

# МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СИСТЕМ

**В.Н. Алехин** (Строительный институт УрФУ, Екатеринбург)

В 1975 г. окончил строительный факультет Уральского политехнического института (УПИ) им. С.М. Кирова (в настоящее время — Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ), Екатеринбург) по специальности «промышленное и гражданское строительство». С 1978 г. работает в УрФУ, в настоящее время — директор строительного института УрФУ, заведующий кафедрой САПР объектов строительства строительного института УрФУ. Кандидат технических наук.

**М.В. Плетнев** (Строительный институт УрФУ, Екатеринбург)

В 2000 г. окончил строительный факультет УПИ по специальности «промышленное и гражданское строительство». После окончания института работает в УрФУ, в настоящее время — доцент кафедры САПР объектов строительства строительного института УрФУ. Кандидат технических наук.

**А.А. Антипин** (Строительный институт УрФУ, Екатеринбург)

В 1973 г. окончил строительный факультет УПИ по специальности «промышленное и гражданское строительство». После окончания института работает в УрФУ, в настоящее время — заместитель директора строительного института УрФУ по научной и инновационной работе, доцент кафедры САПР объектов строительства строительного института УрФУ. Кандидат технических наук.

**С.Н. Городилов** (Строительный институт УрФУ, Екатеринбург)

В 1978 г. окончил строительный факультет УПИ по специальности «промышленное и гражданское строительство». После окончания института работает в УрФУ, в настоящее время — доцент кафедры САПР объектов строительства строительного института УрФУ.

**А.Б. Ханина** (Строительный институт УрФУ, Екатеринбург)

В 2007 г. окончила строительный факультет УПИ по специальности «промышленное и гражданское строительство». После окончания университета работает в УрФУ, в настоящее время — старший преподаватель кафедры САПР объектов строительства строительного института УрФУ.

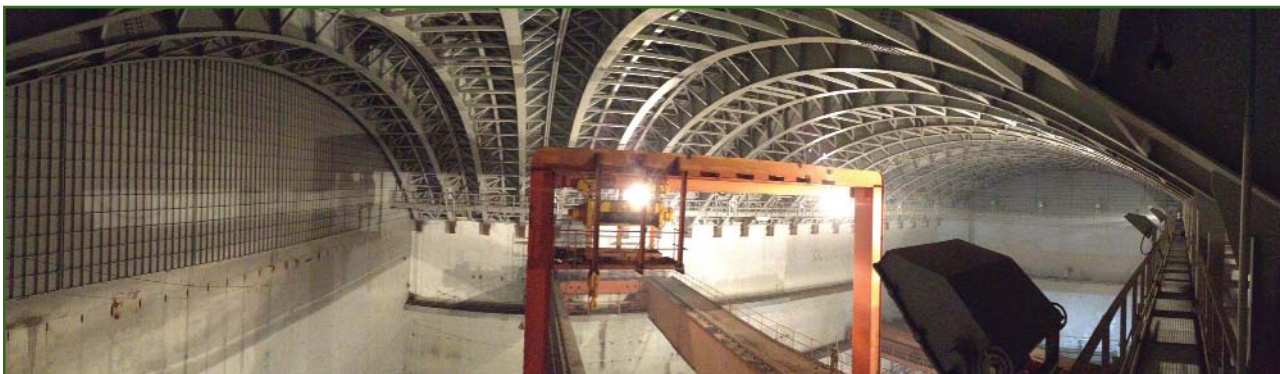
**М.А. Зубрицкий** («ТЕХКОН», Екатеринбург)

В 2013 г. окончил строительный институт УрФУ по специальности «промышленное и гражданское строительство». После окончания университета работает в ООО «ТЕХКОН», в настоящее время — инженер.

В настоящее время строительство уникальных, технически сложных и особо опасных объектов допускается только при условии развертывания комплексной системы мониторинга за состоянием ос-

новных параметров конструкций. Важной составляющей этой системы для предотвращения аварийных ситуаций является организация геодезического мониторинга за деформациями конструкций и грун-

тов. При стандартных задачах строительного геодезического мониторинга процессы деформаций развиваются достаточно медленно, и период измерения параметров может составлять от нескольких часов до нес-

**Рис. 1**

*Панорама несъемной опалубки арочного свода реакторного отделения изнутри*

кольких недель. Такие работы хорошо знакомы любому геодезисту и могут выполняться с той или иной эффективностью традиционным геодезическим оборудованием. Совершенно иная ситуация возникает, когда требуемый период измерений параметров сокращается до 20–40 минут, а количество контролируемых точек превышает 20. Подобные задачи встречаются при монтаже уникальных строительных конструкций, когда информация о перемещениях контролируемых точек помогает не только избежать аварийных ситуаций, но и скорректировать процесс проведения работ для получения оптимального результата. В данной статье рассматривается успешный пример применения системы автоматизированного геодезического мониторинга Leica Geosystems для мониторинга деформаций арок несъемной металлической опалубки при бетонировании свода реакторного отделения четвертого энергоблока Белоярской атомной станции.

Железобетонный арочный свод реакторного отделения пролетом 42 м, длиной 66 м и стрелой подъема арок 9 м рассчитан на прямой удар легкомоторного самолета и имеет толщину 700 мм. На отметке 64,2 м свод опирается на обвязочную бортовую балку, кото-

рая, в свою очередь, опирается на стену толщиной 1 м с пилонами общей толщиной 3 м. Для бетонирования свода была запроектирована и смонтирована несъемная опалубка из 22 стальных арок, попарно объединенных в блоки и покрытых профилированным настилом (рис. 1). При детальном изучении проектной документации на несъемную опалубку было выяснено, что при ее расчетах не были учтены некоторые условия, связанные с совместной работой опалубки и уложенного бетона, гидростатическим давлением не схватившейся бетонной смеси и возможными перемещениями обвязочной балки. В связи с этим, а также из-за отсутствия достаточного опыта бетонирования подобных конструкций, было принято решение о развертывании системы мониторинга на время проведения бетонных работ. Сотрудниками Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина совместно со специалистами ООО «ТЕХКОН» была установлена, отлажена и успешно использована автоматизированная система геодезического мониторинга на базе роботизированного тахеометра Leica TM30, которая являлась одной из основных составляющих комплексной системы мониторинга. В задачу системы

входило наблюдение за деформациями арок несъемной опалубки в режиме реального времени в течение всего срока бетонирования свода.

В качестве деформационных марок были использованы трипелъпризменные отражатели Leica GMP104, которые крепились на стальных арках опалубки с помощью специальных магнитов бригадой промышленных альпинистов. Всего на арках было закреплено 63 отражателя — по 3 на каждую арку. Схема размещения отражателей и их фактическое положение на арках показаны на рис. 2 и 3. В качестве опорных марок для обратной засечки использовались высокоточные призмы Leica GPH1P, закрепленные на железобетонных стенах реакторного отделения. Тахеометр с сервоприводом был размещен на специально изготовленном стальном кронштейне, на торцевой стене в пределах площадки обслуживания на отметке 56,8 м (рис. 4). При выборе места размещения тахеометра основным критерием являлось обеспечение прямой видимости всех марок при работе мостовых кранов, а также уменьшение возможного влияния нагрузок при бетонировании свода на кронштейн с тахеометром.

Согласно проекту производства работ бетонирование свода выполнялось в три

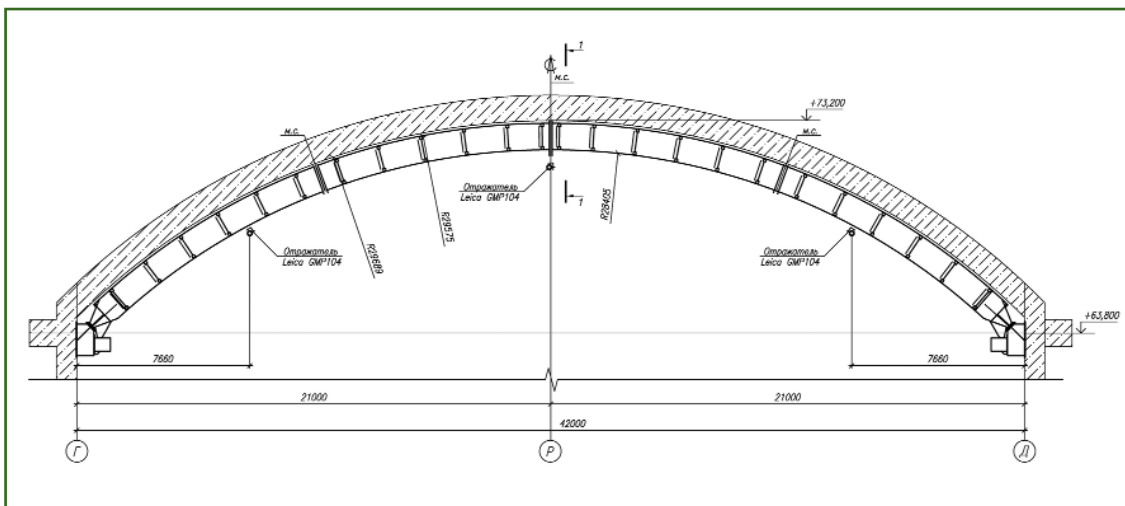


Рис. 2

Схема крепления отражателей на арки

захватки. Первая захватка находилась в пределах первых шести арок с одного торца свода, вторая — в пределах шести арок с другого торца, а средние десять арок занимала третья захватка бетонирования. Бетонирование каждой захватки планировалось провести за 80 часов, перерыв между захватками на перестановку опалубки составлял более недели. Бетонирование проводилось симметрично с двух сторон нижней части свода в пределах каждой захватки, в 5 этапов — на первой захватке и в 3 этапа — на второй и третьей захватках. Между этапами выполнялись технологические перерывы до 9 часов с целью исключить нарастание гидростатического давления не схватившейся бетонной смеси на опалубку. На каждом этапе верхний слой бетона содержал добавку для замедления схватывания с целью предотвращения образования горизонтальных холодных швов бетонирования (рис. 5).

Для каждой захватки с помощью программного комплекса Leica GeoMos Monitor задавались группы контрольных марок. В группы непрерывного наблюдения включались арки, попадающие непосредственно



Рис. 3

Вид свода с отражателями на арках



Рис. 4

Электронный тахеометр Leica TM30 во время геодезического мониторинга (светлое пятно справа — призма Leica GPH1P)



**Рис. 5**  
Панорама свода снаружи (процесс бетонирования)

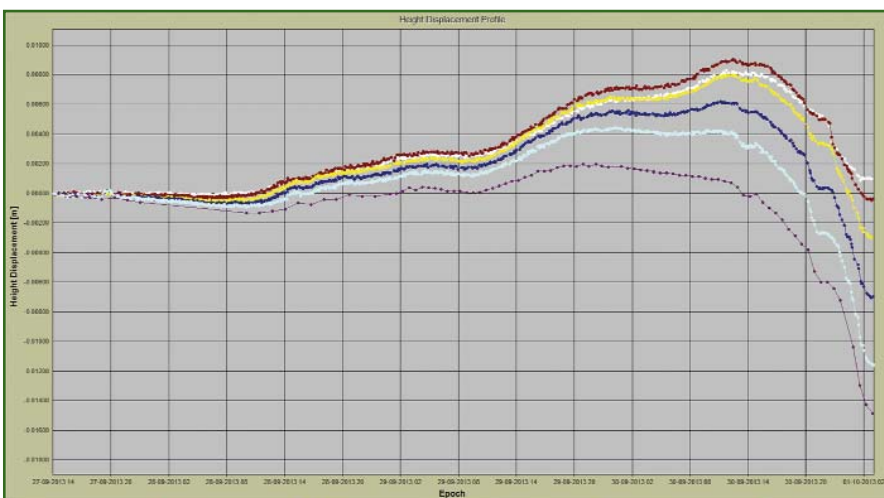
в захватку бетонирования, а также ближайшая арка к границе захватки. Остальные арки включались в группу периодических наблюдений и контролировались с периодом измерений от 40 до 60 минут. Обратная засечка на опорные марки выполнялась с периодичностью в 20 минут. Процесс из-

свода. С помощью программы Leica GeoMos Analyzer строились наглядные графики перемещений (рис. 6). Полученные данные постоянно сообщались группе, управляющей процессом бетонирования. В случае превышения расчетных значений деформаций, эта информация незамедлительно была

возможным сократить количество этапов бетонирования на второй и третьей захватках и ускорить процесс бетонирования.

Дополнительной информацией, полученной в процессе мониторинга, явились измеренные значения деформаций обвязочных бортовых балок, которые с точностью до 1 мм совпали с измерениями, выполненными снаружи здания с помощью обычного тахеометра.

Рассмотренный пример хорошо демонстрирует возможности и эффективность применения программного комплекса Leica GeoMos и роботизированного тахеометра Leica TM30 для автоматизации мониторинга деформаций в режиме реального времени, в условиях, когда использование обычных средств геодезических измерений потребовало бы значительных затрат времени и было бы весьма затруднительно.



**Рис. 6**  
График перемещения середины арок при бетонировании захватки

мерения на все марки в группе непрерывного наблюдения занимал от 5 до 10 минут в зависимости от захватки, а время двойного измерения одной марки с учетом автоматического наведения составило в среднем 10–15 секунд.

Автоматизация и скорость процесса измерений позволили в полной мере отслеживать деформации арок несъемной опалубки при бетонировании

бы получена руководителем работ и позволила бы остановить бетонирование до возникновения аварийной ситуации. К счастью таких ситуаций удалось избежать, и абсолютные значения фактических деформаций стальных арок оказались в 1,5–2 раза меньше расчетных при совпадении общей картины их развития. Наличие надежной информации о состоянии опалубки сделало

#### RESUME

There is described the process of automated geodetic monitoring of deformation of permanent metal formwork arches when concreting the arch of the Beloyarsk NPP fourth reactor compartment. The results showed high reliability and effectiveness of using the Leica GeoMos software package together with the robotic tacheometer Leica TM30 when measuring fast deformation processes.