

УДК 624.042

**Е. А. Мойсейчик, канд. техн. наук, доц., Е. К. Мойсейчик, канд. техн. наук, доц.,  
П. А. Атрушкевич, канд. техн. наук, проф.**

## **УРОКИ ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЙ НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ И НЕОБХОДИМОСТЬ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА СТАДИЯХ ПОДГОТОВКИ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ПОВЫШЕННОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ СЛОЖНОСТИ**

В статье рассмотрены уроки аварий на инженерных сооружениях повышенной сложности в связи с рядом особенностей технологии современного проектирования в странах СНГ. Показано, что требуемая работоспособность строительных объектов повышенной инженерной сложности может быть обеспечена в процессе мониторинга технического состояния их основных элементов. Рассмотрены основные задачи построения систем технического мониторинга конструктивной безопасности строительных объектов.

### **Введение**

Аварии строительных конструкций с давних времен поучительны для проектировщиков и строителей; они дают ценный материал для практики и научных исследований [1–5]. На территории стран СНГ аварии не редкость. Так, статистика обрушений зданий и сооружений только в Российской Федерации такова: в 1994 г. произошла 21 авария, в 1995 г. – 36, в 1996 г. – 31, в 1997 г. – 27, в 1998 г. – 34, в 1999 г. – 43; в среднем же с 1993 по 1998 гг. зарегистрировано 28 аварий в год, в 1999–2003 гг. – 33 аварии. Опыт свидетельствует, что главная причина аварий – это ошибки, допущенные при проектировании и возведении зданий и сооружений. В России за последние годы почти 90 % аварий во время эксплуатации зданий и сооружений произошло из-за ошибок, допущенных на стадиях изыскания, проектирования и строительства.

Следует обратить внимание на особенности современной практики проектирования объектов проектными организациями ряда стран СНГ: проектирование осуществляется в узком кругу разработчиков, в сжатые сроки, без привлечения высококвалифицированных экспертов; при проектировании используются ранее примененные проек-

ты; в проектных организациях происходит заметное обновление кадров, при этом многие начинающие проектировщики идеализируют роль и возможности компьютерных систем проектирования; в проектных организациях сведены до минимума или ликвидированы опытно-исследовательские подразделения, выполнявшие работы по экспериментальному исследованию ответственных строительных конструктивных решений, обследованию зданий и сооружений по профилю проектной организации. Многочисленные аварии зданий и сооружений в постсоветский период свидетельствуют, что в процессе проектирования недостаточно учитываются уроки предыдущих аварий вследствие неполноты информации об их причинах и следствиях. Отдельные страны СНГ, включая и Беларусь, активно разрабатывают собственные стандарты и нормы и гармонизируют свои стандарты с европейскими. Целью настоящей статьи являются изложение основных уроков аварий на инженерных сооружениях повышенной сложности и формулирование основных принципов построения систем технического мониторинга конструктивной безопасности как надежного инструмента контроля работоспособности, эксплуатационной надежности

элементов зданий и сооружений, объектов в целом.

### **Примеры и уроки аварий уникальных зданий и сооружений**

В [7] описаны примеры безаварийного строительства крупнейших зданий современности в сложных инженерно-геологических условиях.

Рассмотрим отдельные известные аварии зданий и сооружений, причинами которых являются ошибки, допущенные при изысканиях, проектировании, строительстве и проявившиеся в процессе работы системы «грунтовое основание – фундамент – надземное сооружение».

**Пример 1** – В аварийной ситуации

из-за неравномерной осадки здания оказался Исаакиевский собор в Санкт-Петербурге [8]. Фундамент собора – массивная каменная плита толщиной 7,1 м на свайном основании из 10762 свай диаметром 28...30 см. Расстояние между осями свай – 70...75 см. Сваи забивались в слабый суглинистый грунт на глубину 6,4 м. Ниже свай находился слой слабой ленточной глины, осадка и вытеснение которой в стороны продолжается до настоящего времени. Часть центральной части фундаментной плиты получила осадку большую, чем ее края. Плита искривилась, и в ней появились трещины. Купол собора отклонился с востока на запад на 15 см. Значительное повреждение получило и здание собора (рис. 1).

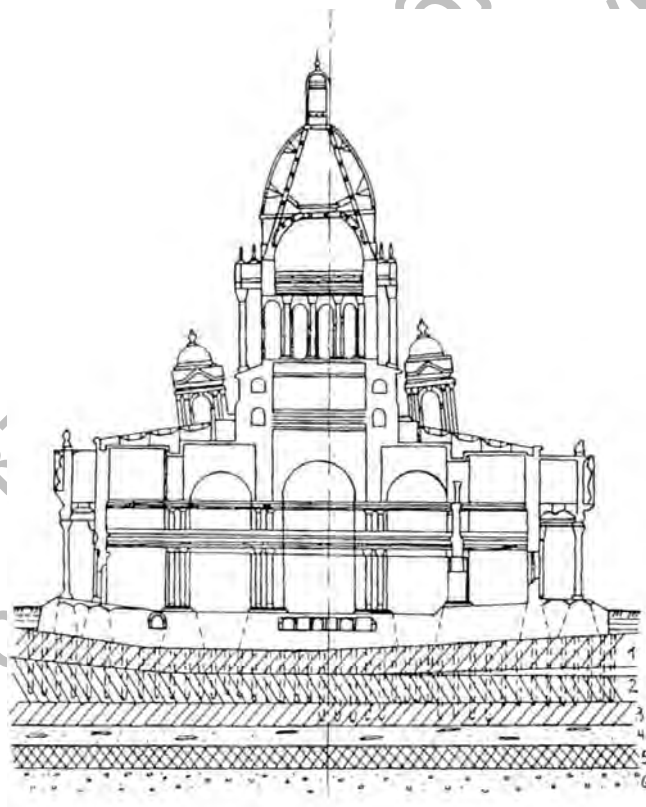


Рис. 1. Перемещения конструкций Исаакиевского собора в Санкт-Петербурге: 1 – тощий суглинок; 2 – жирный суглинок; 3 – слоистый жирный суглинок; 4 – ленточная глина; 5 – светлая глина; 6 – валунный суглинок

**Пример 2** – В 1912 г. в Трансконе (Канада) сооружен элеватор из 85 железобетонных круглых силосов диаметром

4,37 м, высотой 27,4 м. Силосы опирались на плиту, заложенную на глубине 3,66 м от поверхности [7]. Площадь эле-

ватора 23,5×58 м, высота – 31 м, толщина железобетонной фундаментной плиты – 76 см.

18 октября 1913 г., когда все вагоны быстро загрузили зерном, элеватор в течение почти суток (23 ч) получил катастрофическую осадку, сопровождающуюся значительным креном и односторонним выпором грунта. Один край его фундаментной плиты опустился на 8,7 м, а с противоположной стороны плита поднялась на 1,5 м. Сооружение незначительно деформировалось, накренилось и оставалось стоять под углом 63° к горизонту (рис. 2). Затем все емкости опорожнили, а элеватор установили в вертикальное положение с помощью домкратов, которые устанавливались на сваи, забитые до коренных пород.

Исследования грунтов оснований до начала строительства ограничили лишь штамповыми испытаниями в приповерхностном слое грунта. Нагрузка на основание составляла 250 кН/м<sup>2</sup>. Грунт

рассматривался как достаточно прочный. Особенность здесь была в том, что исследованный грунт представлял собой слой, образовавшийся после отступления ледника. В 1951 г. были проведены тщательные изыскания. Сопротивление сжатию глин уменьшалось в направлении от верхней нарушенной корки к нижней нормально уплотненной и составляло 160...55 кН/м<sup>2</sup>. Средняя величина предельной несущей способности слоя из 10,7 м толщи глин равнялась 2,57 т/фут<sup>2</sup>. Для более глубоких слоев она не превышала 1,8 т/фут<sup>2</sup> (193 кН/м<sup>2</sup>). Выяснилось, что давление от широкого фундамента распространялось на более глубоко залегающие слабые слои глин, в то время как напряжения под штампами были сосредоточены в пределах верхней подсушенной корки.

**Пример 3** – Пизанская башня [7] построена в г. Пизе (Италия) на отметке около 2,5 м над уровнем моря. Строительство башни начиналось в 1173 г. и велось до 1350 г. в три этапа (рис. 3).

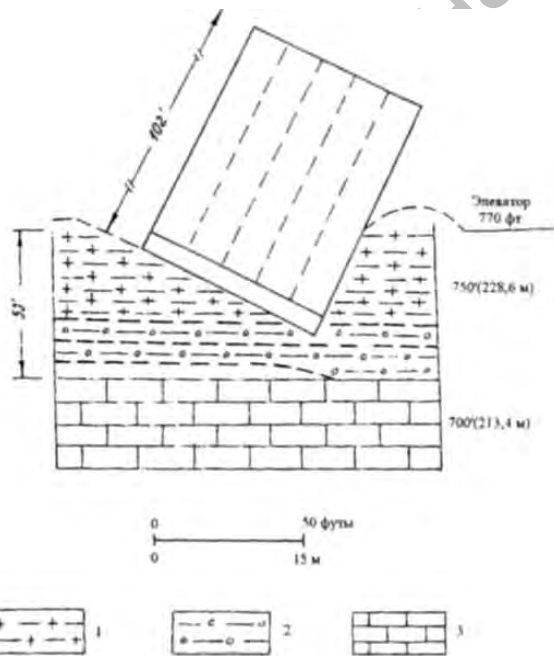


Рис. 2. Схема аварийного перемещения элеватора в Трансконе: 1 – пылевая глина; 2 – глина с гравием; 3 – известняк

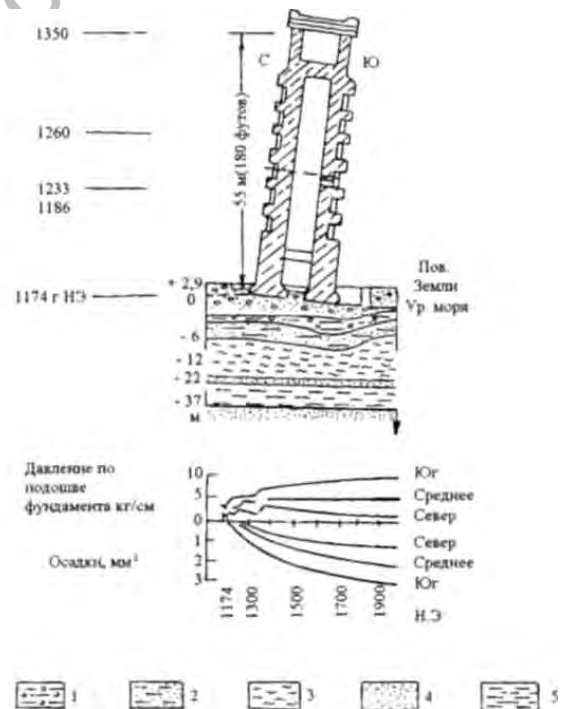


Рис. 3. Пизанская башня: 1 – серые глинистые алевроиты; 2 – глинистые пески; 3 – голубые глины; 4 – пески

Когда высота кладки достигла 11 м, заметили осадку и крен башни в сторону реки Арго. При высоте башни в 44 м (1350 г.) средняя величина осадки превысила 1,5 м. Отклонение центра верхнего сечения башни в сторону от вертикали достигло 4,8 м. После стабилизации осадки башня была надстроена еще на 10 м. После этого деформации грунтов продолжали развиваться. В настоящее время отклонение от вертикали на высоте 55 м составляет более 6 м. Фундамент башни – кольцевой из каменной кладки диаметром 20 м, заглубленный менее чем на 2 м. Основание сложено мягкими аллювиальными отложениями. Давление на грунт составляет  $420 \text{ кН/м}^2$ . В 1932 г. в основание башни через 351 скважину (диаметром 50 мм каждая) произведено нагнетание около 1000 т цементного раствора. За полвека наклон башни увеличился на 0,15 %. Это примерно 165 мм за столетие. Появившийся вследствие крена эксцентриситет нагрузки влияет как на сжимаемость, так и на скорость распределения избыточного давления. По измерениям 1962 г. осадка южного края фундамента составляла 2,8 м, северного – 1,2 м при давлениях 9 и  $1 \text{ кг/см}^2$  соответственно.

**Пример 4** – Останкинская башня в Москве [5] – пример как сооружения повышенной инженерной сложности, так и осознания необходимости выполнения системных наблюдений за состоянием объекта в процессе эксплуатации с целью прогноза его работоспособности. За перемещениями, состоянием конструкций этого уникального сооружения велись периодические наблюдения. Комплекс работ по наблюдению за перемещениями башни включал этапы: разработку программы наблюдений, выбор бригады исполнителей, определение необходимого оборудования и контрольно-измерительных приборов, установку приборов и проверку надежности измерительной системы, проведение измерительных работ, обработку

результатов наблюдений с учетом погрешностей, анализ результатов наблюдений, прогнозирование развития деформаций и перемещений.

Для организации наблюдений за деформациями здания или сооружения используют плитные и настенные марки, глубинный репер (рис. 4, а), системы исследования послойных перемещений грунтов (рис. 4, б). Результаты многолетних наблюдений представлены на рис. 5.

**Пример 5** – Авария на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) 26 апреля 1986 г. – крупнейшая техногенная и радиационная катастрофа XX в. (рис. 6). Известно несколько версий, объясняющих причины аварии, в том числе и официальная. Специалистами, анализирувавшими предаварийную хронологию управления ядерным реактором, были выделены основные грубейшие нарушения регламента, непосредственно послужившие причиной аварии.

Не вдаваясь в особенности различных точек зрения на причины аварии на ЧАЭС, отметим два технических момента, сказавшихся на работе строительных объектов станции.

1. За 20 с до взрыва в районе ЧАЭС был зарегистрирован сейсмический толчок (до 3-х баллов по шкале Рихтера). Толчок был зарегистрирован аппаратурой трех близлежащих станций Украинской комплексной сейсмологической экспедиции. Аналогичные результаты подтверждались записями сейсмографов в АН УССР и областных центрах.

2. В процессе возведения отдельных зданий ЧАЭС отмечались отступления от проектных требований. Так, материалы КГБ СССР (документ КГБ СССР № 346-А от 21.02.79) свидетельствуют: «Колонны каркаса машинного зала смонтированы с отклонениями от разбивочных осей до 100 мм, между колоннами в отдельных местах отсутствуют горизонтальные связи. Стеновые панели уложены с откло-

нением от осей до 150 мм».

Более поздние исследования НАН Украины [9] позволили акцентировать внимание на особенностях про-

явления технических причин аварии и сформулировать основные требования по их недопущению в других подобных объектах.

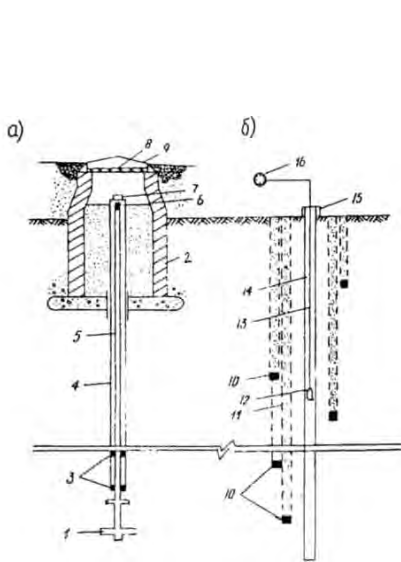


Рис. 4. Конструкция глубинного репера: а – установка для измерения послойных деформаций грунтов основания; б – 1 – крестовина; 2 – колодец; 3 – сальник; 4 – защитная труба; 5 – реперная труба; 6 – реперная головка; 7 – крышка защитной трубы; 8 – деревянная головка, обитая войлоком; 9 – защитный чугунный лок с крышкой; 10 – источник радиоактивных излучений; 11 – скважина; 12 – приемник излучений; 13 – струна; 14 – обсадная труба; 15 – кольцо; 16 – регистрирующий прибор

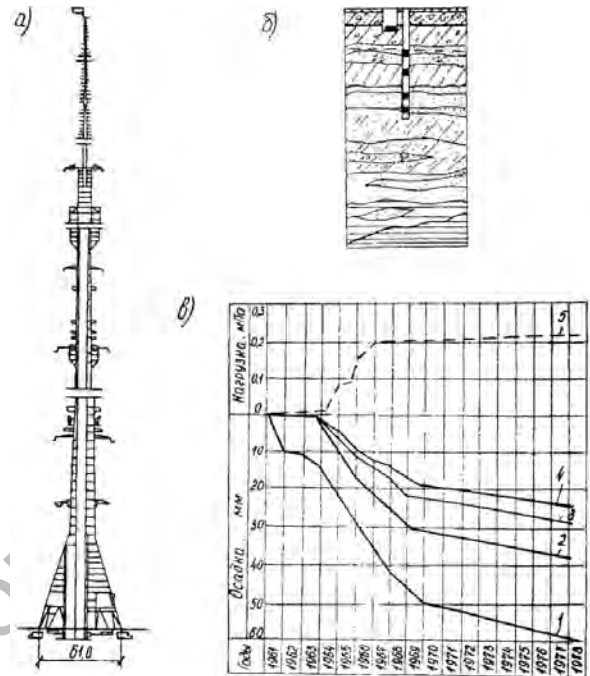


Рис. 5. Башня в Останкино: а – схема башни; б – геологический разрез; в – графики осадок глубинных марок 1...4



Рис. 6. Вид разрушенного 4-го блока ЧАЭС [9]

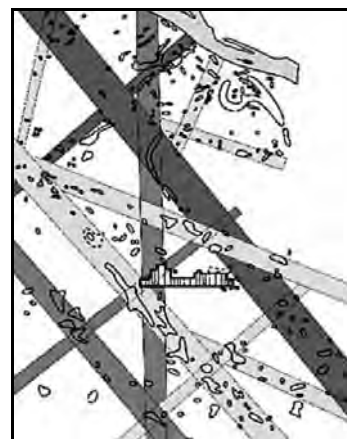


Рис. 7. Схема расположения геодинамических зон в окрестностях ЧАЭС [9]

Прежде всего обращается внимание на актуальность выявления геодинамических зон на площадках расположения подобных объектов. Комплексные исследования района расположения ЧАЭС и площадки строительства укрытия 4-го блока показали [9], что станция была возведена на геодинамически активных геологических структурах (полосы на рис. 7). Уроки таких исследований учтены и строительство аналогичных энергетических объектов на юге Украины (Одесская АТЭС и Крымская АЭС) было остановлено из-за выявления на площадках их расположения активных зон, связанных с геодинамической тектоникой. Вторым технически важным уроком аварии на ЧАЭС явилось осознание необходимости своевременного принятия комплекса мер по научному сопровождению, организационному, техническому, мониторинговому, нормативно-методическому, научно-просветительскому обеспечению проектирования, строительства и эксплуатации таких ответственных и потенциально опасных объектов.

При создании первой в Беларуси АЭС полезным может быть опыт проектирования, строительства и эксплуатации подобных и близких объектов, анализ аварийных ситуаций на соответствующих зданиях и сооружениях. Приведенные и др. примеры [1–5, 7] показывают, что традиционные технологии проектирования, строительства, эксплуатации ответственных сооружений не могут предусматривать проявления различных дефектов на любой стадии их «жизни». Пример Останкинской башни свидетельствует, что надежность и работоспособность объекта можно обеспечить лишь посредством системных наблюдений за работой его ответственных элементов и вытекающих из таких наблюдений прогнозов его работоспособности в будущем.

Специфические условия работы АЭС требуют принятия на стадии про-

ектирования специальных мер по обеспечению надежной работы в течение всего расчетного периода как технологических установок и систем, так и несущих и ограждающих строительных конструкций объектов АЭС, а также создания безопасных условий для обслуживающего персонала, окружающей среды и населения, проживающего вблизи АЭС. Для этого необходим особый подход к проектированию, начиная с выбора места для размещения АЭС, выдачи требований на разработку и изготовление оборудования, выполнения схемных, компоновочных, конструктивных, строительно-технологических и других решений. Особенностью проектирования зданий и сооружений АЭС является исследование не только нормальных режимов работы оборудования и систем, но и радиационных последствий различных аварий [6]. В проекте АЭС требуется проанализировать все типичные аварийные ситуации и предусмотреть необходимые инженерные средства защиты и локализации, обеспечивающие безопасность персонала и окружающей среды по отношению к каждому классу аварий.

#### ***Современные пути обеспечения работоспособности зданий и сооружений***

Многолетняя повторяемость аварий с одинаковыми причинами подтверждает то, что актуальными проблемами являются изучение участниками строительства и эксплуатационными организациями причин, приводящих к аварийному состоянию и обрушению зданий и сооружений, и проведение необходимой профилактической работы по их предотвращению. Требуемое качество и надежность зданий и сооружений напрямую зависят от эффективности осуществления комплекса технических, экономических и организационных мер по контролю за созданием

строительной продукции.

Учитывая опыт расследования аварий, произошедших за последние годы в России, всем участникам строительства и эксплуатации строительных объектов необходимо [10]:

– обеспечить на всех строящихся объектах функционирование систем входного, операционного и приемочного контроля качества строительно-монтажных работ, контроля качества строительных материалов, конструкций и изделий в соответствии с требованиями нормативных документов;

– повысить действенность технического надзора заказчика и авторского надзора проектных организаций с проведением в случае необходимости обучения и аттестации работников, занятых в сфере контроля за качеством строительства;

– провести сертификацию систем контроля качества действующих предприятий стройиндустрии и промышленности строительных материалов, а также сертификацию строительных материалов, конструкций и изделий, связанных с обеспечением несущей способности зданий и сооружений;

– организовать постоянный контроль за состоянием несущих конструкций на строящихся и эксплуатируемых зданиях и сооружениях, обратить внимание на объекты, где работы временно приостановлены;

– определить перечень эксплуатируемых предприятий, зданий и сооружений, наиболее опасных с точки зрения состояния несущих строительных конструкций, организовать их техническое обследование и последующее выполнение выданных рекомендаций;

– назначать руководителями служб технической эксплуатации, занимающихся контролем за состоянием несущих и ограждающих строительных конструкций, специалистов, имеющих строительное образование и опыт работы в строительстве;

– осуществлять расследование причин каждой аварии в строгом соответствии с утвержденным Госстроем России Положением о порядке расследования причин аварий зданий и сооружений, их частей и конструктивных элементов на территории Российской Федерации.

Наблюдаемые в последнее время разрушения зданий и сооружений вынуждают использовать системы мониторинга с целью предотвращения аварийных ситуаций ответственных объектов. Мониторинг крупных, сложных или потенциально опасных инженерных объектов становится все более актуальной задачей при их проектировании, строительстве или эксплуатации. Обширный обзор литературы, касающейся методов мониторинга, приведен в [11–16]. Под мониторингом технических объектов понимается системное наблюдение, в том числе инструментальное, регистрация и архивация, систематизация и анализ результатов наблюдения, включая сопоставление с данными прогноза, разработка инженерных решений и их осуществление. Мониторинг позволяет периодически или непрерывно в автоматическом режиме отслеживать на критическом (наиболее опасном) объекте технической системы состояние контрольных точек, находящихся внутри или в непосредственной близости от активной зоны конструктивной системы. Такие измерения дают возможность оценить степень воздействия на объект того или иного внешнего фактора, определить величину, направление и вид деформации (сдвиг, изгиб, кручение и т. п.), а также скорость протекающих процессов, предупредить о выходе величин деформаций и перемещений за заданные границы, оценить риски, присущие объектам мониторинга. Все это позволяет не только своевременно выявлять и предотвращать негативные воздействия внешних факторов во время строительства или эксплуатации

объекта, но и при относительно невысоких затратах на мониторинг обеспечивает существенное уменьшение потенциальных финансовых потерь при возникновении отклонений от проектных параметров.

В общем виде организационно-техническая схема построения мониторинга представлена на рис. 8. На схеме под научно-экспертным мониторинго-

вым подразделением конструктивной безопасности, которое может принимать различные организационно-правовые формы (отдел, юридическое лицо и др.) и разрабатывать варианты решений по обеспечению безопасности объекта, понимается объединение ученых и специалистов с необходимым программно-методическим, техническим и организационным обеспечением.



Рис. 8. Организационно-техническая схема системы технического мониторинга объекта

Основные задачи такого подразделения – разработка требований к составу и проектам систем мониторинга безопасности строительных конструкций зданий, уникальных сооружений и объектов повышенного риска; координация работ соисполнителей по мониторингу объектов; участие в экспертизе проектной документации на системы

мониторинга, создаваемые в соответствии с требованиями таких нормативных документов, как ГОСТ, СНиП, СНБ, ТКП и др., с использованием современных методов математического и физического моделирования; разработка программы и методики проведения испытаний систем мониторинга; разработка рекомендаций проектным органи-



зациями и органам экспертизы по вопросам корректировки проектной документации на системы мониторинга; разработка рекомендаций эксплуатирующим организациям по повышению эффективности функционирования систем мониторинга технического состояния строительных конструкций; организация работ по обучению и переподготовке специалистов в области проектирования и экспертизы диагностических комплексов и систем мониторинга технического состояния зданий и сооружений; аттестация организаций и специалистов, разрабатывающих, внедряющих и эксплуатирующих системы мониторинга.

Основные требования к составу системы мониторинга технического состояния строительных конструкций представлены далее.

1. Определение особенностей нагрузок и воздействий на объект мониторинга (климатические, геологические, технологические и др.).

2. Определение особенностей конструктивного решения объекта мониторинга.

3. Разработка вероятных сценариев отказов систем объекта мониторинга:

– разработка вероятных сценариев разрушения систем объекта мониторинга;

– разработка вероятных сценариев нарушения нормальной эксплуатации систем объекта мониторинга (температура, влажность, усилия, перемещения и т. п.).

4. Обоснование затрат на проведение и создание автоматизированной системы мониторинга.

5. Определение и обоснование контролируемых параметров.

6. Определение и обоснование методов контроля.

7. Определение способов обеспечения надежности функционирования системы:

– обеспечение надежности измерений критических контролируемых параметров (за счет использования разных методов измерений);

– обеспечение автоматизированного контроля работоспособности системы.

8. Определение архитектуры построения системы:

– схемы развертывания системы;

– архитектурные решения программного обеспечения;

– приборно-техническая база.

9. Технико-экономическое обоснование выбора приборно-технической базы и программного обеспечения.

10. Описание алгоритма и критериев принятия управленческих решений по выбору сценариев реагирования. Сценарии реагирования должны содержать регламент взаимодействия со специализированными организациями, осуществляющими инструментальное обследование отдельных элементов конструкций.

Системы мониторинга можно разделить на две группы.

**Первая группа.** Геомеханический мониторинг на всех стадиях проектирования, строительства и эксплуатации [17]. В зависимости от требований и выбора датчиков можно вести мониторинг дифференциальных (послойных) или суммарных осадков грунтов основания, уровня воды и др. Важную информацию получают при размещении под фундаментной конструкцией сети датчиков давления на грунт, на сваи и др. Особое место в сейсмоопасных районах занимают сейсмометрические измерения. Схемы таких наблюдений разнообразны, включают варианты возбуждения колебаний здания как искусственными (удары, вибраторы), так и естественными (ветер, микросейсмы) источниками. Сейсмометрические измерения дают «мгновенную» картину состояния объекта, наблюдая которую во времени

можно получить разнообразную информацию об особенностях динамики сооружения.

Геомеханический мониторинг можно разделить на четыре этапа.

К первому этапу относятся исследования, проводимые на участке будущего строительства, на стадии инженерно-геологических изысканий: оценка трещиноватости массива, оценка напряженного состояния и деформаций в массиве, прогноз возможных подвижек блоков.

Второй этап проводится уже на стадии проектирования сооружения и заключается в уточнении инженерно-геологических данных о площадке строительства и моделировании напряженно-деформированного состояния массива и работы сооружения в системе с грунтовым массивом.

Третий, самый крупный этап осуществляют при строительстве сооружения. На этом этапе проводят измерения напряжений в грунтовом массиве, на контуре выработки и в глубине массива, контроль изменения контура котлована (выработки) по мере разработки, измерение величины модуля деформации и коэффициента Пуассона породы, радарную и сейсмическую томографию, исследование трещин.

Все эти исследования создают обширный материал для базы данных, в которую занесены все данные предыдущих этапов мониторинга, необходимые для дальнейшего использования на четвертом этапе, проводимом с момента окончания строительства сооружения и ввода сооружения в эксплуатацию. Этот этап мониторинга длится весь период существования сооружения и заключается в постоянном контроле за состоянием сооружения и грунтового массива.

**Вторая группа.** Система мониторинга конструкций [11–16, 18–20] предполагает установку различных датчиков на элементах конструкций зданий и со-

оружений с целью определения влияния усилий и воздействий на прочность, жесткость и устойчивость зданий и сооружений в целом и их элементов. При этом предварительно на основании расчета конструктивной системы и напряженно-деформированного состояния элементов конструкций здания или сооружения определяют опасные сечения, точки, области. В этих местах конструкции устанавливаются датчики. Значения напряжений и перемещений являются проектными на момент ввода здания или сооружения в нормальную эксплуатацию. Текущие значения измеряются инструментальной частью системы мониторинга и сравниваются с проектными значениями. Приращения текущих значений добавляются к проектным, а суммарные значения не должны превышать нормативные значения прочности, прогиба или перемещения элементов конструкций, раскрытий трещин и т. д. Силовой анализ и расчет напряженно-деформированного состояния конструкций и их элементов выполняется с использованием мощных вычислительных пакетов (ANSY, LS-DYNA и др.).

В Беларуси возведен ряд уникальных культурных и спортивных сооружений, а в ближайшем будущем ожидается строительство особо ответственных строительных объектов (многофункциональные высотные здания, комплекс зданий и сооружений Белорусской АЭС и др.). Страны-соседи Беларуси активно реализуют политику обеспечения работоспособности и безопасности функционирования таких объектов на основе мониторинговых технологий. В республике в настоящее время отсутствует нормативная база, регулирующая разработку, внедрение и эксплуатацию таких технологий. Очевидно, чтобы не отставать от современных требований, а также учитывая проходящий в Беларуси процесс гармонизации национальных строительных норм с

европейскими, необходимо разработать и ввести в действие нормативные документы, обеспечивающие развитие мониторинговых технологий для строительных объектов.

### Заключение

1. Основными причинами аварий и аварийных ситуаций зданий и сооружений являются ошибки в исследовании исходных данных для проектирования, при проектировании, строительстве и ремонтном обслуживании объектов, нарушение правил эксплуатации.

2. Аварии и разрушения ответственных зданий и сооружений в мировой практике предупреждают посредством оснащения объектов системами технического мониторинга как надежным инструментом контроля работоспособности, эксплуатационной надежности элементов зданий и сооружений, объектов в целом.

3. В Беларуси необходимо разработать и ввести в действие нормативные документы, обеспечивающие развитие мониторинговых технологий и их применение для строительных объектов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дмитриев, Ф. Д.** Крушения инженерных сооружений / Ф. Д. Дмитриев. – М. : Стройиздат, 1953. – 188 с.
2. **Лашенко, М. Н.** Аварии металлических конструкций зданий и сооружений / М. Н. Лашенко. – Л. : Стройиздат, 1969. – 184 с.
3. **Шкинев, А. Н.** Аварии в строительстве / А. Н. Шкинев. – М. : Стройиздат, 1984. – 320 с.
4. **Леденев, В. В.** Предупреждение аварий / В. В. Леденев, В. И. Скрылев. – М. : Изд-во ассоц. строит. вузов, 2002. – 240 с.
5. **Добромыслов, А. Н.** Ошибки проектирования строительных конструкций / А. Н. Добромыслов. – М. : Изд-во ассоц. строит. вузов, 2007. – 184 с.
6. **Воронин, Л. М.** Особенности проектирования и сооружения АЭС / Л. М. Воронин. – М. : Атомиздат, 1980. – 192 с.
7. **Андерсон, Дж. Г. К.** Интересные случаи из практики инженерной геологии / Дж. Г. К.

Андерсон, К. Ф. Тригг. – М. : Недра, 1981. – 224 с.

8. **Лалетин, Н. В.** Основания и фундаменты / Н. В. Лалетин, А. К. Сычев. – М. : Изд-во ВИА, 1995. – 32 с.

9. **Шестопапов, В. М.** Уроки Чернобыля: з минулого у майбутнє / В. М. Шестопапов // Вісн. НАН України. – 2006. – № 6. – С. 5–15.

10. **Воробьев, А. А.** Анализ аварий зданий и сооружений на территории Российской Федерации [Электронный ресурс] / А. А. Воробьев, И. В. Дивиченко. – Режим доступа : <http://conf.bstu.ru/conf/docs/0048/2189.doc>.

11. Damage identification and health monitoring of structural and mechanical system from changes in their vibration characteristics / S. W. Doebbling [etc.]. – Los Alamos : NM, 1996. – 134 p.

12. **Doebbling, S. W.** Damage Detection and Model Refinement Using Elemental Stiffness Perturbations with Constrained Connectivity. Proceedings of the AIAA / S. W. Doebbling // ASME : AHS Adaptive Structures Forum. – 1996. – P. 360–370.

13. **Doebbling, S. W.** A summary review of vibration-based damage identification methods / S. W. Doebbling, C. R. Farrar, M. B. Prime // The Shock and Vibration Digest. – 1998. – № 30 (2). – P. 91–105.

14. **Hemez, F. M.** Review and assessment of model updating for nonlinear, transient dynamics / F. M. Hemez, S. W. Doebbling // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2001. – № 15 (1). – P. 45–74.

15. **Farrar, C. R.** Historical Overview of Structural Health Monitoring. Lecture Notes on Structural Health Monitoring using Statistical Pattern Recognition / C. R. Farrar. – Los Alamos : NM, 2001. – 150 p.

16. **Chang, P. C.** Review Paper: Health Monitoring of Civil Infrastructure / P. C. Chang, A. Flatau, S. C. Liu // Sage Publications, Struct. Health Monit. – 2003. – Vol. 2 (3). – P. 257–267.

17. Мониторинг геологической среды для объектов повышенного риска и инженерной сложности / В. Б. Швец [и др.] // Вісн. КТУ. – 2009. – Вып. 23. – С. 207–210.

18. **Горпинченко, В. М.** Мониторинг эксплуатационной пригодности особо ответственных, сложных и уникальных сооружений / В. М. Горпинченко, М. И. Егоров // Промышленное и гражданское строительство. – 2004. – № 10. – С. 39–41.

19. **Гордиенко, В. Е.** Мониторинг: пути повышения надежности и прогнозирования остаточного ресурса металлических конструкций зданий и сооружений / В. Е. Гордиенко // Промышленное и гражданское строительство. –

2005. – № 12. – С. 42–43.

20. **Горохов, Е. В.** Мониторинг сложных технических систем / Е. В. Горохов, В. Ф. Му-

шанов, В. Р. Касимов // Металлические конструкции. – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 299–313.

Белорусский национальный технический университет  
Материал поступил 23.03.2010

**E. A. Moisseitchik, E. K. Moisseitchik,  
P. A. Atrushkevich.**

**Lessons of technology-related accidents  
at construction sites and the need for  
monitoring of technical processes in  
preparation, construction and operation  
of objects of increased engineering  
complexity**

The article describes the lessons of accidents on engineering structures of high complexity in connection with a number of features of modern design technology in the CIS countries. It is shown that the required efficiency of construction projects increased engineering complexity can be achieved in the process of monitoring technical condition of their basic elements. The main tasks of creating systems of technical monitoring of structural safety of construction sites have been considered.