

4. Андреев, С.А. Каменные конструкции / С.А. Андреев. – М.–Л.: Изд-во М-ва коммун. хоз-ва, 1948. – С. 37, 40.
5. Каменная колонна: пат. № 1506 Е 04 С 3/30 / В.Д. Гринёв, Х.Р. Аражи; заявка № И 20030521 от 5.12.03.
6. Каменная колонна: пат. № 1619 Е 04 С 3/30 / В.Д. Гринёв, Н.Н. В.И. Атрахимович; заявка № И 20040139 от 25.03.04.
7. Каменная колонна: пат. № 1661 Е 04 С 3/30 / В.Д. Гринёв, А.М. Хаткевич, В.И. Атрахимович, Х.Р. Аражи; заявка № И 20040212 от 3.05.04.
8. Каменная колонна: пат. № 1750 Е 04 С 3/30 / В.Д. Гринёв, Х.Р. Аражи, В.И. Атрахимович, А.М. Хаткевич; заявка № И 20040253 от 27.05.04.
9. Каменная колонна: пат. № 1755 Е 04 С 3/30 / В.Д. Гринёв, В.И. Атрахимович, А.М. Хаткевич, Х.Р. Аражи; заявка № И 20040295 от 17.06.04.
10. Каменная колонна: пат. № 3110 Е 04 С 3/30 / В.Д. Гринёв, В.И. Атрахимович, О.А. Борисенко, А.Н. Михеенко; заявка № И 20060182 от 24.03.06.
11. Каменная колонна: пат. № 8684 Е 04 С 3/30 / В.Д. Гринёв, В.И. Атрахимович, Н.Г. Скоморохов; заявка № И 20040119 от 19.01.04.

УДК 624.014.001.24 (476.7)

Драган В.И., канд. техн. наук; **Люстибер В.В.**
(БрГТУ, г. Брест)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ ЛЕТНЕГО АМФИТЕАТРА В ВИТЕБСКЕ

Натурные испытания, несмотря на значительные сложности их подготовки и проведения в условиях строительства, позволяют максимально достоверно оценить техническое состояние и пригодность к эксплуатации строительных конструкций. В ряде случаев проведение натурных испытаний наиболее целесообразный, а иногда единственно возможный способ для получения такой оценки.

Перед внедрением новой металлической стержневой системы «БрГТУ» [1] в практику строительства проводились многочисленные экспериментальные испытания и теоретические исследования напряженно-деформированного состояния отдельных узлов, а также фрагментов структурных плит. Первое натурное испытание новой пространственной системы выполнено в 2005 году на объекте «Покрытие театра эстрады в парке культуры и отдыха в Бресте». Позже были проведены натурные испытания

покрытия Ледовой арены в г. Пружаны и большепролетного покрытия Летнего амфитеатра в Витебске. Полученные теоретические и экспериментальные результаты подтвердили правильность принятой методики расчета и высокую надежность конструкций системы «БрГТУ».

Большепролетное покрытие Летнего амфитеатра запроектировано в металлических конструкциях заводского изготовления и представляет собой комбинированную стержневую систему. Данная система состоит из структурной цилиндрической оболочки, усеченной двумя наклонными плоскостями, и подкрепляющих ее девяти вертикальных арок (пять нижних и четыре верхних), двух наклонных арок, а также двух решетчатых колонн, расположенных за трибунами. Пролет нижних вертикальных арок составляет 120,014 м, ширина покрытия переменная и изменяется от 24,0 м на опорах до 71,0 м в средней части покрытия. Для восприятия значительных опорных реакций (горизонтальная составляющая – свыше 10 000 кН, вертикальная составляющая – свыше 30 000 кН) запроектированы монолитные фундаменты на забивных сборных усиленных и мостовых сваях.

Покрытие представляет собой единую систему, насчитывающую более 6000 стержневых элементов и 1500 узловых элементов. Следствием такого количества сборочных марок является присутствие в системе более 8000 болтовых и сварных соединений. Необходимо также отметить, что реакция такого уникального сооружения на воздействие окружающей среды определяется рядом сложных физических процессов, адекватное описание которых на протяжении всего интервала действия нагрузок во многом проблематично.

При наличии таких сложных вопросов избежать грубых ошибок на стадии проектирования позволяет сравнительный анализ нескольких вариантов расчетных схем. В связи с этим было разработано несколько расчетных моделей в каждом из вычислительных комплексов таких, как ПК Лира 9.2, SCAD 11.1, NS NASTRAN, COSMOSFloWorks. В первых двух комплексах выполняли расчеты покрытия на статические и динамические нагрузки, а также проверку общей устойчивости покрытия и расчеты против прогрессирующего обрушения. В NS NASTRAN производили расчеты в геометрически и физически нелинейной постановке, а также находили формы потери устойчивости конструкции и критические силы. С помощью программного комплекса COSMOSFloWorks исследовали аэродинамические свойства сооружения.

Сравнение результатов натурного испытания с теоретическими данными, позволило выделить расчетную модель, теоретическое напряженно-деформированное состояние которой более близко соответствует действи-

тельной работе покрытия (рис. 1). В этой модели вертикальные и наклонные арки на участках между узлами описывались соответственно тремя и двумя стержнями. Для описания криволинейности стержней каждая панель разбивалась на четыре отрезка равной длины. Узлы опирания структуры на ветви колонн допускают горизонтальные перемещения. Податливость узлов структуры моделировалась введением по концам стержневых элементов вставок с жесткостными характеристиками, рассчитанными на основании данных, полученных при испытаниях узлов системы «БрГТУ». Фундаменты сооружения моделировались с помощью пластин, имеющих достаточно большую жесткость, а сваи представлены стержнями с жесткостными характеристиками соответствующими экспериментальным значениям, полученным при испытаниях на вертикальные и горизонтальные нагрузки.

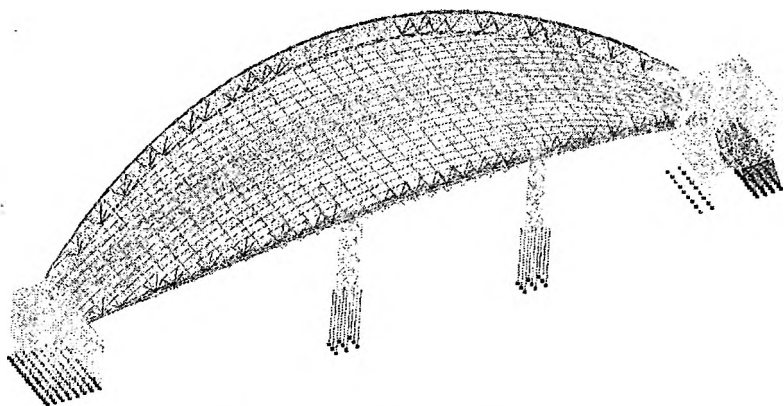


Рис.1. Расчетная модель покрытия

По величине перекрываемого пролета покрытие Летнего амфитеатра относится к классу уникальных сооружений, а принятое конструктивное решение не имеет аналогов в практике мирового металлостроительства. Уникальными является методика проведения испытания и непосредственно сами испытания. Более того, исследование действительной работы такого класса сооружений, выполненного в металлоконструкциях, в Беларуси выполнено впервые. Покрытие было загружено полной нормативной нагрузкой, которая включала собственный вес металлической структуры, вертикальных и наклонных арок, вес смонтированного технологического оборудования, вес лотков для отвода воды и испытательную нагрузку (рис. 2),

которая определялась нормативным значением снеговой нагрузки и весом кровли из поликарбоната. Испытательная нагрузка превысила нормативное значение проектной нагрузки в 1,18 раза. В процессе испытания конструкции покрытия подвергались температурному воздействию от -4 до $+14$ °С.

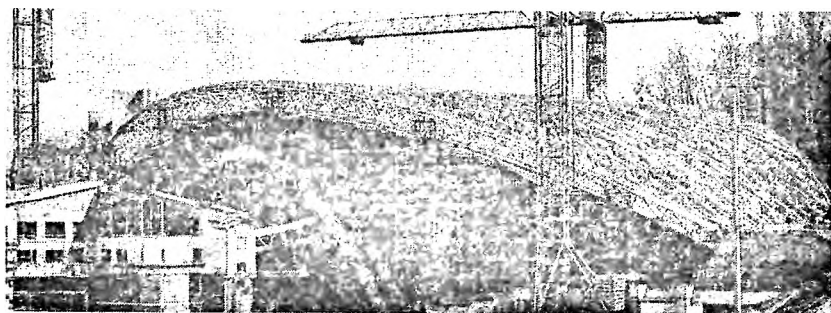


Рис. 2. Загружение покрытия испытательной нагрузкой

Для определения фибровых деформаций элементов покрытия применяли механические тензометры с использованием индикаторов часового типа. По фибровым деформациям определяли фибровые напряжения, затем вычисляли продольные осевые усилия и изгибающие моменты. Усилия контролировали в наиболее характерных элементах покрытия.

Для определения деформированного состояния покрытия измеряли вертикальные перемещения «контрольных» точек, расположенных на структурной оболочке покрытия и верхних поясах арок. Измерение перемещений точными электронными геодезическими приборами выполняли специалисты Полоцкого государственного университета.

Первым этапом испытания являлось нагружение покрытия собственным весом в момент его снятия с временных опор. Нагружение в этот наиболее ответственный момент испытания осуществлялось постепенно по мере удаления временных опор под узлами структуры вертикальными и наклонными арками. Очертания эпюр деформирования покрытия, снятого с временных опор, практически полностью соответствуют форме деформирования, полученной в расчетной модели. Величина измеренных перемещений для подавляющего числа «контрольных» точек ниже соответствующих расчетных значений. Так, например, для консольной части структурной оболочки максимальное фактическое перемещение составило всего 58,6 % расчетно-теоретического. В средней части наклонных арок измеренные деформации достигли 14,3 – 64,3 % теоретических.

В результате анализа напряженного состояния установлено соответствие действительных и теоретических усилий в наиболее ответственных элементах для покрытия снятого с временных опор, а также загруженного экспериментальной нагрузкой. При анализе установлено не только превышение теоретических напряжений над экспериментальными, но и противоположное соотношение сравниваемых величин. Однако превышение измеренных напряжений над расчетными далеко от критических. Для исследованных элементов покрытия нижний предел рассчитанных коэффициентов запаса несущей способности составляет не менее 2,5. Во всех элементах конструкции отмечена упругая работа материала, что подтверждается возвратом показаний индикаторов, снятых при той же температуре наружного воздуха после разгрузки покрытия.

Анализ деформированного состояния покрытия, загруженного испытательной нагрузкой, выполнен по эпюрам вертикальных перемещений. Ниже представлены характерные эпюры, построенные в двух ортогональных плоскостях проходящих через центр покрытия (рис. 3).

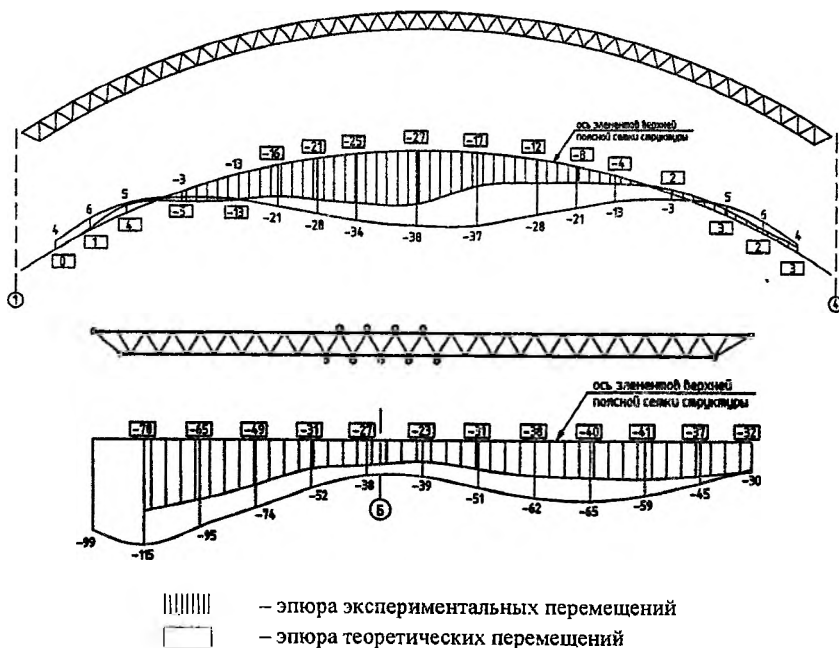


Рис. 3. Вертикальные перемещения покрытия

Как и на первом этапе испытания, в данном случае установлено достаточно хорошее совпадение очертаний эпюр экспериментальных и теоретических вертикальных перемещений. В процессе испытания покрытие работало в упругой стадии, о чем свидетельствует восстановление его формы после снятия испытательной нагрузки. Больших несимметричных перемещений, выпучиваний отдельных частей, свидетельствующих о потере устойчивости конструкцией, обнаружено не было. Для большинства узлов структурной оболочки экспериментальные перемещения не превысили 40 – 60 % величины теоретических перемещений.

Схожие формы деформирования, незначительная разница между измеренными и рассчитанными вертикальными перемещениями покрытия и усилиями в наиболее ответственных элементах, значительные коэффициенты запаса несущей способности для наиболее характерных элементов – все это позволяет утверждать о правильно принятых конструктивных решениях и достаточно точном моделировании действительного напряженно-деформированного состояния. Подтверждением вышесказанного являются результаты мониторинга, выполняемого на протяжении всего времени после сдачи объекта в эксплуатацию. За все время наблюдений каких-либо дефектов и повреждений конструкций не выявлено.

Литература

1. Узел соединения полых стержней пространственного каркаса: пат. 2489 Респ. Беларусь / В.И. Драган, А.А. Левчук, Н.Н. Шалобьта, В.Н. Пчѐлин; заявитель Брест. гос. тех. ун-т. – опубл. 28.02.06 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 1.

УДК 69.035.4:711.7

Поправко А.В.

(ПГУ, г. Новополоцк)

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ КНИГОХРАНИЛИЩА НАЦИОНАЛЬНОЙ БИБЛИОТЕКИ БЕЛАРУСИ

На основании компьютерного моделирования методом конечных элементов с учетом расчетных постоянных и временных нагрузок определена оптимальная конструктивная схема высотного здания книгохранилища Национальной библиотеки Республики Беларусь.