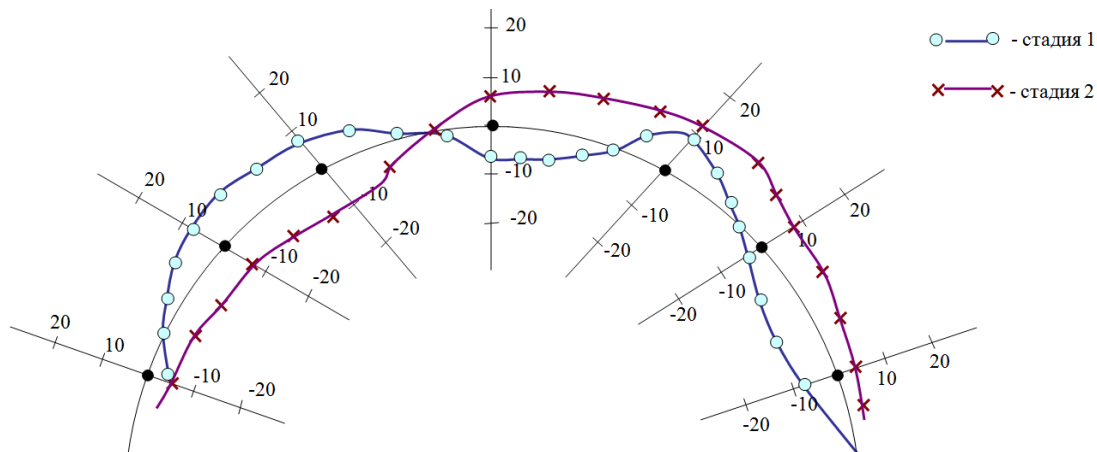


Рис. 6. Динамические напряжения в материале гофролистов (МПа) центрального поперечного сечения МГК (вершина гофра) в момент максимальной деформации

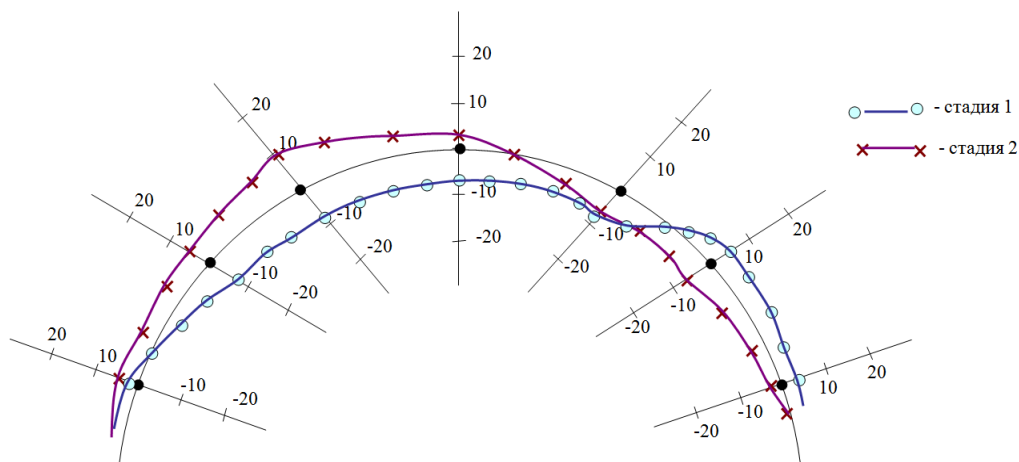


Рис. 7. Динамические напряжения в материале гофролистов (МПа) центрального поперечного сечения МГК (впадина гофра) в момент максимальной деформации

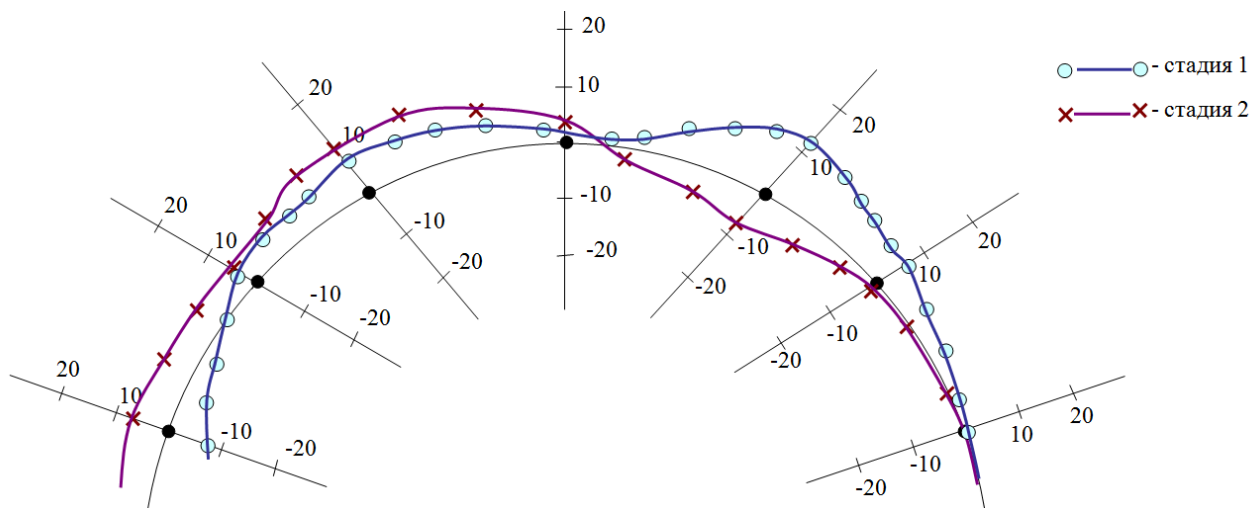


Рис. 8. Распределение динамического давления в грунте (кПа) около МГК при максимальном нагружении

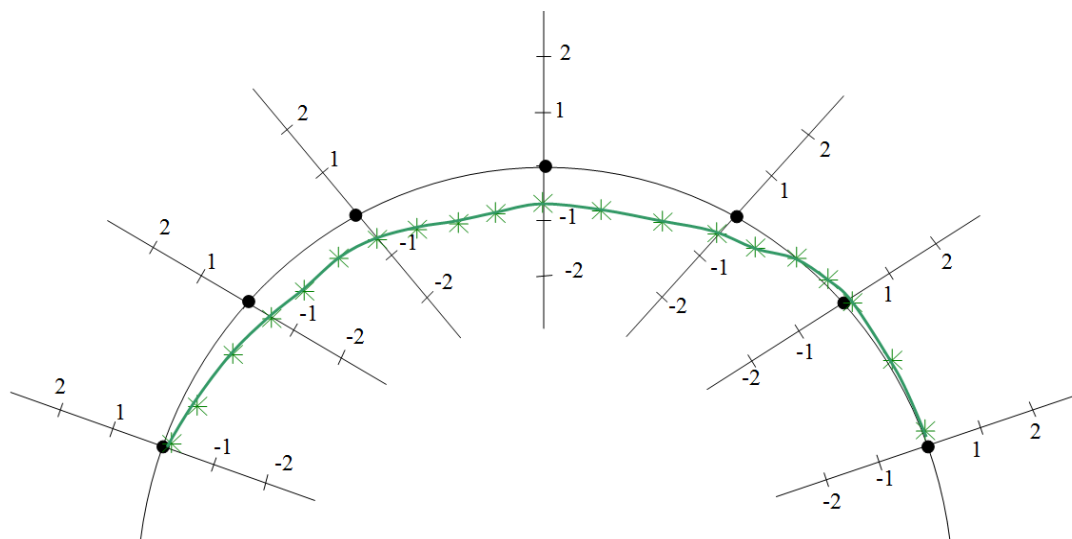


Рис. 9. Деформированное состояние центрального сечения МГК (мм) после завершения опыта

4. Выводы:

1. В соответствии с полученными данными, следует ожидать, что конструкция без ущерба выдержит сейсмические воздействия при условии сохранности фундаментных опор арки. При этом максимальные значения прогиба МГК в поперечном сечении не превысят 2 мм, а максимальные динамические напряжения в материале гофров – 11 МПа (для сравнения расчетное сопротивление для стали 09Г2-12 составляет 290 МПа).

2. Обследование модели после опыта и данные экспресс - обработки записей датчиков подтвердили вполне удовлетворительное состояние металлических конструкций МГК, отсутствие каких-либо повреждений болтовых соединений гофролистов, нарушений сплошности грунтовой засыпки. Как следствие, можно предположить, что испытанная конструкция способна выдерживать и более интенсивные сейсмические воздействия.

3. Результаты проведенных испытаний могут быть использованы при построении и идентификации динамической модели гофрированной металлической конструкции, основанной на использовании моментной и полубезмоментной теории оболочек В.З. Власова.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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// Интернет-журнал "Науковедение" № 6, 2013. с. 1-15.
2. 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. Отечественные экспериментальные исследования. Сопоставление результатов эксперимента с результатами расчетов по разным методикам// Интернет-журнал "Науковедение" № 6, 2013. с. 1- 29.
3. Иванов А.В., Овчинников И.Г. Моделирование напряженно-деформированного состояния осесимметрично загруженной железобетонной цилиндрической оболочки в условиях хлоридной коррозии// Региональная архитектура и строительство. 2007 №1(2), с. 43 -52.
4. Овчинников И.И., Калиновский М.И. Модель деформирования железобетонной водопропускной трубы при действии на нее произвольной нагрузки и агрессивной хлоридсодержащей среды// Дороги и мосты. Сборник статей ФГУП РосдорНИИ. М. 2009. - вып. 22/2. - С. 186-200.
5. Калиновский М.И., Овчинников И.И. Напряженно деформированное состояние и долговечность прямоугольной железобетонной трубы при действии карбонизации и хлоридсодержащей среды // Строительные материалы. 2010. №10. С.15-17.
6. Овчинников И.И., Мигунов В.Н., Овчинников И.Г. Цилиндрический изгиб железобетонной пластины на упругом основании в условиях хлоридной агрессии// Жилищное строительство. 2012. №10. с. 6-8
7. Калиновский М.И., Овчинников И.И. Построение модели деформирования сталефибробетона в плоском напряженном состоянии применительно к расчету водопропускных дорожных труб // Транспортное строительство. 2009. №6. С.28-30.
8. Петрова Е.Н.. Проектирование и строительство транспортных сооружений из металлических гофрированных элементов. : учеб. пособие / Е.Н. Петрова. – М. : МАДИ, 2012. – 56 с.
9. Лебедева Т.Б., Селина Т.Л., Беляев В.С. и др. Практика применения металлических гофрированных конструкций в хабаровском филиале ОАО «ГИПРОДОРНИИ»: сб. науч. тр. / Вопросы проектирования и строительства автомобильных дорог: опыт и инновации. Екатеринбург, 2010. №1. С. 162-175.
10. Осокин И.А., Пермикин А.С. О проблемах эксплуатации гофрированных водопропускных труб под насыпями автомобильных и железных дорог уральского региона: Материалы международной конференции «Сучасні методи проектування, будівництва та експлуатації систем водовідводу на автомобільних дорогах» (1 – 2 березня 2012 року). – Киев: НТУ, 2012

11. 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)». - Введ. 2009-06-21. - М. : Изд-во стандартов, 2009. - 201 с.
12. Осокин И.А. Применение теории оболочек вращения к расчету гофрированных водопропускных труб. Интернет-журнал «Науковедение». 2013 №2(15) [Электронный ресурс]. М-2013.- Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/40tvn213.pdf>, свободный – Загл. с экрана.
13. Mak, A.C., Brachman, R.W.I. and Moore, I.D. Measured response of a deeply corrugated box culvert to three dimensional surface loads: Transportation Research Board Annual Conference, Washington D.C., Paper No. 09-3016, 14 pp, 2009.
14. D. Beben. Numerical analysis of a soil-steel bridge structure: The Baltic journal of road and bridge engineering. 2009 № 4 (1). P. 13-21.
15. Экспериментальные исследования фрагмента искусственного сооружения из гофролиста производства предприятия ООО «Гофра-2001» на действие статических и временных нагрузок. Технический отчет, НПФ «Атом-Динамик», 2007. – 57 с.
16. Статические испытания арочной конструкции из МГК (гофр 381*140 мм) производства ЗАО «Гофросталь» в том числе в условиях предельного нагружения. Технический отчет, НПФ «Атом-Динамик», 2012. – 49 с.
17. Крупномасштабные сейсмические испытания фрагмента галереи с арочной конструкцией из МГК (гофр 381*140 мм) производства ЗАО «Гофросталь». Технический отчет, НПФ «Строй-Динамика», 2011. – 98 с.

Рецензент: Столяров Виктор Васильевич, Заместитель председателя Поволжского отделения Российской академии транспорта, академик РАТ, д-р. техн. наук, профессор.

REFERENCES

1. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I. Analiz prichin avarij i povrezhdenij transportnyh sooruzhenij// Transportnoe stroitel'stvo. M. 2010, №7. s.2-5.
2. Ivanov A.V., Ovchinnikov I.G. Modelirovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija osesimmetrichno zagruzhennoj zhelezobetonnoj cilindricheskoj obolochki v uslovijah hloridnoj korrozii// Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo. 2007 №1(2), s. 43 -52.
3. Ovchinnikov I.I., Kalinovskij M.I Model' deformirovanija zhelezobetonnoj vodopropuskoj trubы pri dejstvii na nee proizvol'noj nagruzki i agressivnoj hloridsoderzhashhej sredы// Dorogi i mostы. Sbornik statej FGUP RosdorNII. M. 2009. - vyp. 22/2. - S. 186-200.
4. Kalinovskij M.I., Ovchinnikov I.I. Naprjazhenno deformirovannoe sostojanie i dolgovechnost' prjamougol'noj zhelezobetonnoj trubы pri dejstvii karbonizacii i hloridsoderzhashhej sredы // Stroitel'nye materialy. 2010. №10. S.15-17.
5. Ovchinnikov I.I., Migunov V.N., Ovchinnikov I.G. Cilindricheskij izgib zhelezobetonnoj plastiny na uprugom osnovanii v uslovijah hloridnoj agressii// Zhilishhnoe stroitel'stvo. 2012. №10. s. 6-8
6. Kalinovskij M.I., Ovchinnikov I.I. Postroenie modeli deformirovanija stalefibrobetona v ploskom naprjazhennom sostojanii primenitel'no k raschetu vodopropusnyh dorozhnyh trub // Transportnoe stroitel'stvo. 2009. №6. S.28-30.
7. Petrova E.N. Proektirovanie i stroitel'stvo transportnyh sooruzhenij iz metallicheskih gofrirovannyh jelementov. : ucheb. posobie / E.N. Petrova. – M. : MADI, 2012. – 56 s.
8. Lebedeva T.B., Selina T.L., Beljaev V.S. i dr. Praktika primenenija metallicheskih gofrirovannyh konstrukcij v habarovskom filiale OAO «GIPRODORNII»: sb. nauch. tr. / Voprosы proektirovanija i stroitel'stva avtomobil'nyh dorog: opyt i innovacii. Ekaterinburg, 2010. №1. S. 162-175.
9. Osokin I.A., Permikin A.S. O problemah jekspluatacii gofrirovannyh vodopropusnyh trub pod nasypjami avtomobil'nyh i zheleznyh dorog ural'skogo regiona: Materialy mezhdunarodnoj konferencii «Suchasni metodi proektuvannja, budivnictva ta ekspluatacii sistem vodovidvoduna avtomobil'nih dorogah» (1 – 2 bereznja 2012 roku). – Kiev: NTU, 2012
10. ODM 218.2.001-2009. «Rekomendacii po proektirovaniju i stroitel'stvu vodopropusnyh sooruzhenij iz metallicheskih gofrirovannyh struktur na avtomobil'nyh dorogah obshhego pol'zovanija s uchetom regional'nyh uslovij (dorozhno-klimaticheskijh zon)». - Vved. 2009-06-21. - M. : Izd-vo standartov, 2009. - 201 s.
11. Osokin I.A.. Primenenie teorii obolochek vrashhenija k raschetu gofrirovannyh vodopropusnyh trub. Internet-zhurnal «Naukovedenie». 2013 №2(15) [Jelektronnyj resurs]. M-2013.- Rezhim dostupa: [http:// naukovedenie.ru/PDF/40tvn213.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/40tvn213.pdf), svobodnyj – Zagl. s jekrana.
12. Ovchinnikov I.G., Beljaev V.S., Jakovlev L.S., Osokin I.A. Analiz jeksperimental'nyh issledovanij povedenija metallicheskih gofrirovannyh konstrukcij pod vozdejstviem staticheskijh i dinamicheskijh nagruzok s uchetom ih sovместnoj raboty s

- okruzhajushhim gruntom Chast' 1. Obzor i analiz zarubezhnyh staticeskikh jeksperimental'nyh issledovanij// Internet-zhurnal "Naukovedenie" № 6, 2013. s. 1-15.
13. Mak, A.C., Brachman, R.W.I. and Moore, I.D. Measured response of a deeply corrugated box culvert to three dimensional surface loads: Transportation Research Board Annual Conference, Washington D.C., Paper No. 09-3016, 14 pp, 2009.
 14. D. Beben. Numerical analysis of a soil-steel bridge structure: The Baltic journal of road and bridge engineering. 2009 № 4 (1). P. 13-21.
 15. Jeksperimental'nye issledovanija fragmenta iskusstvennogo sooruzhenija iz gofrolista proizvodstva predpriyatija OOO «Gofra-2001» na dejstvie staticeskikh i vremennyh nagruzok. Tehniceskij otchet, NPF «Atom-Dinamik», 2007. – 57 c.
 16. Staticeskie ispytaniya arochnoj konstrukcii iz MGK (gofr 381*140 mm) proizvodstva ZAO «Gofrostal» v tom chisle v uslovijah predel'nogo nagruzhenija. Tehniceskij otchet, NPF «Atom-Dinamik», 2012. – 49 c.
 17. Krupnomasshtabnye sejsmicheskie ispytaniya fragmenta galerei s arochnoj konstrukciej iz MGK (gofr 381*140 mm) proizvodstva ZAO «Gofrostal». Tehniceskij otchet, NPF «Stroj-Dinamika», 2011. – 98 c.