

## ОРГАНИЗАЦИЯ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ СО СКВОЗНЫМИ ГЛАВНЫМИ ФЕРМАМИ

*Иванов Евгений Олегович, студент 5-го курса кафедры «Мосты»  
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск  
(Научный руководитель – Яшинов А.Н., канд. техн. наук, доцент)*

Очевидно, что системы мониторинга напряженно-деформированного состояния несущих конструкций мостовых сооружений следует разрабатывать с учетом особенностей работы всех конструктивных элементов. Рассмотрен пример определения элементов пролетного строения, напряженно-деформированное состояние которых в наибольшей степени зависит от повреждений других конструкций ферм.

По результатам расчетов грузоподъемности конструкций пролетного строения были выявлены наиболее слабые элементы по грузоподъемности (Рис. 1). На рисунке красным цветом изображены элементы, классы которых не соответствуют классу подвижной нагрузки (по выносливости), синим – элементы, имеющие наименьшие классы (по прочности и устойчивости).

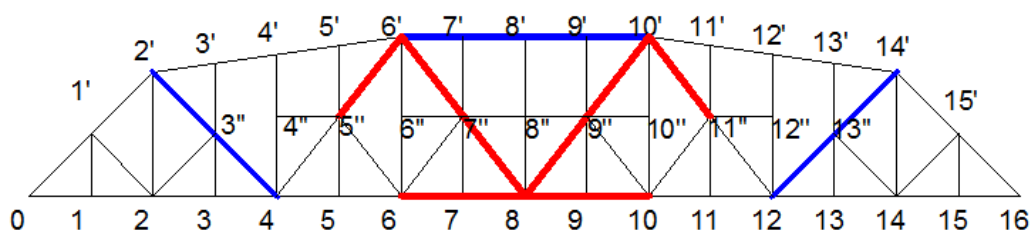


Рисунок 1 - Схема расположения «слабых» элементов

Было сделано предположение, что они также наиболее чувствительными к изменениям сечения (повреждениям) других элементов, и выполнены соответствующие расчетные исследования. Расчеты выполнены по специально разработанной пространственной конечно-элементной модели пролетного строения в Midas Civil (Рис. 2) с загрузением перспективными вагонами с нагрузкой 27 тс/ось.

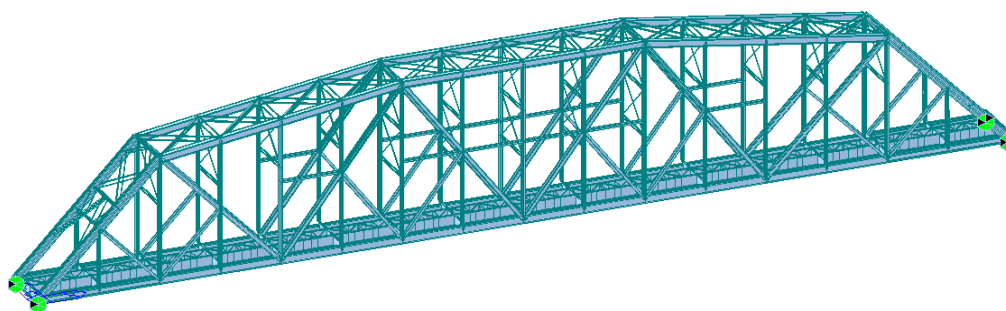


Рисунок 2 - Общий вид конечно-элементной модели пролетного строения.

Для исследования было взято два крайних состояния: когда элемент полностью включен в работу конструкции, и когда он разорван. Сначала выполнен расчет целой фермы, определены напряжения всех элементов пролетного строения в 4-х угловых точках поперечного сечения и перемещения центральных верхних узлов двух ферм. Кроме того, были рассчитаны и собственные частоты колебаний конструкций. Затем, последовательно исключая из работы элементы главных ферм, производили перерасчет.

Все полученные напряжения анализировали по следующим параметрам:

- отклик -  $\frac{|\sigma_2| - |\sigma_1|}{R}$ ;
- запас -  $\frac{R - |\sigma_2|}{R}$ ;
- скорость изменения отклика -  $\frac{|\sigma_2| - |\sigma_1|}{R - \sigma_2}$ ;

где,  $\sigma_2$  — напряжения от постоянной и временной нагрузки в элементе после повреждения конструкции;

$\sigma_1$  — изначальные напряжения от постоянной и временной нагрузки в элементе;

$R$  — расчетное сопротивление стали (190 МПа).

В результате обработки полученных данных было выявлено, что одним из индикаторов повреждений может служить разность между перемещениями центральных верхних узлов ферм.

У поврежденной фермы больше:

- перемещения верхнего узла по вертикали (прогибы фермы под нагрузкой);
- горизонтальные перемещения поперек плоскости фермы при повреждениях элементов нижнего пояса.

Как и следовало ожидать, в первую очередь на изменения реагируют элементы соседние с поврежденным. Однако, как показывают результаты анализа моделирования различных внештатных ситуаций, предусмотреть в каком месте произойдет повреждение не представляется возможным. Поэтому при выборе элементов для контроля за основу были приняты перечисленные

выше параметры и были определены элементы, которые независимо от расположения поврежденного элемента наиболее часто дают существенные изменения анализируемых параметров (отклика, запаса, скорости изменения отклика) (Рис. 3).



Рисунок 3 – Схема с полученными результатами.

Из всех элементов пролетного строения самыми информативными для отслеживания напряженно-деформированного состояния будут В6'-7', Р6'-7'' и Н6-7 (Рис. 4).

Переставив оборудование на выявленные элементы, можно будет получать адекватные результаты и в режиме онлайн наблюдать за реальным состоянием элементов ферм.

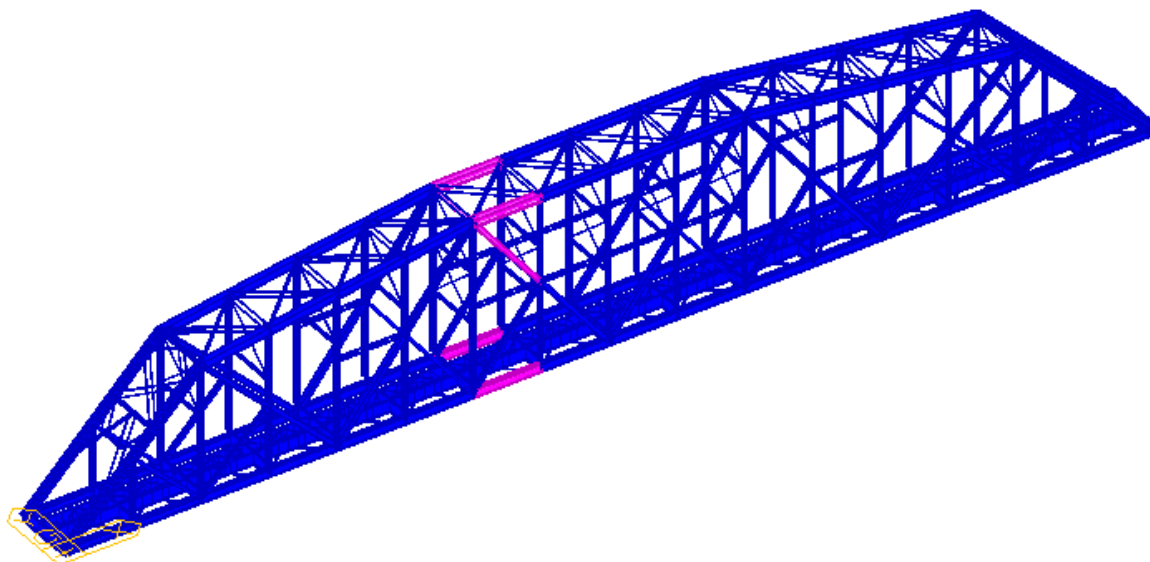


Рисунок 4 – Расположение контрольных элементов.

По данным расчетных частот собственных колебаний (Табл. 1) было выявлено, что при полном разрыве какого-либо элемента фермы, изменение частот собственных колебаний можно зафиксировать существующим

оборудованием, но уменьшение сечений отдельных элементов не оказывает существенного влияния на частотный спектр.

Таблица 1 – Частоты собственных колебаний пролетного строения.

Повреждение	Форма колебаний	Частоты поперечных формы, Гц	Частоты вертикальных формы, Гц	Отношение поперечных к вертикальным частотам
0 % - не поврежденный	1 форма	2,765	6,391	0,433
	2 форма	6,034	14,604	0,413
10%	1 форма	2,763	6,389	0,432
	2 форма	6,033	14,595	0,413
25%	1 форма	2,76	6,384	0,432
	2 форма	6,031	14,578	0,414
50%	1 форма	2,754	6,369	0,432
	2 форма	6,027	14,537	0,415
80%	1 форма	2,742	6,311	0,434
	2 форма	6,015	14,364	0,419
100%	1 форма	2,705	5,471	0,494
	2 форма	6,037	11,69	0,516

Выбор оборудования для мониторинга осуществлялся на основании следующих критериев:

- технические характеристики;
- эксплуатационные характеристики;
- ремонтпригодность;
- стоимость оборудования.

Наиболее оптимальным вариантом по этим параметрам является комплекс "Тензор–МС" со следующим набором оборудования:

- тензометры;
- акселерометры;
- инклинометры;
- датчик контроля осевого давления;
- датчик температуры;
- контроллеры (блоки сбора и обработки информации).

Также в составе системы мониторинга находятся:

- ультразвуковой датчик ветра;

- мобильный приемник ГНСС;
- базовые станции ГНСС.

Особенность данного комплекса заключается в возможности одновременного подключения датчиков различного типа (резистивных и оптических, тензодатчиков, датчиков вибраций и др.). Датчики этого комплекса съемные с оригинальной конструкцией, защищенные от атмосферных воздействий и приспособленные для быстрой установки. Еще одним преимуществом комплекса является возможность снятия датчиков для проведения периодических проверок и ремонта в случае отказа в работе.

В комплексе "Тензор–МС" используется беспроводная технология передачи данных Bluetooth.

Конструктивно комплекс представляет собой устройство распределено-модульного типа, содержащее систему блоков сбора информации, сопряженных с многофункциональными первичными датчиками, и систему комбинированной (беспроводной или проводной) связи между блоками и мобильным компьютером. Каждый блок обеспечивает работу восьми датчиков различного типа.

Выбранная система позволит получать характерную информацию о напряженно-деформированном состоянии элементов пролетного строения, в полной мере контролировать изменения выбранных предельных параметров.

#### Литература:

1. СП 274.1325800.2016. Мосты. Мониторинг технического состояния// АО «ЦНИИС». – М., 2016. – 50 с.
2. Инструкция по содержанию искусственных сооружений (ЦП-628) / МПС России. – М.: Транспорт, 1999. – 108 с.
3. Руководство по определению грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов / Главное управление пути Министерство путей сообщения, НИИ мостов, институт "Гипротранспуть". – М.: Транспорт, 1987. – 272 с