

УДК 502.58.001.57

Юрий Игоревич ВЕРЕЩАКО,
начальник отдела диагностики зданий,
сооружений и оборудования
НИИ пожарной безопасности
и проблем чрезвычайных ситуаций
МЧС Республики Беларусь

Евгений Алексеевич МОЙСЕЙЧИК,
кандидат технических наук,
доцент кафедры "Сопротивление
материалов и теория упругости"
Белорусского национального
технического университета

МОНИТОРИНГ ОТВЕТСТВЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫМИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМИ СИТУАЦИЯМИ

MONITORING OF MAJOR CONSTRUCTION PROJECTS AS AN INSTRUMENT FOR PREVENTING AND CONTROL OF TECHNOGENIC EMERGENCIES AND NATURAL DISASTERS

В статье проанализированы причины аварий на инженерных сооружениях повышенной сложности. Изложены основные положения технологии мониторинга технического состояния строительных объектов. Отмечена необходимость разработки в Беларуси нормативной базы по технологии мониторинга строительных объектов.

This article describes the reasons of emergency situations occur on the engineering structures of high complexity. The basic stages of the technology for monitoring the technical condition of construction projects. The necessity of developing a legal-normative base on technology for monitoring construction projects in Belarus has been stated.

ВВЕДЕНИЕ

В современном понимании безопасность населения и территорий рассматриваются как результат управления природными и техногенными рисками [1, 2]. При этом термин "природный риск" определяет возможность нежелательных последствий от опасных и неконтролируемых человеком природных процессов и явлений (ураганы, оползни, смерчи и др.), а "техногенный риск" — аварии и катастрофы на объектах техносферы и изменение состояния окружающей среды в результате производственных воздействий и выбросов. Количественно природный и техногенный риски измеряются величиной потерь за определенный промежуток времени. Для предотвращения или минимизации потерь особую роль выполняют технологии, позволяющие заблаговременно контролировать существенные факторы-предвестники потенциальных природных и техногенных рисков. Отсюда следует, что если невозможно предупредить или управлять чрезвычайной ситуацией, то можно управлять риском ее возникновения. Кроме этого, системное функционирование технологий заблаговременного контроля существенных факторов-предвестников потенциальных рисков позволяет из общего количества рисков выявить те, которые в значительной мере могут быть полностью или частично управляемыми. К таким рискам при соответствующем технологическом обеспечении можно было бы отнести многие техногенные риски, возникшие вследствие аварийных ситуаций или аварий на строительных объектах.

Работоспособность зданий и сооружений определяется многими факторами: обоснованностью нагрузок и воздействий на несущие конструкции, степенью изученности инженерно-геологических условий площадки расположения объекта, соответствием материала и конструктивной формы элементов объекта фактически действующим в процессе эксплуатации нагрузкам и

воздействиям, качеством изготовления конструкций и возведения строительного объекта, технологией его эксплуатации. Все перечисленные факторы учитываются в процессе проектирования объекта, целью которого является обеспечение требуемой работоспособности объекта в течение нормативного срока эксплуатации. Идея современных норм строительного проектирования заключается в том, чтобы за время нормативного срока эксплуатации объекта не наступило ни одного предельного состояния. При этом под предельным состоянием понимается такое состояние, при котором конструкция, грунтовые основания объекта, объект в целом (здание, сооружение) перестают удовлетворять заданным требованиям на любой из стадий возведения объекта или его эксплуатации. Предельное состояние следует рассматривать как предаварийное или аварийное, т. е. предотвращая наступление этого состояния предупреждается наступление соответствующего техногенного риска. Естественно, что при строительном проектировании не могут быть учтены нагрузки и воздействия, вызываемые непреодолимыми стихийными силами природы, военными и другими ненормированными воздействиями. Таким образом, в процессе контроля потенциальных техногенных рисков к полностью или частично управляемым следует относить риски, вызываемые инженерно-техническими причинами.

Целью настоящей статьи является изложение основных идей технологии мониторинга ответственных строительных объектов как инструмента предупреждения и управления техногенными рисками.

УРОКИ АВАРИЙ УНИКАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Аварии строительных конструкций с давних времен являются наиболее поучительными уроками для проектировщиков и строителей и дают ценный материал для

научных исследований в теории сооружений [3, 4]. Тщательное расследование и установление причин аварий зданий и сооружений позволяет уточнить нормативные и расчетные нагрузки на конструкции, строительные объекты, инициирует совершенствование методов расчета и конструктивных форм, научное и проектное обеспечение технологии производства строительных работ, обеспечение работоспособности в процессе эксплуатации, выявляет предельные состояния строительных систем. Аварии зданий и сооружений в прошлые века в значительной степени подтолкнули развитие научной и инженерной мысли в строительстве [3–5].

В Беларуси зафиксированы отдельные поучительные аварии, например, на Мозырском железнодорожном мосту в 20-е годы прошлого века [3]. На различных стадиях "жизни" белорусских сооружений происходили аварийные ситуации, однако их исследование не выходило за рамки служебных материалов и тем самым мало сказывалось на повышении качества проектирования, изготовления и монтажа строительных объектов, научного сопровождения их проектирования, строительства и безопасной эксплуатации.

На территории стран СНГ аварии в последние десятилетия не являются редкостью [6]. Так, статистика обрушений зданий и сооружений только в Российской Федерации такова: в 1994 г. произошла 21 авария, 1995 г. — 36, 1996 г. — 31, 1997 г. — 27, 1998 г. — 34, 1999 г. — 43. В среднем с 1993 по 1998 г. количество аварий, зарегистрированных на территории Российской Федерации, составило 28 аварий в год, в 1999–2003 гг. — 33. Особо выделяется ряд аварий последних лет: купол "Трансвааль-парка" в Москве (2004), кровля бассейна в г. Чусовой Пермского края (2005), покрытие Басманного рынка в Москве (2006), конструкции плотины Саяно-Шушенской ГЭС (2008), секции здания аэропорта во Франции (2005), несколько аварий в Австрии и Германии. Расследование этих особо крупных аварий подняло вопрос о необходимости системного контроля технического состояния инженерных конструкций зданий и сооружений как важнейшей составляющей системы безопасного функционирования уникальных и особо важных объектов.

Аварии любых строительных объектов вызывают сочетание конкретных причин [3–5]. Иногда бывает одна причина, но в основном к аварии приводит совместное проявление нескольких причин. Анализ различных аварий зданий и сооружений [4] позволил выявить типичные комбинации (сочетания) их причин (таблица 1). Из таблицы 1 следует, что аварии по причинам 1–7 произошли вследствие ошибок на стадии подготовки к строительству, проектирования или в процессе возведения объекта. Так, причинами почти 90 % аварий во время эксплуатации зданий и сооружений, произошедших за последние годы в России, являются ошибки, допущенные на стадиях изыскания, проектирования и строительства. При этом примерно 85 %–90 % аварий происходит во время эксплуатации зданий. Большинство из этих аварий можно было предотвратить посредством использования более высокой культуры выполнения работ или технологий контроля за работой инженерных конструкций на всех стадиях их "жизни".

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МОНИТОРИНГА СИСТЕМ

Под мониторингом системы (англ. monitoring от лат. Monitor — предостерегающий) понимается определен-

ная система наблюдения, оценки и прогноза состояния и развития различных явлений (природных, технических, социальных) [7]. Технология процесса мониторинга состоит в системном отслеживании состояния определенных структур, объектов, явлений и процессов, а его результаты используются для предупреждения о формирующихся опасностях, угрозах и критических ситуациях и обеспечения систем управления информационной поддержкой для подготовки и принятия решений по направлению развития системы, процесса или явления в требуемом направлении. Применительно к потенциально опасным техническим объектам мониторинг — это постоянный сбор информации по объекту, ее анализ и подготовка решений по работоспособности объекта и возможных ее изменениях.

На основании данных мониторинга при исследовании ситуации производится идентификация риска. Это определение опасностей на рассматриваемой территории или техногенном объекте как причин риска в случае их проявления. Эти выводы основываются на анализе данных об опасных природных и техногенных явлениях, стихийных бедствиях, авариях и катастрофах. Итогом идентификации является определение вида опасности.

Анализ риска — это исследование, направленное на выявление и количественное определение различных видов риска при осуществлении каких-либо видов деятельности. Для анализа используют техническую, экономическую, психологическую и социальную концепции. Техническая концепция основывается на анализе факторов-предвестников, инициирующих аварийные и соответствующие чрезвычайные ситуации. При экономическом подходе анализируется баланс затрат и прибылей. Психологическая концепция концентрируется на поведении людей в рассматриваемой ситуации. Социальная основывается на социальных последствиях ситуации с учетом групповых ценностей и интересов.

Оценка риска состоит в количественном определении возможных последствий реализации опасностей для различных групп населения.

Интерпретация результатов — это суммарная оценка всех получившихся результатов на текущий момент времени или на определенный момент времени в будущем с учетом тенденций изменения условий проявления риска.

Воздействие на ситуацию заключается в выполнении комплекса мероприятий по исполнению принятого управленческого решения.

Идеи мониторинга применимы в любой отрасли народного хозяйства. Системы мониторинга позволяют контролировать любой производственный или технический процесс. Особо важными с позиций предупреждения аварийных ситуаций являются мониторинговые технологии для наблюдения за объектами критического применения [8]. Использование компьютерных технологий в областях, связанных с повышенными требованиями к работоспособности, надежности и управлению объектами критического применения, например в ядерной энергетике, предусматривает непрерывный контроль не только самого объекта, но и управляющей им системы. Использование мониторинга позволяет своевременно и с достаточной степенью достоверности получать информацию о состоянии объекта, вовремя отследить аварийные либо предаварийные ситуации и своевременно принять меры по их предотвращению.

Процесс создания системы мониторинга для некоторого объекта можно разделить на три этапа: на первом этапе происходит формирование общей структуры мониторинга, расчет количественных характеристик функциональных блоков системы мониторинга и определение порядка опроса узлов контролируемого объекта.

На этом этапе формируется общий вид структуры системы мониторинга, определяются цели и задачи, возложенные на систему, а также структурные блоки и их состав.

На втором этапе определяются параметры составных элементов системы мониторинга. Второй этап выполняется с использованием аналитической модели системы мониторинга. Критерии оценки определяются в зависимости от функционального назначения объекта.

На третьем этапе для разработанной структуры системы мониторинга определяется порядок опроса узлов мониторинговой сети.

**КОНЦЕПЦИЯ МОНИТОРИНГА
ОТВЕТСТВЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ
И ЕГО НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

В последнее время проходит ускоренная разработка технологий мониторинга отдельных групп строительных объектов. Так, перечисленные выше аварии заметно ускорили разработку и введение в действие в России нормативной базы мониторинговых технологий инженерных систем. Необходимость разработки систем мониторинга и основные требования к ним изложены в ряде стандартов: ГОСТ Р 22.1.12-2005 (Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования); МРДС 02-08 (Посо-

бие по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных); МГСН 4.19-2005 (Временные нормы и правила проектирования multifunctionальных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве); МГСН 2.07-97 (Основания, фундаменты и подземные сооружения) и др.

Украинские строительные нормы пока не регламентируют особенностей мониторинга уникальных сооружений [9]. Однако можно видеть, что с введением ДБН В1.2-5:2007 (Научно-техническое сопровождение строительных объектов) начался процесс такого нормативного обеспечения, разработаны отдельные мониторинговые технологии в строительстве Украины [9].

Следует отметить, что элементы мониторинга уникальных сооружений реализовывались и в более ранние периоды. Так, за перемещениями Останкинской башни в Москве велись длительные инструментальные наблюдения [10]. Комплекс работ по системному отслеживанию перемещений башни включал этапы: разработка программы наблюдений, выбор бригады исполнителей, определение необходимого оборудования и контрольно-измерительных приборов, установка приборов и проверка надежности измерительной системы, проведение измерительных работ, обработка результатов наблюдений с учетом погрешностей, анализ результатов наблюдений, прогнозирование развития деформаций и перемещений. Данные периодически осуществляемых геодезических съемок используются в технологии мониторинга состояния отдельных уникальных сооружений России [11].

В работе [11] отмечается, что недостатком названных систем мониторинга является отсутствие системного сбора, обработки и анализа информации о нагрузках, усилиях и перемещениях, с использованием которой

Таблица 1. Основные сочетания типичных причин, вызвавших аварии различных сооружений с применением стальных конструкций

Определение	Перечень основных причин аварий и их нумерация							
	1) Перегрузка конструкций из-за не учета фактических величин нагрузок	2) Потеря устойчивости конструкций (общая, местная, изгибно-крутильная)	3) Ошибки на стадии проектирования. Отступление от проектных решений	4) Ошибки изготовления и монтажа конструкций	5) Ошибки на стадии эксплуатации конструкций	6) Старение и усталость материала, вибрации элементов конструкций	7) Дефектность оснований и опор конструкций	8) Действие непредвиденных причин
Наиболее типичные сочетания причин аварий при наличии воздействий и дефектов в элементах конструкций	Причины: 2, 4, 5. Воздействия и дефекты: снег, ошибки определения собственного веса и другие (ветер, крановая нагрузка, динамические и температурные воздействия)	Причины: 1, 3–8. Воздействия и дефекты: перегрузка элементов, отсутствие связей, ошибки в проекте и чертежах, ошибки изготовления, монтажа и другие (дефекты изготовления и монтажа)	Причины: 1, 2, 6, 7. Воздействия и дефекты: хрупкие разрушения, недостаточная прочность, жесткость, устойчивость элементов, ошибки в конструкциях узлов, определении нагрузок и другие (ошибки в расчетах, чертежах, изготовлении, низкая квалификация исполнителей)	Причины: 1, 2. Воздействия и дефекты: ошибки изготовления, монтажа (дефекты сварки, отступление от проекта, не учет монтажных нагрузок) и другие (дефекты хранения, складирования, монтажа, сдача объектов с дефектами)	Причины: 1, 2. Воздействия и дефекты: перегрузка, непредусмотренные проектом нагрузки и другие (коррозия, ошибки эксплуатации, ошибки при ремонтах, усилениях)	Причины: 2. Воздействия и дефекты: разрушения от усталости, старения и другие (действие динамических и переменных нагрузок)	Причины: 2. Воздействия и дефекты: неравномерная осадка, дефекты опор и другие (пучение, замачивание, промораживание, потеря устойчивости грунтов, ошибки изысканий)	Причины: 8. Воздействия и дефекты: природные воздействия (обвалы, подмывы, ураганы, наводнения, взрывы, удары, сейсмика)

возможно создание прогнозной модели изменения показателей надежности сооружения во времени. Эти системы мониторинга не работают в режиме on-line и поэтому не позволяют службе эксплуатации в случае наступления предельных ситуаций оперативно принимать решения по их предотвращению.

Очевидно, что мониторинг строительных объектов должен обеспечивать их работоспособность, надежность и безопасность эксплуатации, оценку технического состояния важнейших элементов, определяющих работоспособность объекта в целом, прогнозировать поведение основных элементов строительного объекта в заданном временном интервале и выдавать управляющей системе набор мер по поддержанию конструкций, всего объекта в надлежащем состоянии.

Процесс создания мониторинговых строительных технологий следует рассматривать как частный случай общих подходов [7, 8, 12, 13]. При этом должны быть решены задачи: 1) по выбору объектов контроля (вид и число контролируемых конструкций); 2) выбору наиболее ответственных зон конструкций, определение в них опасных сечений и контрольных точек для установки средств контроля; 3) по разработке методов определения контролируемых параметров, выбору серийных или созданию индивидуальных технических средств контроля, изготовлению и установке их на объекте контроля с использованием существующих или вновь разрабатываемых методик измерений [14]; 4) проведение инструментальных и визуальных наблюдений, контроль нагрузок, температурно-влажностного режима эксплуатации, определение фактических перемещений, напряжений, усилий в контролируемых элементах; 5) оценка технического состояния и уровня надежности конструкций по данным сопоставления (анализа) натурных наблюдений с результатами

численного моделирования или с базовыми характеристиками; 6) анализ сценариев поведения конструкции в будущем; 7) разработка рекомендаций по эксплуатации.

В последнее десятилетие в Беларуси возведен ряд уникальных культурных и спортивных сооружений. В ближайшем будущем ожидается проектирование и 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 Беларуси в настоящее время отсутствует нормативная база, регулирующая разработку, внедрение и эксплуатацию таких технологий. Очевидно, чтобы не отставать от современных требований и 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 Мониторинговые технологии ответственных строительных объектов являются важным инструментом контроля работоспособности, эксплуатационной надежности элементов зданий и сооружений, объектов в целом.
- 2 В Беларуси необходимо разработать и ввести в действие нормативные документы, обеспечивающие развитие мониторинговых технологий для строительных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов, В. А. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной средах / В. А. Акимов, В. В. Лесных, Н. Н. Радаев. — М.: Деловой экспресс, 2004. — 352 с.
2. Тихомиров, Н. П. Методика анализа и управления эколого-экономическими рисками / Н. П. Тихомиров. — М.: ЮНИТИ, 2000. — 453 с.
3. Дмитриев, Ф. Д. Крушения инженерных сооружений / Ф. Д. Дмитриев. — М.: Стройиздат, 1953. — 188 с.
4. Лашенко, М. Н. Аварии металлических конструкций зданий и сооружений / М. Н. Лашенко. — Л.: Стройиздат, 1969. — 184 с.
5. Шкинев, А. Н. Аварии в строительстве / А. Н. Шкинев. — М.: Стройиздат, 1984. — 320 с.
6. Воробьев, А. А. Анализ аварий зданий и сооружений на территории Российской Федерации / А. А. Воробьев, И. В. Дивиченко. — <http://conf.bstu.ru/conf/docs/0048/2189.doc>.
7. Уилсон, Э. Мониторинг и анализ сетей. Методы выявления неисправностей / Э. Уилсон. — М.: Лори, 2002. — 364 с.
8. Ястребенецкий, М. А. Безопасность атомных станций: информационные и управляющие системы / М. А. Ястребенецкий [и др.]; под ред. М. А. Ястребенецкого. — Киев: Техніка, 2004. — 472 с.
9. Горохов, Е. В. Мониторинг сложных технических систем / Е. В. Горохов [и др.] // Металлические конструкции. — 2008. — Т. 14, № 4. — С. 299–313.
10. Леденев, В. В. Предупреждение аварий / В. В. Леденев, В. И. Скрылев. — М.: Издательство ассоциации строительных вузов, 2002. — 240 с.
11. Еремеев, П. Г. Особенности проектирования уникальных большепролетных зданий и сооружений / П. Г. Еремеев // Современное промышленное и гражданское строительство. — 2006. — Т. 2, № 1.
12. Скатков, А. В. Структурный анализ систем мониторинга / А. В. Скатков, Д. Ю. Воронин, Д. Н. Данильчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2007. — № 2. — С. 36–44.
13. Кривошеев, П. И. Научные проблемы проектирования, возведения и эксплуатации особо ответственных строительных объектов / П. И. Кривошеев // Технология строительного производства: сб. науч. тр. Междунар. конф. — Минск, 2006. — С. 124–134.
14. Мойсейчик, Е. А. Приборы для неразрушающего контроля, диагностики и обследований мостовых сооружений / Е. А. Мойсейчик, Е. К. Мойсейчик, В. Г. Пастушков. — Минск: БНТУ, 2008. — 154 с.

Статья поступила в редакцию 05.03.2010.