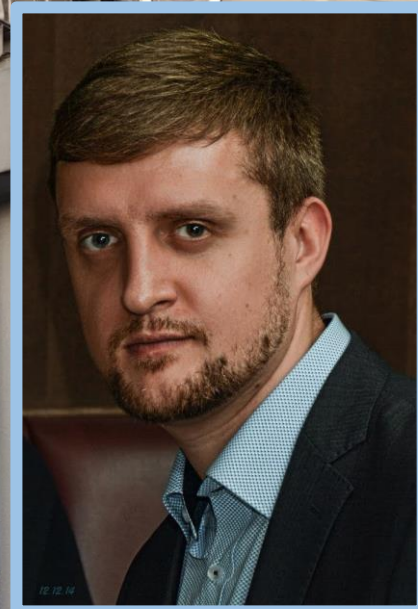


# Центральный научно-исследовательский институт транспортного строительства (АО ЦНИИТС) «Научно-исследовательский центр «Мосты»



Результаты обследований и испытаний  
построенных пешеходных алюминиевых мостов

Зам. Генерального директора АО ЦНИИТС, руковод.  
НИЦ «Мосты», к.т.н. Сухов Игорь Сергеевич

АО ЦНИИТС НИЦ «Мосты» (Исполнитель) в период с 24 по 25 июня 2020 г. было проведено обследование и испытание надземных пешеходных переходов в д. Афонино на автомобильной дороге «Восточный подъезд к г. Н. Новгород от а/д М-7 «Волга» в Кстовском районе Нижегородской области км 9+409, км 10+059.



# Параметры арочного пролетного строения

- Пролетное строение – арка с затяжкой. Расчетная длина пролета составляет 37,76 м, полная длина пролетного строения 38 м. Ширина пролетного строения в осях 5,28 м, ширина проходной части в свету 3 м. Несущие конструкции - две сквозные арки со стрелой подъема 6м, объединенные поперечными связями. Каждая арка состоит из 4-х алюминиевых труб 150х30 мм, объединенных между собой связями из труб 50х5 мм. Стыки блоков арок выполняются с помощью фланцевого соединения на высокопрочных болтах М16. Между собой арки объединяются поперечными связями из 2-х алюминиевых труб 150х10 мм, объединённых связями из труб 50х5 мм с помощью фланцевого соединения на высокопрочных болтах М16.
- Арка передает усилия на балку жесткости через сварной пакет, выполненный из алюминиевого листового проката толщиной 10 мм. Опорный участок балки жесткости выполнен из профильного двутаврового равнополочного сечения шириной 1170 мм, высотой 500 мм (двутавр №430140). Арка крепится к сварному пакету с помощью фланцевого соединения на высокопрочных болтах М24.
- Подвески представляют собой плоские фермы шириной 820 мм, выполненные из труб 50х5 мм. Крепление подвесок к арке и балке жесткости производится за счёт фасонки на высокопрочных болтах М36.



# Параметры арочного пролетного строения

- Несущие конструкции арок и подвесок выполнены из алюминия марки 1915Т. Все заводские соединения - сварные. На подвески нанесено огнезащитное покрытие и краска.
- Прохожая часть запроектирована из оребренных листов алюминия марки 1561. Поверх листов наносится защитное антискользящее покрытие на основе двухкомпонентной эпоксидно-полиуретановой смолы, фирмы Sika «SikaCorElastomatic TF» (ЗикаКор Эластوماстик ТФ).



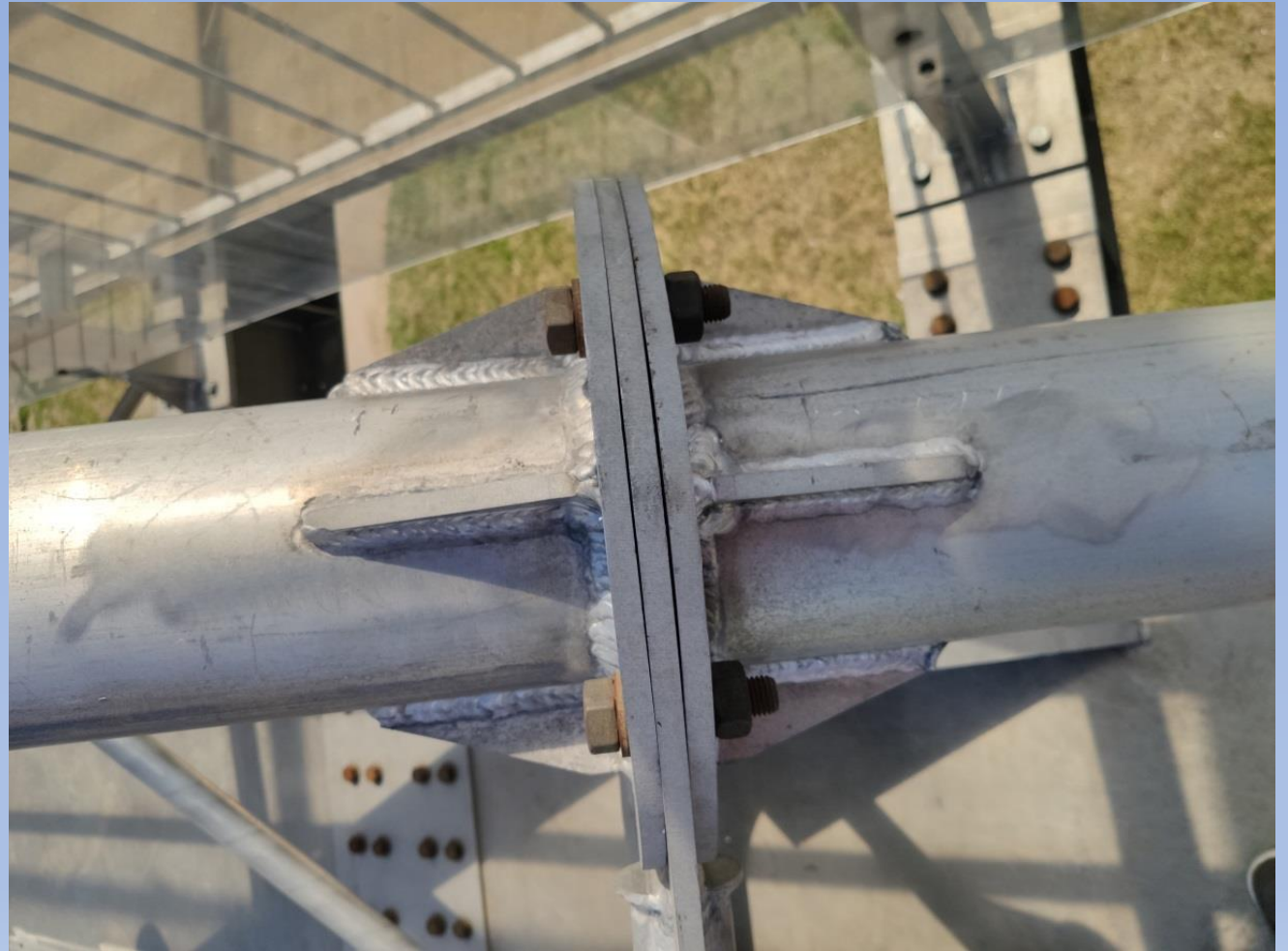
# Параметры лестничных сходов

- Элементы конструкций лестничных сходов выполнены из стеклопластика строительного конструкционного типа СППС ТУ 2296-005-39790001-2003. Соединение стеклопластиковых профилей производится при помощи болтов и фитингов из стали 12Х18Н10Т. Опорные части и кронштейны крепления ступеней к косоурам лестничных сходов выполняются из стали 15ХСНД с нанесением защитного покрытия. Горизонтальные поверхности площадок и ступеней лестничных сходов покрываются износостойким покрытием АпАТэК ПЭ-АР по ТУ 5715-008-93660864-2009, обеспечивающим отсутствие скольжения. Марши лестничных сходов оборудованы накладными пандусами (спусками для тележек и колясок) и подъемными устройствами GTL-30, грузоподъемностью 300 кг



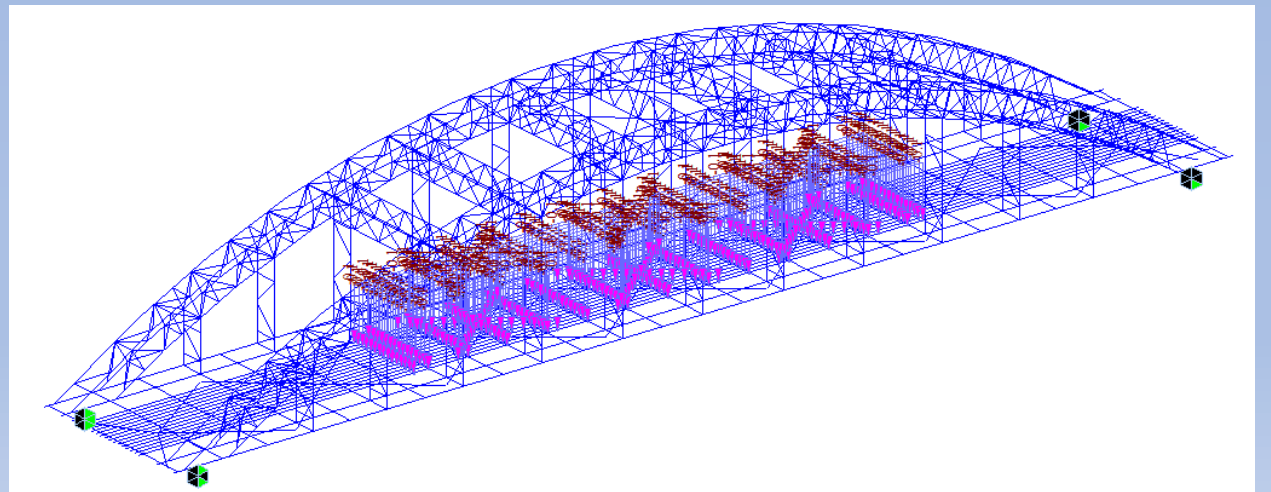
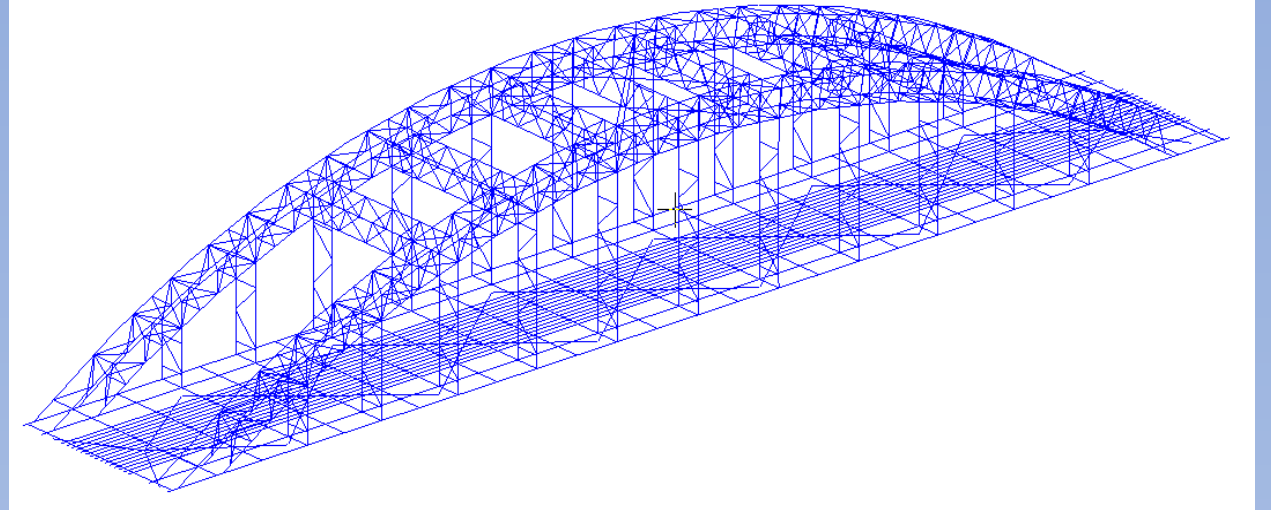
# Результаты обследования

- При визуальном осмотре видимой части конструкций пролетных строений дефекты снижающие грузоподъемность, долговечность и безопасность не выявлены. Основные геометрические размеры соответствуют проекту.
- В ходе обследования были обнаружены следующие дефекты: зазоры между накладками в болтовых соединениях и во фланцевых соединениях до 1 мм; поверхностная коррозия болтов; шелушение лакокрасочного покрытия по огнезащитной краске на подвесках арки, поперечные трещины в покрытии проходной части, в деформационном шве порвана резинка компенсатора.
- фактический класс бетона стоек и ригелей опор пешеходного перехода соответствует или выше проектных требований к бетону (В30).



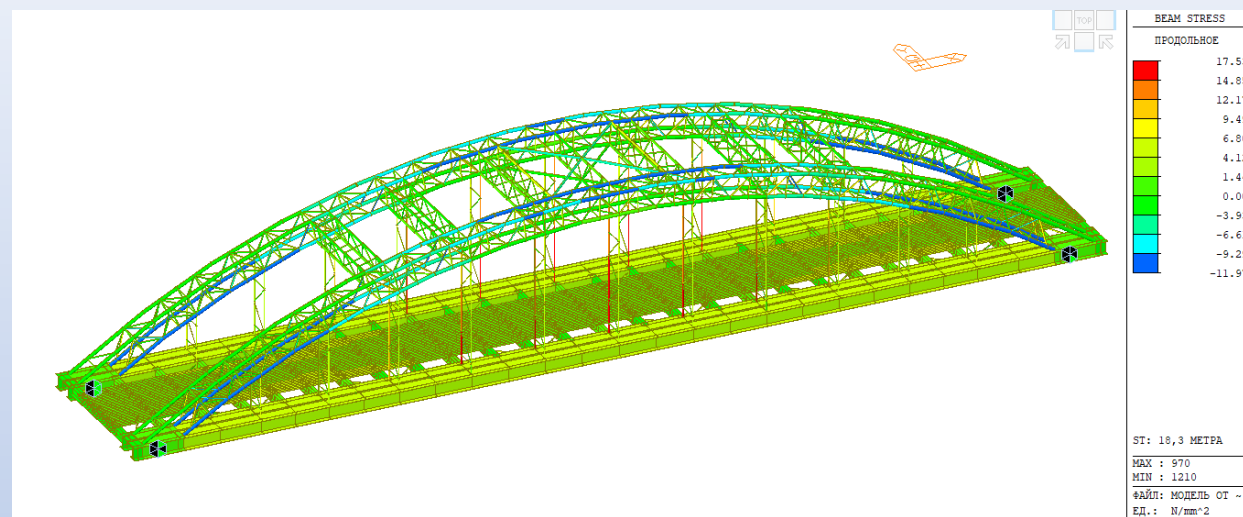
# Описание расчетной модели пролетного строения

- Модель пролетного строения выполнена в программном комплексе Midas Civil (сертификат №0116940), реализующем метод конечных элементов на основе исходных данных в соответствии с рабочей документацией. Модель выполнена из стержневых элементов
- Подбор максимальной нагрузки осуществлен таким образом, чтобы напряжения от испытательной нагрузки в экстремально загруженных элементах моста составляли 60-90% напряжений от загрузки нормативной нагрузкой (с учетом коэффициента надежности по нагрузке равном 1), в соответствии с СП79.13330.2012.

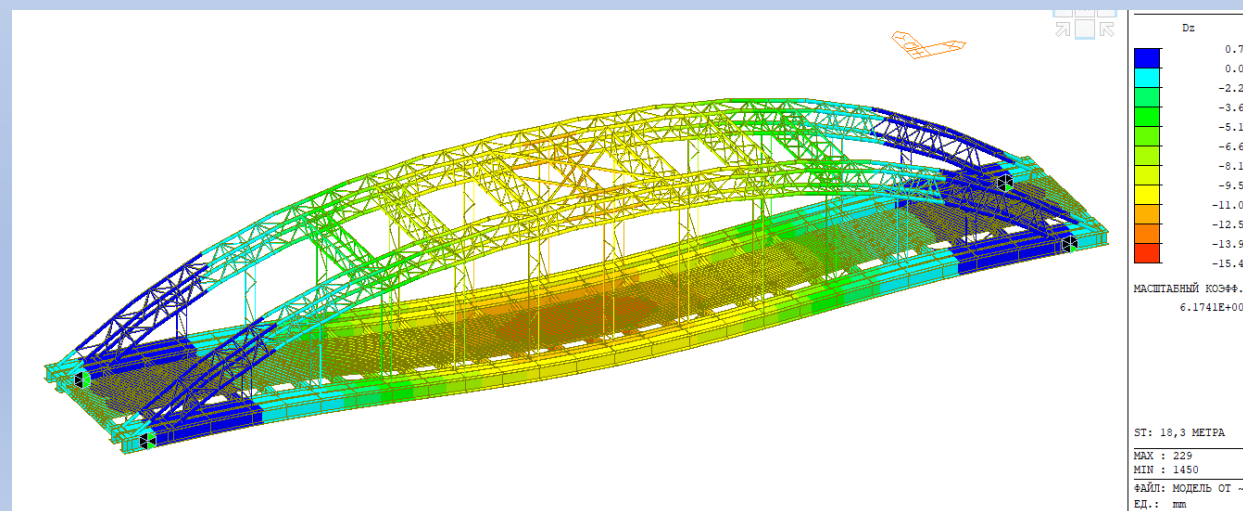


# Результаты статического расчета

| Наименование элемента |                 | Нормальные напряжения / деформации, нормативная нагрузка, МПа/мм | Нормальные напряжения / деформации, 1-ый этап, МПа/мм | Нормальные напряжения / деформации, 2-ой этап, МПа/мм | Нормальные напряжения / деформации, 3-ий этап, МПа/мм | Отношение 2-го этапа (полное нагружение) к нормативной нагрузке, %* |
|-----------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Арка                  | верх внутренняя | -7,0/-0,030                                                      | -1,3/-0,006                                           | -2,9/-0,012                                           | -2,2/-0,009                                           | 41%                                                                 |
|                       | верх наружная   | -7,6/-0,033                                                      | -1,5/-0,006                                           | -3,2/-0,014                                           | -1,9/-0,008                                           | 42%                                                                 |
|                       | низ внутренняя  | -13,5/-0,058                                                     | -6,5/-0,028                                           | -10,90/-0,047                                         | -7,4/-0,032                                           | 81%                                                                 |
|                       | низ наружная    | -13,4/-0,057                                                     | -6,7/-0,029                                           | -11,50/-0,049                                         | -7,3/-0,031                                           |                                                                     |
| Затяжка               | внутренняя      | 5,1/0,022                                                        | 2,0/0,009                                             | 3,10/-0,013                                           | 2,2/0,009                                             | 61%                                                                 |
|                       | внутренняя      | 5,1/0,022                                                        | 2,0/0,009                                             | 3,10/0,013                                            | 2,2/0,009                                             | 61%                                                                 |
| Подвеска              | внутренняя      | 19,2/0,082                                                       | 12,5/0,054                                            | 15,10/0,065                                           | 9,3/0,040                                             | 79%                                                                 |
|                       | внешняя         | 5,0/0,021                                                        | 2,8/0,012                                             | 4,10/0,018                                            | 3,7/0,016                                             | 82%                                                                 |
|                       | внутренняя      | 19,2/0,082                                                       | 12,5/0,054                                            | 15,10/0,065                                           | 9,3/0,040                                             | 79%                                                                 |



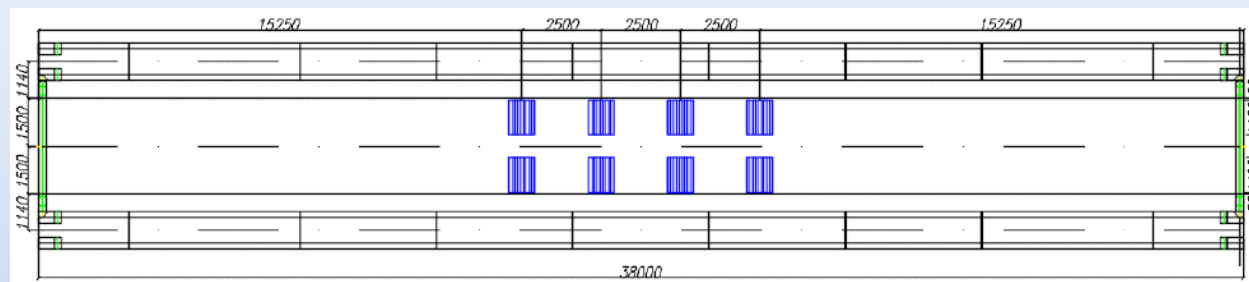
Напряжения на втором этапе, МПа



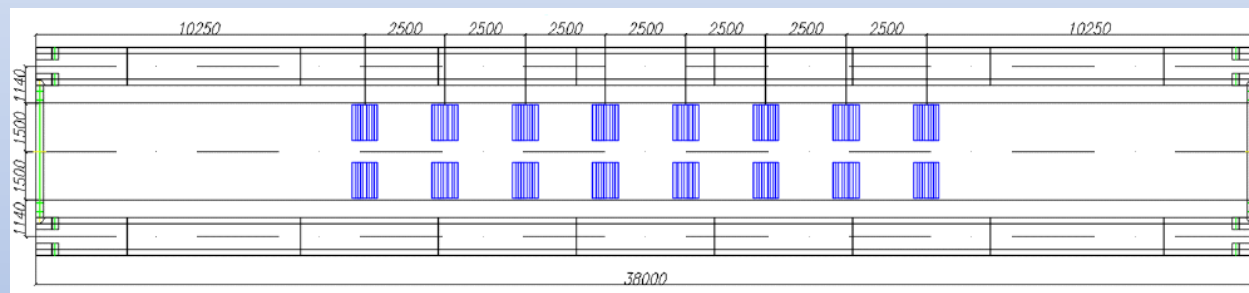
Деформации по оси Z на втором этапе, мм

# Схема расстановки нагрузки

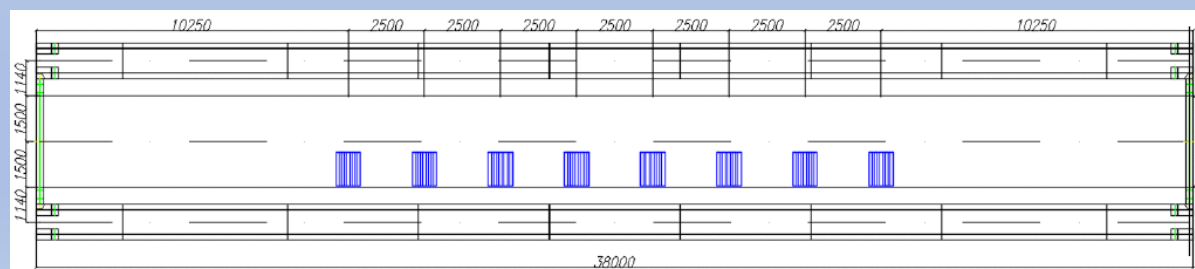
- В качестве испытательной нагрузки использовались палеты нагруженные мешками с песком (массой – 1,2 т каждый):
- 1 этап – 8 шт. с двух сторон;
- 2 этап – 16 шт. с двух сторон;
- 3 этап – 8 шт. с одной стороны.
- В середине пролета тахеометром измерялись вертикальные перемещения затяжки. Измерение деформаций в пяте арки, центральных подвесках и середине затяжки производилось с помощью электронного деформометра на базе 300 мм



План установки нагрузки на первом этапе нагружения



План установки нагрузки на втором этапе нагружения



План установки нагрузки на третьем этапе нагружения

# Проведение статических испытаний



Второй этап нагружения



Снятие показаний с помощью электронного деформометра

# Сравнение расчетных и фактических прогибов

- Согласно п.В3 СП79.13330.2012 (Изменение №1) фактическая работа конструкции под испытательной нагрузкой соответствует проектным предпосылкам, если замеренные в конструкции напряжения (прогибы) не превышают значений, предусмотренных расчетом, т.е. если конструктивные коэффициенты не превышают 1

| Наименование                                  | Этап 1 | Этап 2 | Этап 3 |
|-----------------------------------------------|--------|--------|--------|
| Пешеходный переход ул. Школьная км 10+0,59    |        |        |        |
| Фактическое значение, лево, мм                | -7,4   | -8,3   | -6,5   |
| Фактическое значение, право, мм               | -6,1   | -7,7   | -2,8   |
| Расчетное значение, мм, лево                  | -8,3   | -11,55 | -7,6   |
| Расчетное значение, мм, право                 | -8,3   | -11,55 | -3,9   |
| Конструктивный коэффициент, лево              | 0,89   | 0,72   | 0,86   |
| Конструктивный коэффициент, право             | 0,73   | 0,67   | 0,71   |
| Пешеходный переход ул. Магистральная км 9+409 |        |        |        |
| Фактическое значение, лево, мм                | -7,9   | -8,7   | -7,0   |
| Фактическое значение, право, мм               | -6,9   | -10,8  | -3,3   |
| Расчетное значение, мм, лево                  | -8,3   | -11,55 | -7,6   |
| Расчетное значение, мм, право                 | -8,3   | -11,55 | -3,9   |
| Конструктивный коэффициент, лево              | 0,95   | 0,75   | 0,92   |
| Конструктивный коэффициент, право             | 0,83   | 0,94   | 0,85   |

# Результаты динамических испытаний

- Мобильный измерительный комплекс, состоит из модулей сбора динамических сигналов ViANA-4 набора датчиков КД, ноутбука и комплекта кабелей с установленным программным комплексом ATLANT

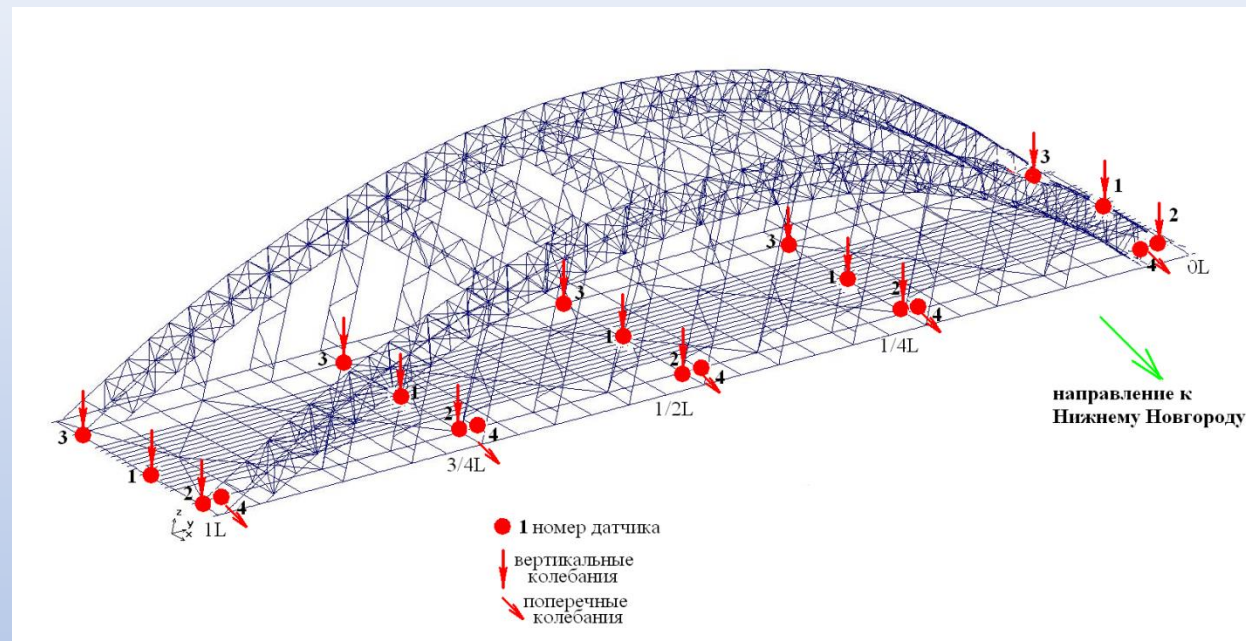
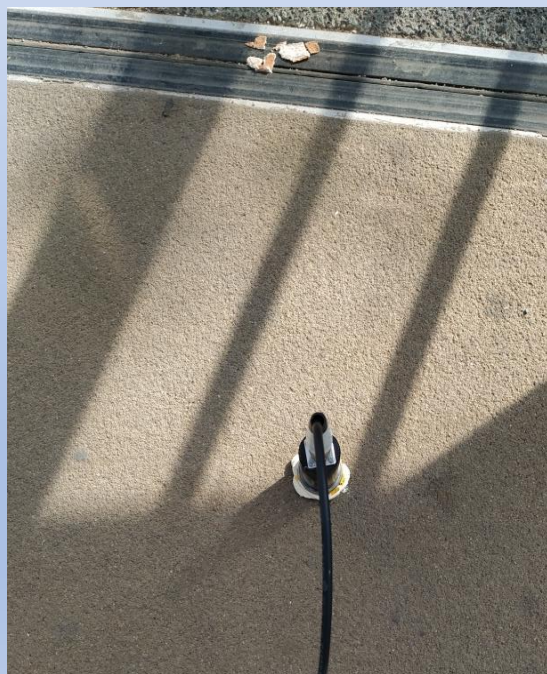
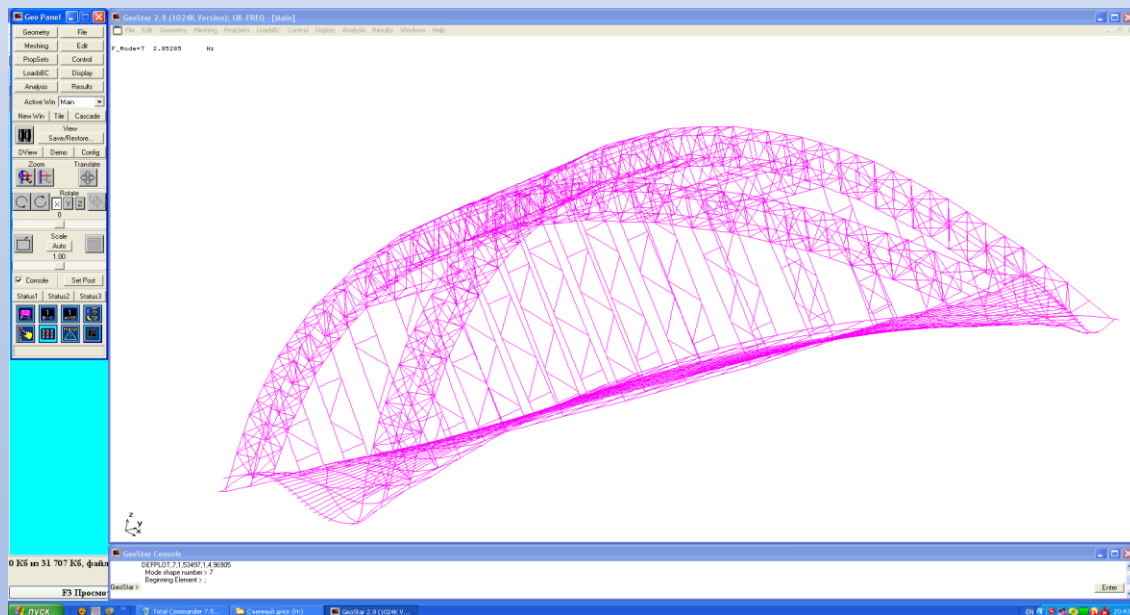


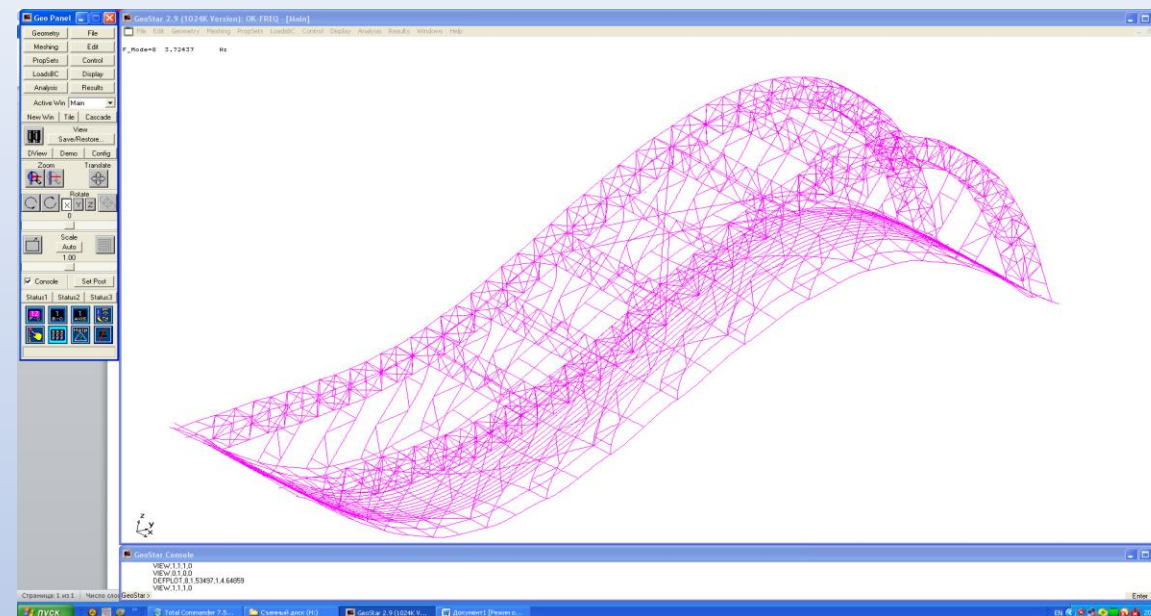
Схема расположения вибродатчиков при проведении динамических испытаний

# Результаты динамических испытаний

- До проведения испытаний был выполнен расчет собственных частот колебаний



Первая форма пространственных колебаний, поперечные колебания, частота 2,95 Гц



Вторая форма пространственных колебаний, вертикальные кососимметричные колебания, частота 3,72 Гц

Анализ полученных результатов и сопоставление с расчетом показали, что все зафиксированные частоты не попадают в запрещенный диапазон частот по СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы», который составляет 1,67 – 2,22 Гц (период колебаний 0,45 – 0,60 сек) для вертикальных колебаний и 0,83 – 1,11 Гц (период 0,9 – 1,2 сек) для поперечных колебаний.

АО ЦНИИТС НИЦ «Мосты» (Исполнитель) в период с 15 по 16 октября 2020 г. были проведены обследования и испытания надземных пешеходных переходов в районе ледовой арены по ул. 9 Мая и в районе ледовой арены по ул. Партизана Железняка в г. Красноярске.



# Параметры пролетного строения в виде фермы ул. 9 Мая

- Пролетные строения представляют собой фермы с проходом понизу, выполнены по схеме  $18,275+K7,5$ , с шагом панели 3,05 м,  $1 \times 29,775$ , с шагом панели 2,95 м (через ул. 9 Мая),  $1 \times 37$ , с шагом панели 2,85 м (через ул. 78 Добровольческой бригады), полная длина пролетных строений составляет 26,175 м, 30,175 м, 37,4 м соответственно. Высота ферм 2,54 м, ширина между осями 4,82 м.
- Несущие элементы фермы (верхние и нижние пояса, раскосы, опорные стойки) выполнены из труб прямоугольного сечения из алюминиевого сплава АД35.Т1 по ГОСТ 8617-81.
- Соединения элементов фермы выполнены на высокопрочных болтах М24, М22 марки 40Х «Селект».
- Все элементы пролетного строения и лестничных сходов пешеходного моста применены из алюминиевого сплава марки АД35.Т1 (закаленные и искусственно состаренные) по ГОСТ 8617-81, 21631-76.
- Класс бетона по прочности, морозостойкости и водонепроницаемости конструкций опор пролетных строений и лестничных сходов – В25 F300 W8 (W6 - для свай)



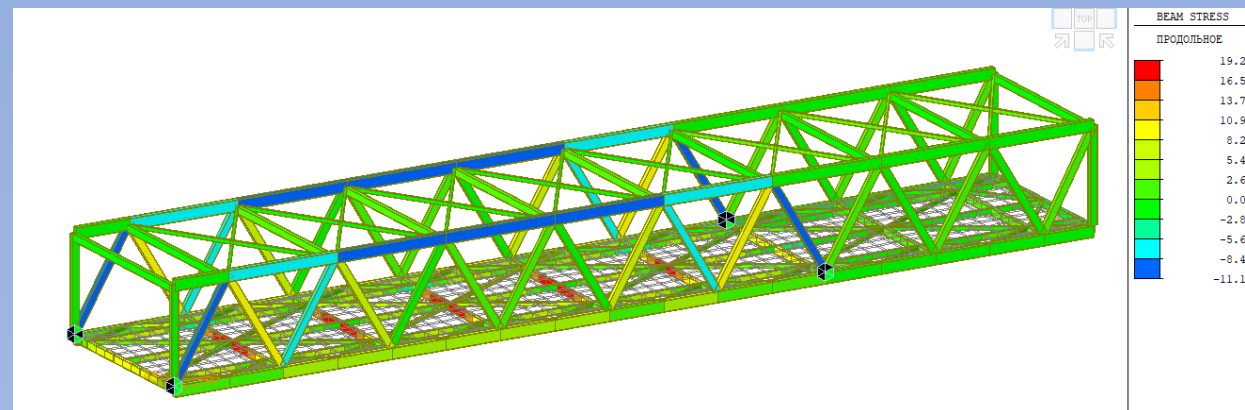
# Результаты обследования

- При визуальном осмотре видимой части конструкций пролетных строений дефекты, снижающие грузоподъемность, долговечность и безопасность не выявлены. Основные геометрические размеры соответствуют проекту.
- В ходе обследования пролетных строений были обнаружены следующие дефекты: поверхностная коррозия болтов, продольные трещины в покрытии проходной части, трещины в покрытии в зонах деформационных швов.
- фактический класс бетона стоек и ригелей опор пешеходного перехода соответствует или выше проектных требований к бетону (В25).

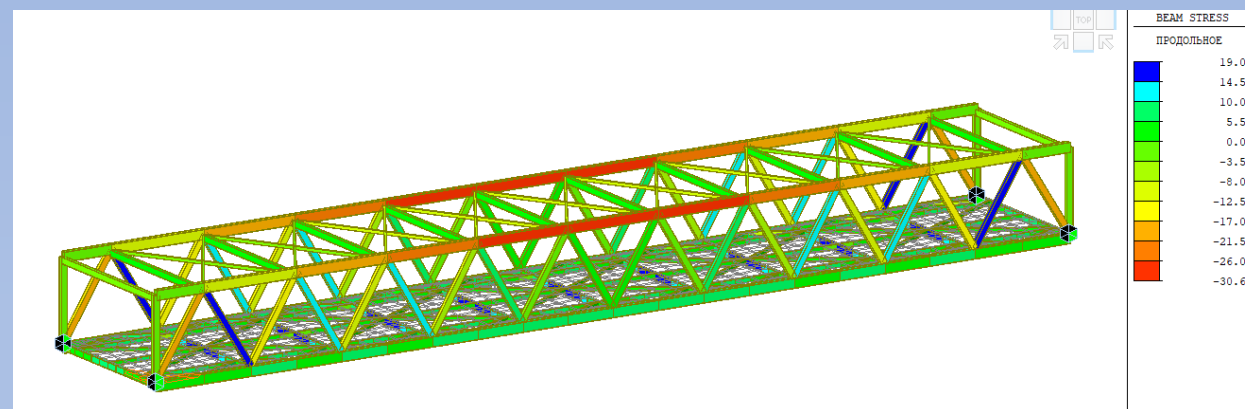


# Описание расчетной модели пролетного строения

- Модель пролетного строения выполнена в программном комплексе Midas Civil (сертификат №0116940), реализующем метод конечных элементов на основе исходных данных в соответствии с рабочей документацией. Модель выполнена из стержневых элементов
- Подбор максимальной нагрузки осуществлен таким образом, чтобы напряжения от испытательной нагрузки в экстремально нагруженных элементах моста составляли 60-90% напряжений от нагружения нормативной нагрузкой (с учетом коэффициента надежности по нагрузке равном 1), в соответствии с СП79.13330.2012.



Нормальные напряжения в ПС №1 от пешеходной нагрузки, МПа



Нормальные напряжения в ПС №2 от пешеходной нагрузки, МПа

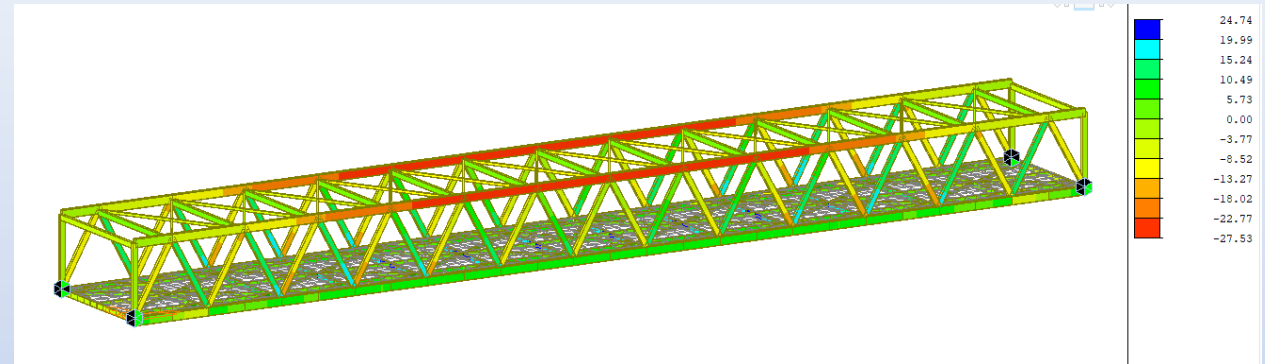
# Результаты статического расчета

Процентное отношение напряжений от испытательной нагрузки к нормативной пешеходной нагрузке для пролетного строения 1

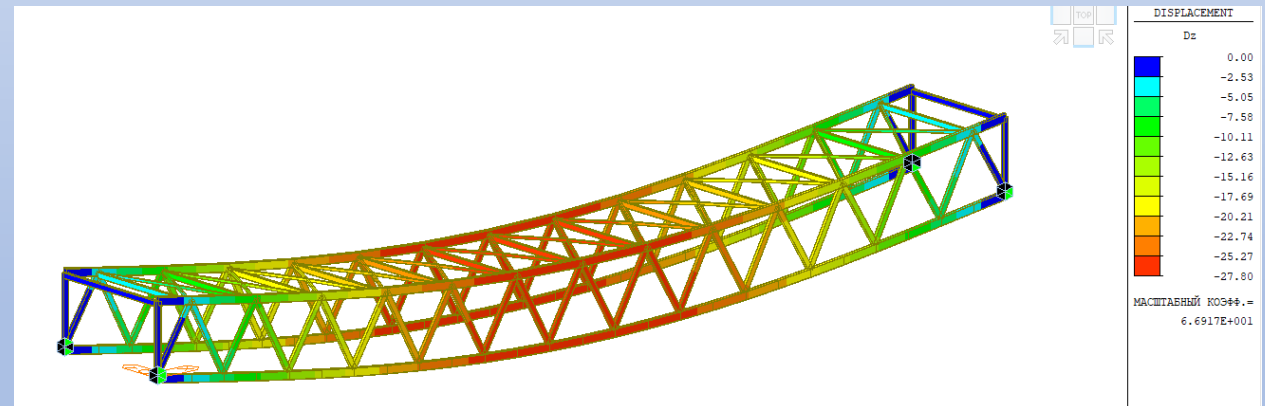
| Наименование элемента конструкции | Место измерения | Нормальные напряжения от нормативной нагрузки, $\sigma$ , МПа | Нормальные напряжения 1-ый этап, $\sigma$ , МПа | Нормальные напряжения 2-ой этап, $\sigma$ , МПа | отношение 2-го этапа к нормативной нагрузке*, % |
|-----------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Верхний пояс в центре пролета     | Правая сторона  | -11,2                                                         | -3,8                                            | -6,7                                            | 60%                                             |
| Верхний пояс в центре пролета     | Левая сторона   | -11,2                                                         | -3,8                                            | -6,7                                            | 60%                                             |

Процентное отношение напряжений от испытательной нагрузки к нормативной пешеходной нагрузке для пролетного строения №3

| Элемент конструкции           | Место измерения | Нормальные напряжения от нормативной нагрузки, $\sigma$ , МПа | Нормальные напряжения 1-ый этап, $\sigma$ , МПа | Нормальные напряжения 2-ой этап, $\sigma$ , МПа | отношение 2-го этапа к нормативной нагрузке*, % |
|-------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Верхний пояс в центре пролета | Правая сторона  | -45,43                                                        | -16,40                                          | -27,53                                          | 61%                                             |
| Верхний пояс в центре пролета | Левая сторона   | -45,43                                                        | -16,40                                          | -27,53                                          | 61%                                             |



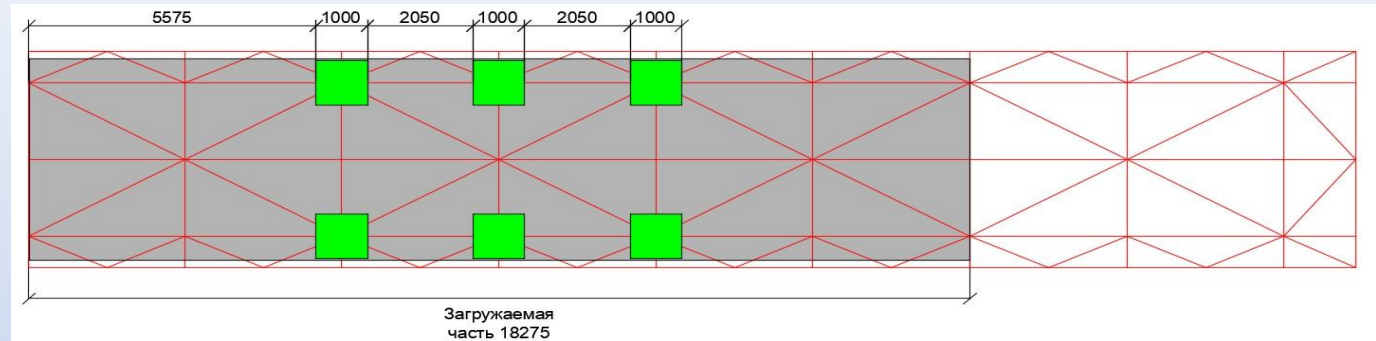
Нормальные напряжения в ПС №3 от максимальной испытательной нагрузки, МПа



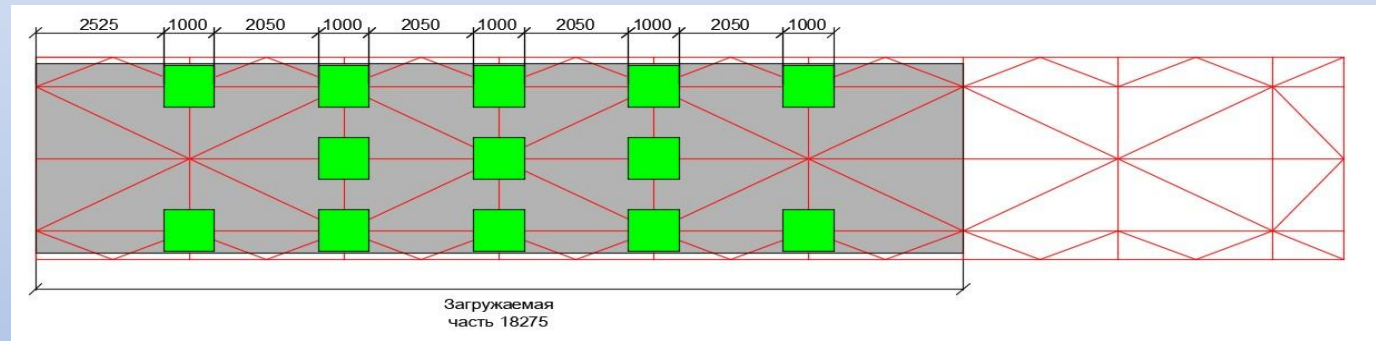
Перемещения ПС №3 от максимальной испытательной нагрузки, мм

# Схема расстановки нагрузки в пролете №1

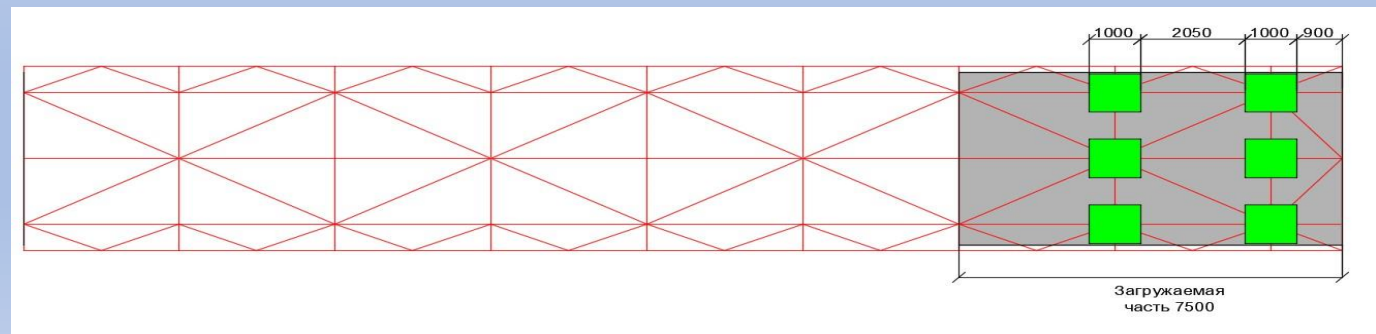
- Испытательные нагрузки, на которые выполнялся расчет, представляют собой совокупности от 2 до 26 еврокубов, заполненных водой, с средней полной массой каждого куба 1,05 т (собственный вес куба и 1м<sup>3</sup> воды).
- При статических испытаниях пролетное строение №1 загружается в 6 этапов.
- На первом этапе устанавливается и заполняется водой 6 блоков. На втором – 9 блоков. На третьем – 13 блоков. На четвертом – 5 блоков. На пятом – 3 блока. На шестом – 6 блоков.
- В середине пролета тахеометром измерялись вертикальные перемещения затяжки. Измерение напряжений верхнего пояса фермы производилось с помощью струнного датчика деформаций



Первый этап загрузки.



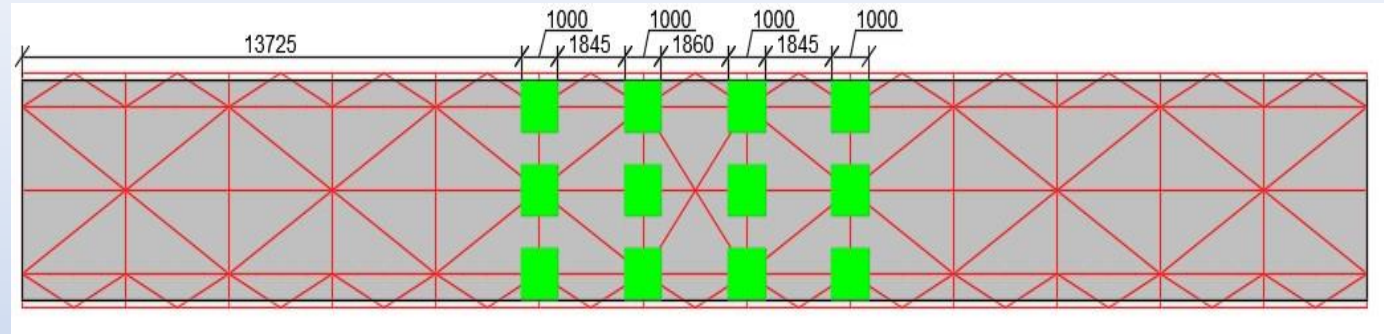
Третий этап загрузки.



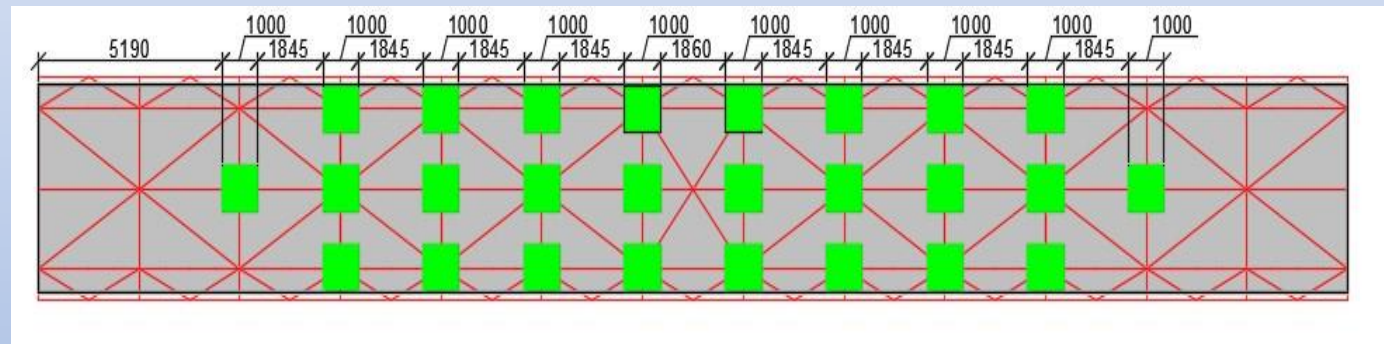
Шестой этап загрузки.

## Схема расстановки нагрузки в пролете №3

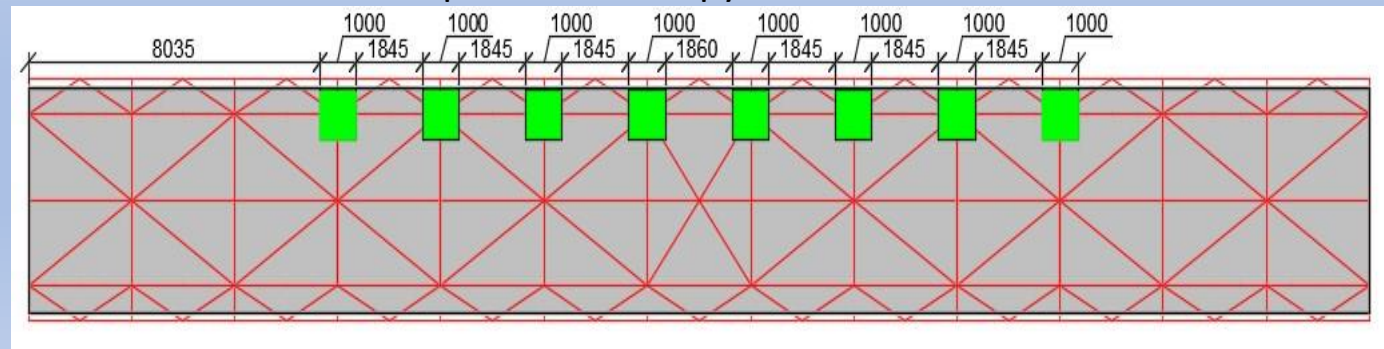
- Испытательные нагрузки, на которые выполнялся расчет, представляют собой совокупности от 2 до 26 еврокубов, заполненных водой, с средней полной массой каждого куба 1,05 т (собственный вес куба и 1м<sup>3</sup> воды).
- При статических испытаниях пролетное строение №3 загружается в 4 этапа.
- На первом этапе устанавливается и заполняется водой 12 блоков. На втором – 18 блоков. На третьем – 26 блоков. На четвертом – 8 блоков.
- В середине пролета тахеометром измерялись вертикальные перемещения затяжки. Измерение напряжений верхнего пояса фермы производилось с помощью струнного датчика деформаций



Первый этап загрузки.



Третий этап загрузки.



Четвертый этап загрузки.

# Проведение статических испытаний



Второй этап нагружения ПС№3



Снятие показаний с помощью струнного датчика деформаций

# Сравнение расчетных и фактических прогибов и деформаций ПС№3

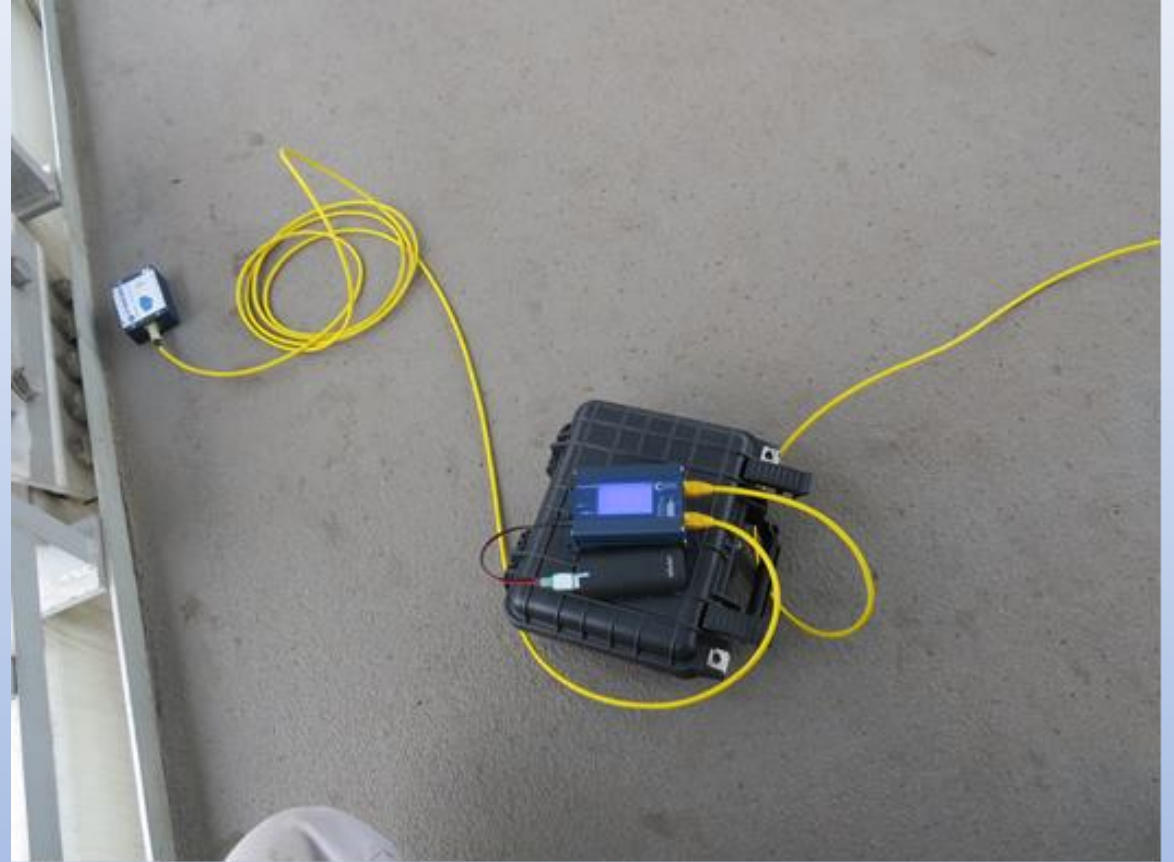
- Согласно п.В3  
СП79.13330.2012  
(Изменение №1)  
фактическая работа  
конструкции под  
испытательной нагрузкой  
соответствует проектным  
предпосылкам, если  
замеренные в  
конструкции напряжения  
(прогибы) не превышают  
значений,  
предусмотренных  
расчетом, т.е. если  
конструктивные  
коэффициенты не  
превышают 1

| Точка съемки                            | Перемещение,<br>мм | Расчетное<br>значение, мм | Конструктивный<br>коэффициент |
|-----------------------------------------|--------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Этап 1                                  |                    |                           |                               |
| Нижний пояс в центре<br>пролета, слева  | -14,7              | -15,38                    | 0,96                          |
| Нижний пояс в центре<br>пролета, справа | -13,8              | -15,38                    | 0,90                          |
| Этап 2                                  |                    |                           |                               |
| Нижний пояс в центре<br>пролета, слева  | -26,8              | -27,80                    | 0,96                          |
| Нижний пояс в центре<br>пролета, справа | -27,3              | -27,80                    | 0,98                          |

| Этап/Датчик | Фактическое<br>значение, МПа | Расчетное<br>значение, МПа | Конструктивный<br>коэффициент |
|-------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 1/д1        | -15,02                       | -16,40                     | 0,73                          |
| 1/д2        | -11,61                       | -16,40                     | 0,71                          |
| 2/д1        | -20,83                       | -27,53                     | 0,76                          |
| 2/д2        | -20,65                       | -27,53                     | 0,75                          |

# Результаты динамических испытаний

- В середине каждого пролета были установлены 2 трехосевых акселерометра БАУ-Мониторинг по одному на каждую ветвь фермы. Для динамической нагрузки использована нагрузка в виде одиночных прыжков человека весом 85 кгс, как рекомендует СП79.13330.2012.
- Пролетное строение 1 (7,5 (консоль)+18,275 м) – 8,5 Гц (эксперимент); 7,97 Гц (расчет), декремент колебаний – 0,06 – что меньше нормативного по СП443.1325800.2019, равного 0,22;
- Пролетное строение 2 (29,775 м) – 4,75 Гц (эксперимент); 4,57 Гц (расчет), декремент колебаний – 0,14 – что меньше нормативного по СП443.1325800.2019, равного 0,22;
- Пролетное строение 3 (37,0 м) – 3,25 Гц (эксперимент); 3,22 Гц (расчет), декремент колебаний – 0,05 – что меньше нормативного по СП443.1325800.2019, равного 0,22.



Все фермы пролетных строений работают в соответствии с требованиями нормативных документов – СП79.13300.2012 и СП443.1328500.

# Рекомендации по результатам обследования и испытаний пролетных строений из алюминиевых сплавов

- В целях обеспечения долговечности заменить высокопрочные болтовые соединения (болты, гайки и шайбы) без покрытия на аналогичные оцинкованные, для защиты от коррозии болтовых соединений и не возможности создания в них гальванических пар.

