

УДК 624.074

МОНИТОРИНГ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ УНИКАЛЬНЫХ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

П.Г. ЕРЕМЕЕВ, доктор техн. наук, профессор, И.И. ВЕДЯКОВ, доктор техн. наук, профессор, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

Ключевые слова: большепролетные сооружения, мониторинг, критерии контроля несущих конструкций

Keywords: long-span structures, monitoring, control criteria of load-bearing structures

Частые сообщения об инцидентах определяют актуальность непрерывной диалоговой оценки работоспособности уникальных большепролетных конструкций. Практика показывает необходимость организации мониторинга для таких сооружений в период их монтажа и эксплуатации. Даны главные термины и определения. Сформулированы основные положения по проведению мониторинга, включая критерии контроля состояния несущих конструкций и обоснование схемы расположения и количества наблюдаемых точек.



Еремеев Павел Георгиевич, гл. научный сотрудник, заслуженный строитель РФ, более 140 научн. публикаций, 6 монографий, 13 патентов



Ведяков Иван Иванович, директор ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, почетный строитель России, около 30 научных публикаций

Уникальные большепролетные сооружения имеют повышенный уровень ответственности по назначению [1], отказы которых могут привести к тяжелым экономическим и социальным последствиям. В этой связи возникают дополнительные требования к номенклатуре и объемам изысканий и проектных работ, изготовлению и монтажу конструкций, правилам их приемки и эксплуатации. Частые сообщения об инцидентах определяют актуальность непрерывной диалоговой оценки работоспособности большепролетных пространственных конструкций покрытий. Уникальность большепролетных сооружений определяется «Техническим заданием» и «Специальными техническими условиями» на проектирование [2]. Для таких объектов необходима организация мониторинга в период их монтажа и эксплуатации [3]. Многолетний положительный опыт, накопленный в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко при возведении олимпийских стадионов в 1980-х годах и последующей их эксплуатации, используется и сегодня при мониторинге и оценке работоспособности подобных сооружений. На основе анализа отечественного и зарубежного опыта приняты следующие основные определения.

Уникальные большепролетные сооружения – объекты, характеризующиеся по критерию технической сложности, следующими параметрами:

– пролеты свыше 100 м, при конструктивных решениях, прошедших успешную апраба-

цию в практике проектирования, строительства и эксплуатации;

– пролеты свыше 60 м, при принципиально новых конструктивных решениях, требующих разработки специальных методов расчета, экспериментального исследования на физических моделях и т.п.

Технический мониторинг объекта – систематическое наблюдение с использованием технических средств за состоянием конструкций в процессе строительства и эксплуатации с целью контроля их качества, оценки соответствия проектным решениям и нормативным требованиям, обеспечения обратной связи для предупреждения и устранения последствий негативных процессов. Задачами мониторинга являются: оценка и прогноз фактической несущей способности конструкций, прогнозирование на этой основе остаточного ресурса сооружения, принятие обоснованных решений о продлении срока безаварийной эксплуатации объектов.

Эксплуатация несущих конструкций объекта – комплекс мероприятий по обеспечению надежности конструкций в течение расчетного срока службы объекта в соответствии с требованиями нормативных и проектных документов.

Повышенные требования к надежности уникальных большепролетных сооружений определяют необходимость мониторинга их технического состояния [4, 5] на стадии возведения и эксплуатации. Состав работы: установление фактических нагрузок, воздействий и факторов, являющихся причинами возникновения дефектов; определение напряженно-деформированного состояния системы; обнаружение и слежение за ростом дефектов и их регистрация; расчет на фактические нагрузки по этапам измерений и анализ соответствия результатов мониторинга расчетным данным; разработка критериев оценки опасности обнаруженных дефектов и рекомендаций по эксплуатации сооружения.

При мониторинге контролируются основные виды повреждений: изменение пространственного положения конструкции, трещины в элементах и в узлах, коррозия металла, износ элементов и т.п. Основное влияние на напряженно-деформированное состояние конструкции оказывают нагрузки. При их периодическом изменении могут образоваться локальные участки с повышенным уровнем напряжений, обычно группирующиеся в зонах концентраторов. Возникновению и развитию дефектов могут способствовать внешние воздействия: неравномерные осадки основания, физико-химические свойства среды, способствующей коррозии и т.п.

Методы проведения технического мониторинга могут быть разделены на два основных класса: статические и динамические, использующие данные динамических испытаний. Рассмотрим статические методы. Выбор метода контроля, обеспечивающего своевременное обнаружение дефектов при мониторинге, зависит от типа конструкции, вида ожидаемых эксплуатационных дефектов, мест их возникновения и т.д., свойственных данному объекту. Это может быть инструментальный контроль с применением акустико-эмиссионного, ультразвукового, тензометрического, геодезического и других методов, а также использование различных систем автоматического мониторинга для непрерывной оценки напряженно-деформированного состояния конструкций.

Геодезические измерения перемещений зачастую непосредственно подтверждают работоспособность конструкции, они более чувствительны к локальным изменениям состояния системы. Этот метод наиболее предпочтителен, т.к. он прост, быстр, экономичен, не требует использования сложного оборудования. Метод приспособлен к обнаружению повреждений в конструкциях из различных материалов, включая сталь, бетон, алюминий и древесину. Существующий опыт многолетних геодезических наблюдений подтверждает их эффективность применительно к большепролетным сооружениям.

Инструментальный геодезический мониторинг включает исполнительную съемку контролируемых точек на соответствие фактических и проектных размеров и отметок (нулевой этап); выполнение циклов наблюдений за деформациями основных несущих конструкций (измерения координат контролируемых точек); выполнение циклов наблюдений за осадочными марками на фундаментах. Эти измерения могут проводиться и в автоматическом режиме. Оценка несущей способности основных конструкций и их эксплуатационной надежности выполняется путем сравнения фактически замеренных перемещений с расчетными данными. Путем проведения натурных геодезических замеров с определенным интервалом времени может быть оценен ресурс долговечности как конструктивных элементов, так и системы в целом. При этом измерения фактических перемещений несущих элементов конструкций позволяют контролировать истинную жесткость (деформативность) элементов и сооружения в целом. Прогибы пролетной конструкции и горизонтальные

перемещения опорного контура являются интегральными (обобщенными) характеристиками, определяющими не только деформированное, но и напряженное состояние пространственной системы.

При эксплуатации уникальных большепролетных сооружений необходимо проведение систематических наблюдений, текущих и общих периодических осмотров. После стихийных бедствий или аварий проводятся внеочередные осмотры. Перечень элементов и узлов конструкций, требующих обязательных осмотров, методы проведения мониторинга и частота требуемых специальных осмотров, требуемое техническое оснащение и оборудование, должностные обязанности персонала эксплуатирующей организации и их ответственность должны содержаться в специальных разделах проектной документации и регламенте по эксплуатации сооружения.

При осмотрах строительных конструкций устанавливается их физическое состояние, обнаруживаются дефекты, появившиеся в результате ошибок проектирования, нарушений при изготовлении, транспортировке и хранении конструкций, их монтаже и эксплуатации. Выявляются общие и местные деформации конструкции, смещения от проектного положения отдельных элементов или конструкции в целом, искажение формы или нарушение геометрических размеров сечений, механические повреждения элементов, трещины в основном металле или в сварных швах, отсутствие, перерывы и иные недопустимые дефекты сварных швов в узловых соединениях или линейных элементах конструкций, отсутствие заклепок, болтов, гаек или средств их фиксации в соединениях, искривление элемента вследствие потери устойчивости, отсутствие или разрушение элементов несущих или связевых конструкций, обеспечивающих устойчивость основных конструкций, повреждения антикоррозионных защитных покрытий и т.д. Определение причин дефектов и повреждений проводится специализированными организациями на основании детального инструментального обследования.

В случае возникновения опасных деформаций или других признаков разрушения наблюдения ведутся ежедневно с принятием соответствующих мер, обеспечивающих безопасность людей и сохранность оборудования (разгрузка аварийных конструкций, ограждение аварийного участка конструкции, организация освидетельствования с привлечением специализированных организаций для разработки мер по усилению или замене конструкции). Степень опасности и меры по устранению дефектов и повреждений конструкций определяются на основе поверочных расчетов.

Критерии контроля напряженно-деформированного состояния несущих конструкций определяются анализом работы сооружения на двух уровнях с учетом данных инструментального мониторинга. Первый уровень определяет требование соответствия (непревышения) данных натурных наблюдений результатам расчетов на фактические нагрузки как качественно, так и количественно, что контролирует обеспечение условий нормаль-

ной эксплуатации объекта. Второй уровень определяет требование своевременного предупреждения наступления предельного состояния строительного объекта, возможных катастрофических разрушений в случае аварийных воздействий.

Система критериев первого уровня включает сбор и анализ исходной информации о сооружении (геометрия, конструктивная и расчетная схема, типы несущих конструкций и их свойства, схема обеспечения пространственной жесткости и устойчивости сооружения), расчетных значений замеряемых параметров (результаты расчетов, наиболее слабые места объекта и т.д.), возможных внешних нагрузках, их характере и направлении. Разделяются постоянные нагрузки и воздействия (собственный вес конструкций и кровли, технологические нагрузки, воздействия, связанные с этапами монтажа конструкции и т.п.) – нулевой этап и временные климатические нагрузки (снег, температура, гололед).

Система критериев второго уровня основывается на контроле данных натуральных наблюдений, которые не должны превышать критических величин. Дополнительно учитываются возможные причины возникновения дефектов и прогноз их развития, влияние обнаруженных дефектов на устойчивость сооружения. Проводится предварительная оценка степени повреждения и технического состояния объекта. Инженерная безопасность сооружения определяется экспертным методом по результатам комплексного анализа экспериментальных данных и моделирования поведения объекта при возможных воздействиях. Разрабатывается проект первоочередных мероприятий в зависимости от степени возможного повреждения сооружения. Дополнительная система критериев включает требование работы конструкции в упругой области. После снятия с конструкции временной нагрузки (снег, температура) контрольные параметры должны возвращаться к изначальным величинам, их зависимости от нагрузки должны быть плавными, без резких скачков.

Обоснование величин предельно допустимых (критических) контрольных параметров несущих конструкций выполняется на основании оценки их несущей способности по результатам расчетов. Численный анализ проводится с использованием современных программных комплексов с учетом геометрической и физической нелинейности. Создается полная конечно-элементная модель конструкции сооружения, максимально приближенная к фактической, для расчетов на все виды нагрузок, с учетом моделирования процесса его возведения. Выполняются численные исследования работы конструкции на проектные нагрузки. К результатам расчетов на постоянные нагрузки добавляются расчеты на снеговые нагрузки, соответствующие разным уровням: от расчетной нагрузки до ее увеличения с коэффициентом перегрузки 1,5. Первый уровень определяет требование соответствия данных натуральных наблюдений результатам расчетов на фактические нагрузки, что контролирует обеспечение условий нормальной эксплуатации объекта. При этом данные натуральных наблюдений не долж-

ны превышать результаты расчетов на климатические нагрузки. Второй уровень определяет требование своевременного предупреждения наступления предельного состояния строительного объекта, непревышение данных натуральных наблюдений относительно результатов расчетов на увеличенные значения нагрузок, исключение катастрофических разрушений в случае аварийных воздействий. Первичным критерием для оценки параметров функционирования объекта наблюдения является сопоставление результатов наблюдения с расчетно-теоретическими предпосылками. При прямом пути контроль параметров осуществляется непосредственно по показаниям приборов – например, по величине перемещений, замеренных в наиболее характерных точках. При косвенном пути о контролируемом параметре судят по показаниям, лишь функционально связанным с контролируемым. Как, например, при оценке жесткости конструкции по ее перемещениям. В преобладающем большинстве случаев оба приема используют совместно. Если результаты расчета совпадают с показаниями, характеризующими совокупную реакцию объекта наблюдения, имеются основания для вывода о соответствии действительной работы сооружения теоретической модели и – в общем случае – для оценки его эксплуатационной работоспособности.

Достоверность полученной информации определяется составом и объемом статистически обоснованных данных об особенностях функционирования объекта наблюдения, в первую очередь тех его параметров (фактические климатические воздействия, действительное напряженно-деформированное состояние конструкций), которые интегрально характеризуют эксплуатационную надежность сооружения и позволяют прогнозировать ресурс безаварийной работы. Приборное и инструментальное оснащение определяется программой, содержащей перечень элементов, узлов и конкретных параметров, подлежащих длительному контролю, необходимых и достаточных для суждения о техническом состоянии объекта наблюдения. Расположение и количество наблюдаемых точек, необходимых для мониторинга, зависит от типа, пролета и материала большепролетной конструкции. Требования к расположению и количеству контрольных точек определяются необходимостью получения достаточно полной картины напряженно-деформированного состояния основных элементов покрытия по результатам натуральных наблюдений.

Библиографический список

1. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.
2. Еремеев П.Г. Особенности проектирования уникальных большепролетных зданий и сооружений // *Строительная механика и расчет сооружений*, №1, 2005, с. 69-75.
3. Гордиенко В.Е. Мониторинг: пути повышения надежности и прогнозирования остаточного ресурса металлических конструкций зданий и сооружений // *Промышленное и гражданское строительство*, №12, 2005.
4. Chen J.C., Garba J.A. (1988). On-orbit damage assessment for large space structures // *AIAA Journal*, 26(12):1119-1126.