

МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ ЛЕТНЕГО АМФИТЕАТРА В Г.ВИТЕБСКЕ

Драган А.В., Люстибер В.В.

Разработанная в 2005 году в Брестском государственном техническом университете под научным руководством к.т.н., доцента Драгана В.И. металлическая структурная система, получившая впоследствии название система «БрГТУ», открыла новые возможности в области проектирования и строительства большепролетных покрытий. Здания и сооружения, в которых нашла применение металлическая структурная система «БрГТУ» обладают высокой архитектурной выразительностью, а сама система демонстрирует высокий уровень конструкционной надежности, безопасности, эксплуатационной пригодности и технологичности. Создание данной конструктивной системы придало новый импульс в развитии отечественного опыта строительства большепролетных пространственных сооружений. В период с 2006 по 2018 годы система была применена при возведении 21 объекта спортивного, зрелищного и торгового назначений, которые вошли в число ярких достопримечательностей городских застроек, имеют большое социальное значение, позволяют повысить уровень проведения общественных, культурных и спортивных мероприятий.

Кроме того, рождение структурной системы «БрГТУ», послужило основанием для создания в стенах университета большой научной школы, которую бессменно возглавлял Драган В.И. Система «БрГТУ» защищена 34 патентами на изобретения и полезные модели, удостоена многочисленных дипломов победителей конкурсов, золотых медалей и призов международных технических ярмарок и выставок, по теме работы защищены две кандидатские и две магистерские диссертации, опубликованы свыше 45 статей в научных изданиях и материалах международных конференций.

Первое место среди сооружений, возведенных с использованием системы «БрГТУ», занимает покрытие Летнего амфитеатра в г. Витебске. Данное сооружение относится к категории уникальных сооружений как с точки зрения архитектурно-художественной выразительности, так и технической сложности. Пролет сооружения составляет 120,014 м, ширина покрытия переменная и изменяется от 24,0 м (на опорах) до 71,0 м (в середине покрытия), высота подъема составляет 18,5 м. Основными конструктивными элементами покрытия являются вертикальные (пять нижних и четыре верхние), наклонные арки и цилиндрическая структурная оболочка. Радиус структурной оболочки составляет 106,98 м (по центрам узлов нижней поясной сетки), высота структурной конструкции – 2,51 м. Структурная оболочка выполняет функцию решетчатой пространственной арки, которая за счет совместной работы с вертикальными и наклонными арками воспринимает внешние воздействия по всей площади покрытия.



Рисунок 1 – Общий вид большепролетного структурного покрытия Летнего амфитеатра в г.Витебске

Уникальность и техническая сложность покрытия Летнего амфитеатра в г.Витебске потребовали выполнения системного научно-технического сопровождения процесса эксплуата-

ции сооружения. Начиная с 2007 года (год возведения покрытия) и до настоящего времени специалистами университета ежегодно проводится мониторинг технического состояния покрытия. Программой мониторинга предусматривается:

- определение фактических нагрузок и воздействий на сооружение на различных этапах эксплуатации;
- выявление дефектов и повреждений, оценка их влияния на работу конструкции;
- определение фактических значений внутренних усилий в элементах структурной оболочки по средствам измерениям амплитудно-частотных характеристик [1,2];
- анализ полученных результатов, разработка заключения по результатам мониторинга.

Обследование конструкций покрытия Летнего амфитеатра в г. Витебске выполняется в порядке установленном в [3]. Сначала производится сплошной визуальный осмотр всех узлов и элементов покрытия для выявления в них возможных дефектов и повреждений. Кроме этого, все покрытие разбивается на отдельные участки, которые фотографируются и сохраняются в цифровом формате. В последующем фотографии просматриваются в увеличенном формате.

Для определения действительных значений усилий в элементах сооружения группой сотрудников университета была разработана методика, основанная на измерении собственных частот колебаний элементов структурной конструкции с использованием компьютерной измерительной системы анализа вибрационных характеристик ВИКМА-1 [1]. Теоретической основой разработанной методики послужили положения теории колебаний о взаимосвязи собственных частот поперечных колебаний от величины продольного усилия (растягивающего и сжимающего) в элементах. На основании экспериментальных исследований [1,2] (на отдельных стержневых элементах и на фрагментах структурных конструкций) были установлены эмпирические зависимости «частота – усилие», позволившие получать качественную оценку продольных усилий в элементах эксплуатируемых структурных конструкций системы «БрГТУ». Основные положения методики определения продольных усилий в элементах структурных конструкций на основании измерения амплитудно-частотных характеристик, а также способы получения тарировочных зависимостей изложены в работах [1,2].

Для определения усилий в элементах структурных конструкций покрытия Летнего амфитеатра в г. Витебске проводились следующие операции:

1. В средней части стержневого элемента, в котором требуется определить внутреннее осевое усилие, помещается магнитный вибрационный датчик;
2. Запускается процесс измерений амплитудно-частотных характеристик помощью системы ВИКМА-1;
3. В измеряемом элементе возбуждаются колебания поперечные его продольной оси;
4. По окончанию измерительного процесса (20-25 секунд) система строит график колебательного процесса и выдает спектр частот, по которому определяется собственная частота поперечных колебаний элемента (рисунок 2);
5. На основании эмпирических зависимостей «частота-усилие» [1] определяется осевое усилие в рассматриваемом элементе.

Данная методика определения внутренних осевых усилий в стержневых элементах структурной конструкции использовалась на всех этапах проведения мониторинга технического состояния покрытия Летнего амфитеатра начиная с ноября 2008 года и по последнего этапа (июнь 2018 года). Точность определения частот собственных колебаний составляет 0,08 Гц, что в конечном итоге выражается в погрешности значений вычисленных усилий в среднем на 8,5 кН.

Величины внутренних осевых усилий, полученные по средствам амплитудно-частотных измерений, сравнивались с расчетными значениями, вычисленными с использованием конечно-элементной модели покрытия в программном комплексе Lira. Расчетные значения усилий определялись с учетом действующих на покрытие нагрузок, зафиксированных на каждом конкретном этапе мониторинга, а именно – собственный вес стальных конструкций, вес технологического оборудования, ветровая нагрузка, температурные воздействия и вес снегового покрова (для третьего этапа мониторинга (февраль 2010г.). За время проведения мони-

торинга толщина снегового покрова на покрытии изменялась в пределах 45-50 см. При этом всегда фиксировали равномерное по площади покрытия распределение снегового покрова, а максимальная зафиксированная плотность снега составила 269 кг/м^3 [4]).

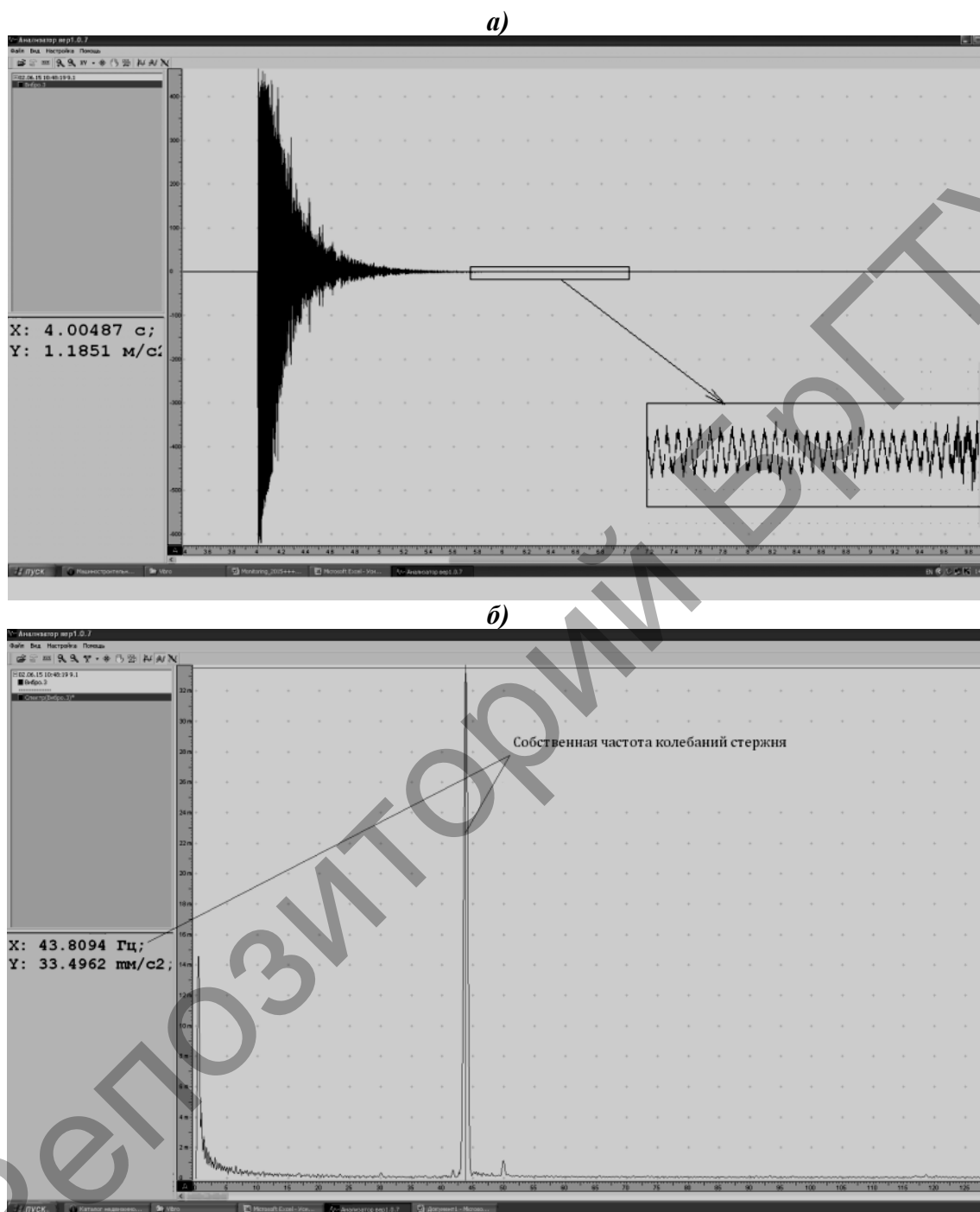


Рисунок 2 – Результаты натуральных измерений амплитудно-частотных характеристик [5]:

- a)** – график собственных колебаний стержня при возбуждении поперечных колебаний;
- б)** – частотный спектр колебаний стержневого элемента;

Данные различных этапов мониторинга (с ноября 2008 года по июнь 2018 года) наглядно представлены в виде гистограммы распределения значений коэффициентов использования сечений в элементах структурного покрытия во времени (рисунок 3). На гистограмме также показано изменение во времени коэффициентов использования сечений для растянутых и сжатых элементов структурного покрытия.

Представленные на гистограмме данные показывают практически идентичные значения коэффициентов использования сечений за весь период наблюдений: для растянутых элементов интервал составил от 0,26 до 0,35; для сжатых – от 0,28 до 0,46. Исключение составили данные третьего (февраль 2010 года) и четвертого этапа (май 2010 года) мониторинга, демонстрирующие максимальные и минимальные значения соответственно. Пиковые значения коэффициентов использования сечений, полученные на третьем этапе, объясняются максимальными воздействиями на покрытие в момент проведения мониторинга: равномерно распределенная снеговая нагрузка на покрытие составляла 121кг/м^2 , отрицательная температура наружного воздуха – минус 4°C . В тоже время на четвертом этапе мониторинга (май 2010 г.) в виду полного отсутствия временных нагрузок и температуры воздуха соответствующей температуре замыкания конструкции получены минимальные значения коэффициентов использования сечений.

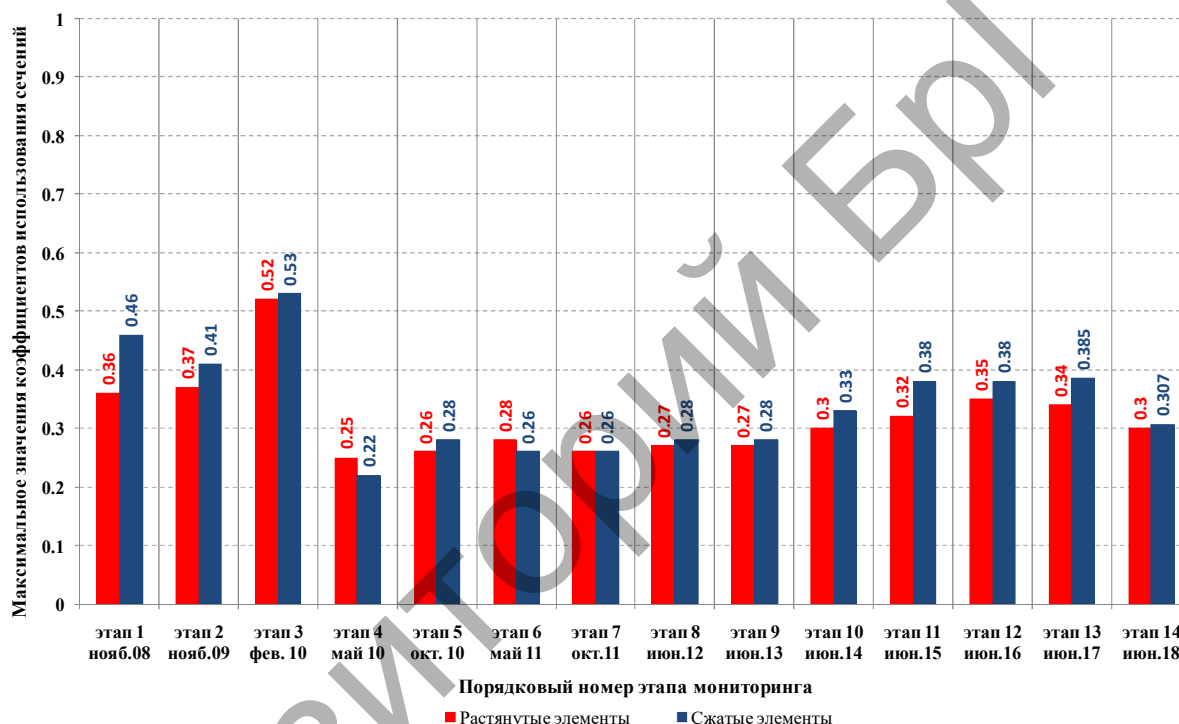


Рисунок 3 – Распределение значений коэффициентов использования несущей способности элементов структурной конструкции за отчетный период мониторинга [5]

Анализ результатов измерений, выполняемых на протяжении всего периода мониторинга, начиная с 2008 года, свидетельствует об исправном техническом состоянии и эксплуатационной пригодности сооружения. Вычисленные на различных этапах мониторинга коэффициенты запасов несущей способности для элементов структурного покрытия, как правило, имели значения более, чем в 2 раза ниже предельных (рисунок 3). Усилия в элементах структурной оболочки, измеренные на различных этапах мониторинга за период с 2008 г. по 2018г. коррелируют между собой. Стабильность характеристик напряженно-деформированного состояния конструкций при сопоставимых силовых воздействиях убедительно доказывает, что за рассматриваемый период снижения несущей способности конструкций не отмечено, покрытие обладает высоким уровнем надежности, эксплуатационной пригодности и долговечности.

Отсутствие дефектов и повреждений в элементах структурного покрытия, запасы несущей способности конструкций (для летнего периода – свыше 3,6 раза; для зимнего периода – свыше 1,9 раза) свидетельствует об исправном техническом состоянии покрытия Летнего ам-

фитеатра и обеспечении безопасных условий эксплуатации в течении всего нормативного срока использования по назначению.

Методика определения действительных внутренних продольных усилий в элементах, основанная на измерениях амплитудно-частотных характеристик, демонстрирует хорошую сходимости расчетных и действительных результатов на протяжении всего периода проведения мониторинга, чем подтвердила обоснованность её применения для оценки несущей способности и надежности элементов структурных конструкций системы «БрГТУ».

Список источников

1. Драган В.И. Исследование напряженно-деформированного состояния металлической структурной конструкции системы «БрГТУ» методами теории колебаний / В. И. Драган, А. В. Мигель // Вестник БрГТУ. – 2010. - №1(61): Строительство и архитектура. – С.70-74.

2. Драган В.И. Методика диагностики технического состояния металлических структурных конструкций системы «БрГТУ» / В.И. Драган, А.В. Мигель // Материалы XIV научно-методической конференции ВИТУ; Санкт-Петербург, 18 марта 2010/ ВИТУ; редкол. В.Т. Гвоздов[и др.]. – Санкт-Петербург, 2010. – С.137-141.

3. Проведение осмотров (обследований) технического состояния структурных конструкций системы «БрГТУ»Р 1.04.085.11. – введ. 19.09.11. – Брест: Брест. гос. техн. ун-т, 2011. – 12 с

4. Акт «По определению удельного веса снежного покрова в р-не Летнего амфитеатра в г.Витебске» от 23.02.2010г.

5. Проведение технического обследования металлоконструкций арочного покрытия филиала «Летний амфитеатр» по адресу г.Витебск, пр.Фрунзе, 13А: отчет по НИР / БрГТУ; рук.темы А.В. Драган. – Брест, 2018. – 56 с. – №18/73.