

МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИЙ КАК ОСНОВА БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

ПАШКИН Е.М.

РГГРУ

БАГМЕТ А.Л., ОСИКА В.И.

ИФЗ РАН

НОВАК Ю.В.

ИТМ ЦНИИС

СУХОВ А.А.

УК ОАО «Манежная площадь»

Введение

Надежность существующих зданий и сооружений определяется величинами их деформаций — креном, сжатием/растяжением, сдвигом, напряжениями в несущих конструкциях и, прежде всего, устойчивостью основания, на котором они покоятся. Проектные расчёты на прочность и устойчивость строящихся сооружений согласно действующим строительным нормам и правилам необходимое, но недостаточное условие их безопасной эксплуатации.

Нормативные документы составляются с расчётом на то, что сооружения стоят на неизменном в дальнейшем основании и не подвергаются никаким внешним воздействиям. Однако это не так. Они на-

ходятся в динамическом взаимодействии с окружающей естественной и искусственной средой и постоянно испытывают её влияние. Строительство современных зданий связано с созданием нагрузок на грунты более 0,5 МПа, что выходит за пределы существующих норм. Изменение естественного баланса подземных вод приводит к изменению напряжённо-деформированного состояния грунтового массива и уплотнению грунтов в пределах депрессионных воронок. Поэтому при наличии факторов, имеющих возможность повлиять на существующие строения, необходим мониторинг деформаций, благодаря которому будет известно, каким именно воздействиям подвергаются сооружения под влиянием, например, близко расположенных строительных ра-

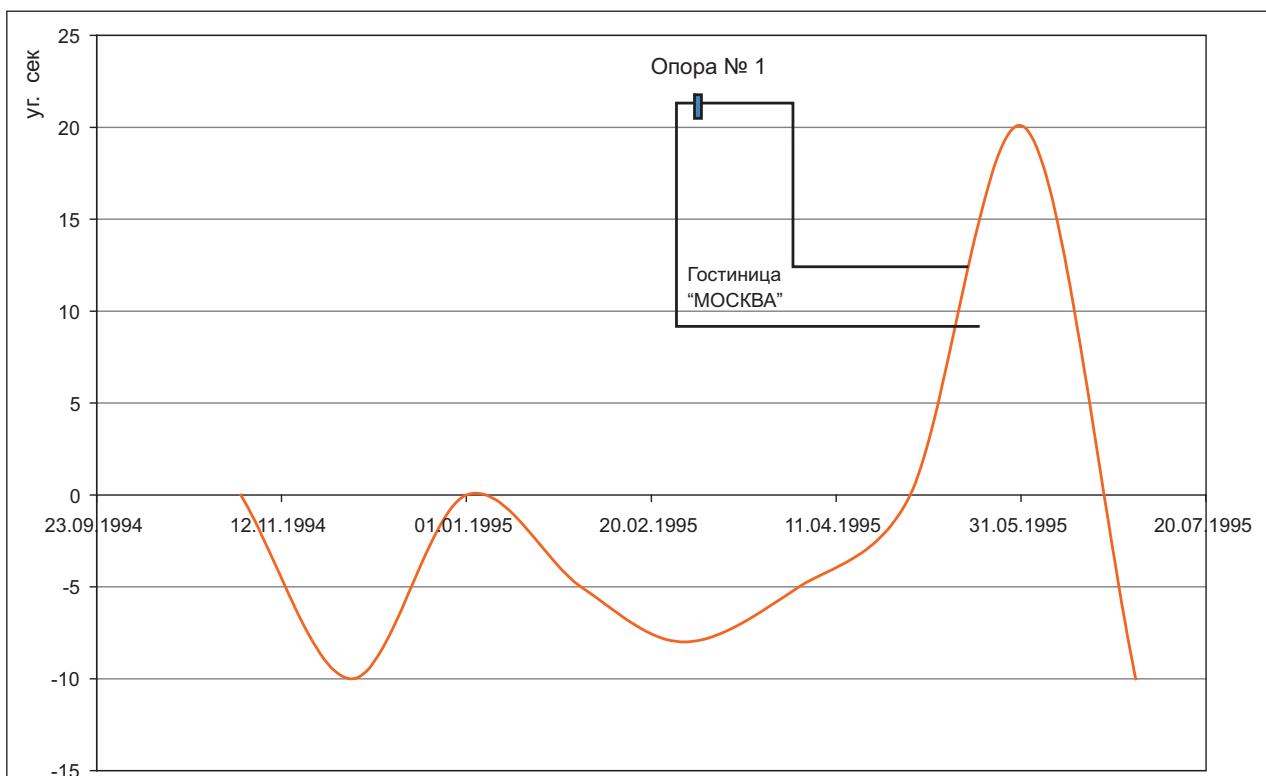


Рис. 1. Крен опоры № 1 гостиницы «Москва» в 1994–1995 гг.

бот и др. техногенным воздействиям. Кроме того, и само основание сооружения со временем не остаётся неизменным, его несущая способность меняется, например, из-за откачек подземных вод, возникновения суффозии и др. Анализ состояния аварийных сооружений приводит к выводу о необходимости контроля их деформаций для предотвращения разрушений.

Вопрос о необходимости организации мониторинга деформаций сооружений — строительного мониторинга — ставился и ранее [1; 2]. Однако при изучении причин возникновения и развития деформаций сооружений часто оказывается упущенным определение их величин прямыми натурными инструментальными измерениями, которые отражают все внешние воздействия.

Имеется два постановления Правительства Москвы о необходимости мониторинга деформаций несущих конструкций сооружений с целью повышения безопасности их эксплуатации [3; 4]. Планируемое увеличение объёма использования подземного пространства Москвы неизбежно приведёт к серьёзному осложнению взаимодействия существующих и строящихся сооружений с геологической средой. Помимо разуплотнения грунтов, суффозии, провалов будут развиваться геомеханические процессы, в значительной мере снижающие природный резервный потенциал геологической среды города.

Москва практически исчерпала возможности латерального (горизонтального) развития. В дальнейшем придётся строить главным образом по вертикали — вверх или вниз. Уже в 2008 г. будет освоено около 700 тыс. м² подземных площадей, а к 2010 г. — 1 млн м² для строительства метрополитена, авто-

МЕТОДИКА РАБОТ

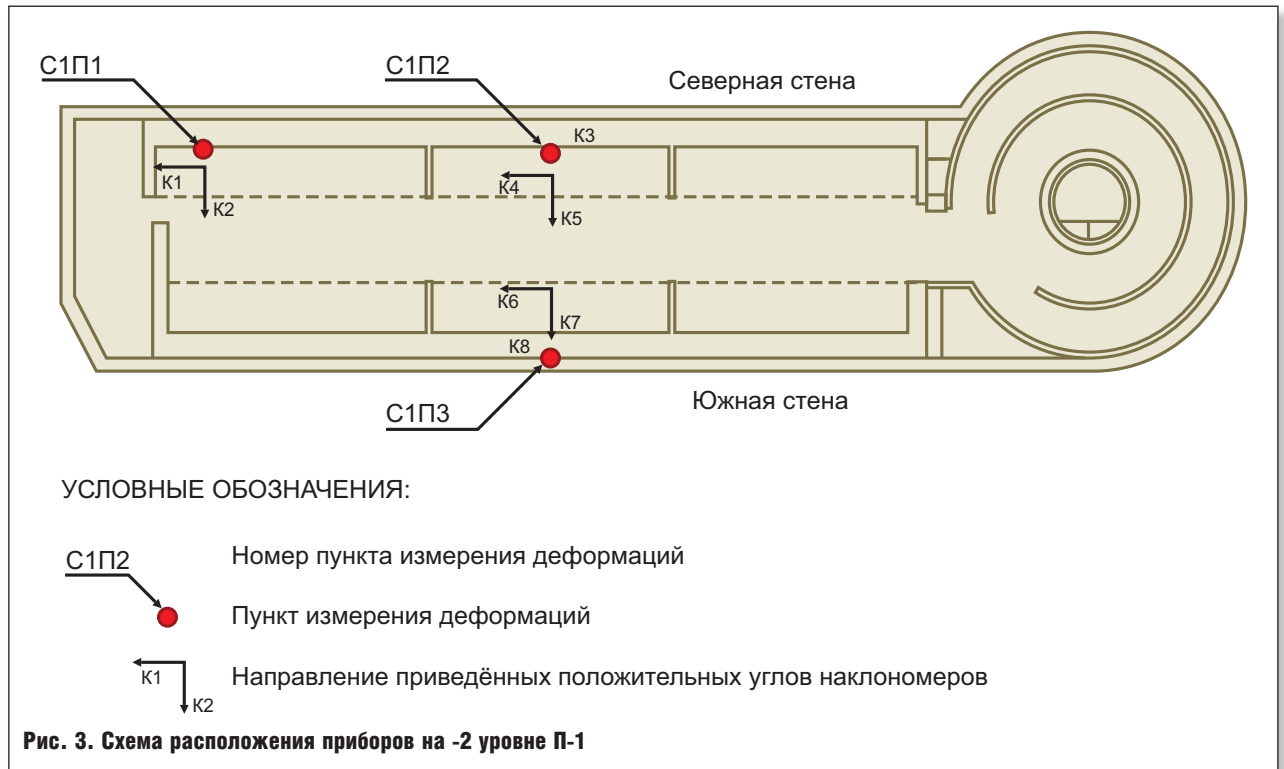
1. Картирование трещин в конструкциях существующих подземных сооружений, по результатам которого определяется конфигурация измерительной сети (расположение приборов).
2. Трёхмерное компьютерное моделирование с целью расчёта уровней безопасного и предельно допустимого состояния сооружения по кренам, деформациям и напряжениям.
3. Натурный инструментальный мониторинг деформаций строительных конструкций, сравнение результатов с данными моделирования и оценка степени безопасности эксплуатации сооружения.
4. Повторное картирование трещин по окончании цикла работ, указанных в пункте 3, для выявления новых трещин и подтверждения результатов инструментальных измерений деформаций.

транспортных тоннелей, подземных автостоянок, торговых объектов.

В результате этого увеличится статическая нагрузка на геологическую среду из-за веса наземных сооружений, а за счёт извлечения огромного объёма грунта при создании подземных сооружений возникнет значительное нарушение естественного поля напряжений в массивах пород. Дисбаланс напряжений усилится нарушением режима подземных вод и увеличивающегося водозабора, уже сейчас составляющего более 400 тыс. м³/сут. В таких условиях любое техническое решение сопровождается значительным риском, который увеличивается сжатыми сроками текущих строительных работ, не учитывающими естественный ход реологических процессов грунтов основания. Так, в центре Москвы при сложившейся подземной инфраструктуре (тоннели метрополите-



Рис. 2. Крен южной стены гостиницы «Москва» в 1996–1998 гг.



на, ТК «Охотный ряд», «Паркинг-1») были ускоренно проведены строительные работы по реконструкции гостиниц «Москва» и «Интурист» с созданием новых подземных сооружений.

В течении четырех лет, начиная с момента разборки гостиницы Москва, и строительства на её месте новой с устройством котлована глубиной 16 м проводился инструментальный мониторинг деформаций в режиме реального времени. Наблюдение велось за двумя подземными сооружениями: автостоянкой «Паркинг-1» и торговым комплексом «Охотный ряд». В настоящей статье опубликованы результаты этой работы. Предложенный подход может быть использован для мониторинга деформаций любых надземных и подземных сооружений с целью обеспечения безопасности их эксплуатации (см. *Методика работ*).

Результаты измерений кренов конструкций гостиницы «Москва» в 1994–1998 гг.

Первые измерения крена конструкций старой гостиницы «Москва» были выполнены Институтом физики Земли РАН в 1994–1995 гг. [5]. Наклономеры были установлены на опорной колонне № 1, выходящей к Манежной площади недалеко от Исторического музея. Результаты наблюдений дают представления о деформациях основания до глубины 15–16 м от дневной поверхности (рис. 1). Крен не превышает по величине среднестатистических сезонных значений при почти полном отсутствии дрейфа. Можно сказать, что основание, на котором стояла старая гостиница «Москва», было весьма устойчивым.

Второй ряд наблюдений проводился в 1996–1998 гг. В результате был измерен крен южной стены, примыкающей к «Паркингу-1» старой гостиницы «Москва» на уровне подвала, то есть нынешнего второго уровня подземной автостоянки «Паркинг-1» (рис. 2) [6].

Видно, что крен стены носит только сезонный характер изменений без тренда. Эти исходные данные положены в основу анализа современных деформаций сооружений «Паркинга-1» (в дальнейшем — П-1) и торгового комплекса «Охотный ряд» (ТК).

Краткое описание исследуемых объектов, результаты картирования трещин в 2004 г., расположение приборов

П-1 занимает площадь около 0,3 га и представляет собой четырёхэтажное подземное сооружение. Оно находится над тоннелями метро Арбатско-Покровской линии и Покровской соединительной ветки метрополитена. В плане П-1 представляет собой четырехугольник размером 105 на 18 м.

Центральная часть построена по схеме «стена в грунте» и представляет собой горизонтально уложенную конструкцию, разделённую на четыре уровня, в которых размещена автостоянка. Западная часть — четырёхэтажная пристройка, в которой размещены лифтовые проёмы и холлы, лестничные клетки, технические помещения. Она соединяется подземным переходом между уровнем -4 П-1 и уровнем -3 ТК. Восточная часть включает в себя круговую рампу — телескопическую конструкцию из трёх монолитных железобетонных вертикальных труб, которые опоясаны винтовым пандусом.

Картирование трещин и других дефектов в несущих конструкциях было выполнено с целью определения величин и направлений современных деформаций на наиболее характерных участках, а также с целью разработки рекомендаций по расположению приборов для деформационного мониторинга.

В П-1 трещины были обнаружены на всех уровнях. Анализ их распределения показал, что наибольшую подвижность имеет средняя часть сооружения,

Таблица 1. Изменение напряжённо-деформированного состояния несущих конструкций П-1

Расчётный вариант	Максимальные деформации, м			Максимальные напряжения, МПа (сжатие/растяжение)	Примечание: изменение НДС в % по этапам наблюдения
	по оси Z западная стена	по оси X северная стена	по оси Y вертикальные		
Исходное состояние	0,001	0,004	0,004	4,30/2,7	100
Демонтаж гостиницы и земляные работы	0,0018	0,0051	0,0048	4,31/4,0	+120–180

разбитая преимущественно поперечными трещинами. Трещины этого направления разделяют объём сооружения на отдельные кинематические блоки, которые могут перемещаться независимо друг от друга. Поэтому было решено установить измерительную аппаратуру по следующей схеме:

- в западной части стены, выходящей к гостинице «Москва», установить два наклономера. На всех уровнях плотность вертикальных трещин и их протяженность имеют максимальные значения;
- в центральной части этой же стены — два наклономера и один деформограф, регистрирующий деформации сжатия/растяжения. Это позволило контролировать крен стены и её деформации изгиба на участке, который по данным съёмки наиболее интенсивно подвергается изменениям;
- на южной стене (выходящей к метро) в центральной части установить два наклономера и один деформограф сжатия/растяжения.

На стене, выходящей к гостинице «Москва», большее количество измерительной аппаратуры обусловлено её близостью к строительной площадке. Расположение приборов, установленных на -2 уровне П1,

показано на рис. 3.

ТК занимает площадь 75 тыс. м². Простирается от выставочного центра «Манеж» до бывшей гостиницы «Москва» и от Александровского сада до Моховой улицы. Представляет собой четырёхэтажное подземное сооружение. Ограждающие несущие стены выполнены методом «стена в грунте» (толщина 0,9 м) и «буросекущих свай» (диаметр 0,8 м). Картирование трещин и других дефектов осуществлялось только в пределах доступных пространств, что отразилось на полноте и представительности его итоговых результатов.

В несущих конструкциях обнаружены следующие виды дефектов: трещины, околотрещинные вторичные преобразования структуры бетона, протечки, следы этих протечек в виде ржавчины арматуры, вторичных пятен его ожелезнения, высолов, сталактитов и сталагмитов, а также следов пучения защитного покрытия стен.

В несущих конструкциях ТК были выявлены две системы ортогональных вертикальных трещин, кото-



Таблица 2. Изменение напряжённо-деформированного состояния несущих конструкций ТК

№ п/п	Расчётный вариант	Максимальные деформации, м			Максимальные напряжения, МПа (сжатия/растяжение)	Примечание: изменение НДС в % по этапам наблюдений
		по оси Z	по оси X	по оси Y		
1.	Исходное состояние	0,0037	0,0067	0,004	7,31/4,84	100
2.	Демонтаж гостиницы и земляные работы	0,0045	0,0073	0,0043	7,92/5,25	+8,3–22
3.	Законченное строительство	0,0036	0,0067	0,004	7,32/4,85	-3–0

рые наблюдаются на всех уровнях северо-западной (напротив Моховой ул.) и северо-восточной (вход в гост. «Москва») частей сооружения. Приборы были установлены на уровне -3 для контроля за деформациями стен, выходящих к гостинице «Москва» и Моховой улице. Поскольку внутренняя часть стен ТК представляет собой стальную гидроизолирующую плиту, установка деформографов нецелесообразна. Расположение приборов в ТК показано на рис. 4.

Установка приборов

В П-1 наклонометры и деформографы установлены на платформах, покоящихся на зацементированных в стены анкерах.

В ТК наклонометры устанавливались на платформах на специальных анкерах, приклеенных к стене. Прежде чем устанавливать наклонометры (вес двух приборов с монтажным устройством 5,5 кг), платформа на неделю подвергалась нагрузке величиной 15 кг, и если клеевые соединения выдерживали, выполнялся окончательный монтаж.

Выбор периодичности измерений

Выбор периодичности измерений основывался на теореме Котельникова — Найквиста, согласно которой для исследования периодических и квазипериодических процессов измерения должны производиться не реже двух раз в период изменения самой значимой высокочастотной составляющей исследуемого процесса. Реже измерения делать нельзя, поскольку возникнет элайзинг-эффект, то есть перенос спектра высокочастотных составляющих в низкочастотную часть, что вызывает появление ложных низких частот и искажений результатов измерений. Слишком же высокая частота измерений неэкономична.

Для определения самой высокочастотной значимой составляющей были выполнены измерения колебаний в диапазоне частот от 0,0003 до 20 Гц.

Исследование вибраций в ТК проводилось в соответствии с разработанной в ОАО ЦНИИС технологией вибродиагностики строительных сооружений с применением измерительной системы мобильного

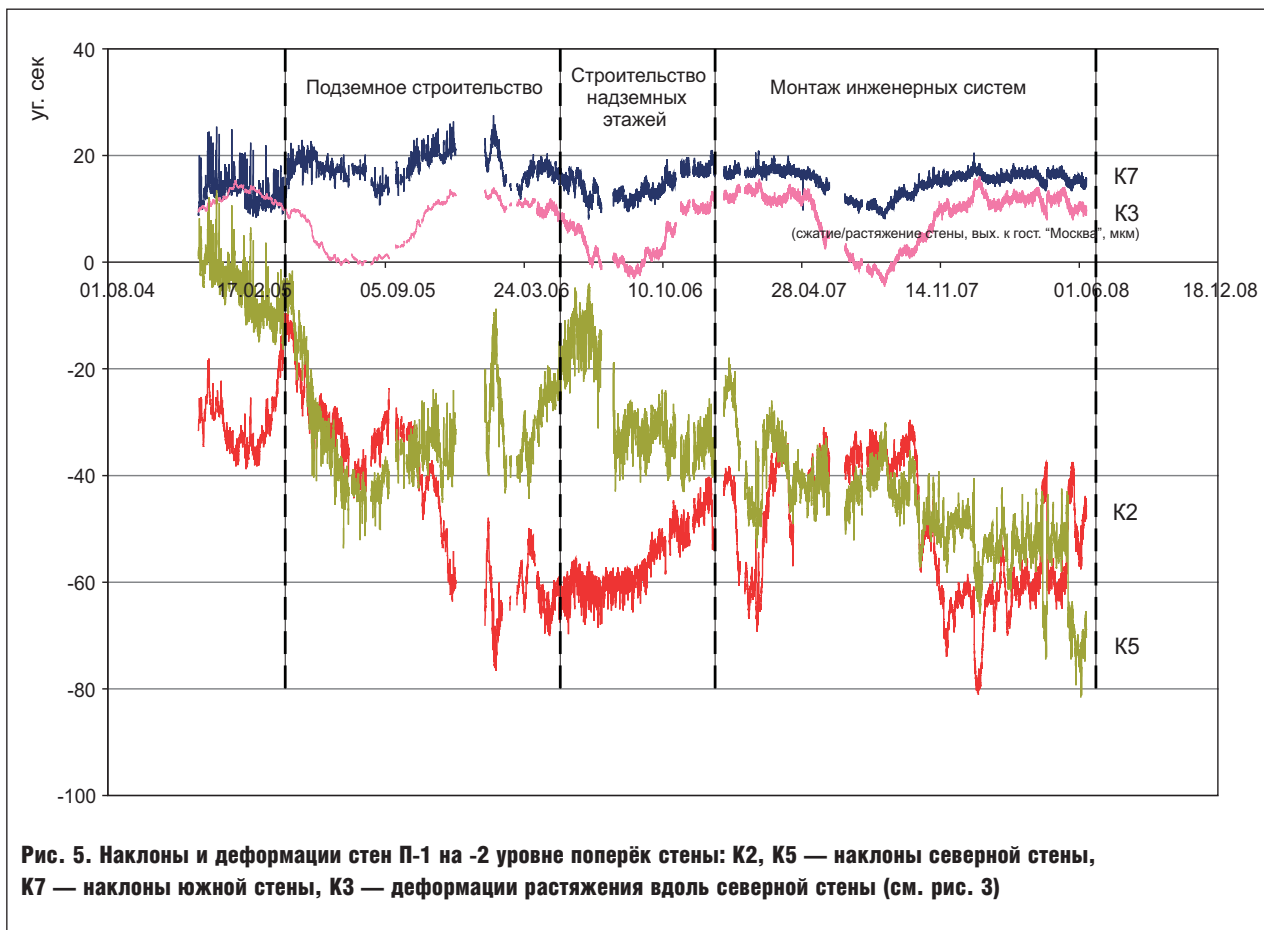
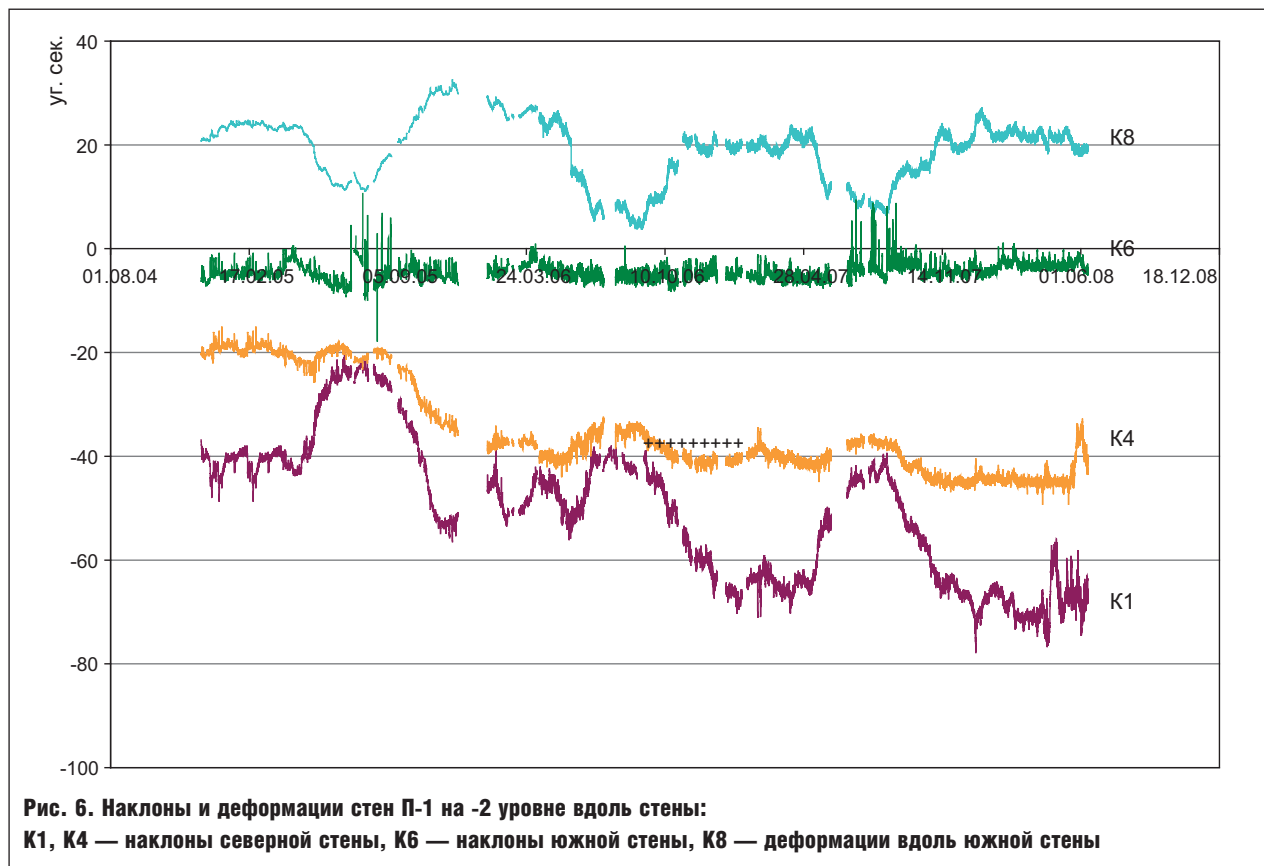


Рис. 5. Наклоны и деформации стен П-1 на -2 уровне поперёк стены: K2, K5 — наклоны северной стены, K7 — наклоны южной стены, K3 — деформации растяжения вдоль северной стены (см. рис. 3)



комплекса вибродиагностики. Использовалась методика пассивной вибродиагностики, когда параметры воздействия не контролируются. В этом случае вибрации измеряются одновременно в нескольких точках для получения картины распространения волны от источника вибраций. Абсолютные значения максимальных виброперемещений незначительны: 0,4 мкм. Максимальные значения виброускорений — 0,04 м/с².

В высокочастотной области значимую величину имеет суточная составляющая наклонов и деформаций. Измерения проводились теми же приборами, которые применялись для слежения за деформациями. Величины суточных наклонов в различные периоды времени составляли от 0,5 до 5 уг. сек. Отсюда следует, что минимальный период измерений — два раза в сутки.

Описанные ниже результаты измерений получены при ежечасном опросе датчиков.

Трёхмерное компьютерное моделирование

Для адекватной оценки предельно допустимых величин углов отклонения конструкций от вертикали и вызванных этим напряжений было выполнено компьютерное трёхмерное моделирование результатов внешних воздействий на конструкции сооружений П-1 и ТК. Для этого использовался метод конечных элементов.

Цель моделирования и расчётов — определение критериев безопасной работы сооружений в реальном режиме их эксплуатации с учётом взаимодействия с прилегающими грунтовыми массивами и с учётом изменений напряжённо-деформированного состояния при разборке и реконструкции гостиницы «Москва».

Расчёты на прочность и оценка деформаций для конструкций П-1 были выполнены для исходного состояния (проектное, без учёта взаимодействия с окружающими сооружениями) и состояния с учётом окончания монтажа конструкций и производства земляных работ при строительстве новой гостиницы. Для несущих конструкций ТК расчёты проводились аналогично.

Статические и динамические расчёты напряжённо-деформированного состояния сооружений как единой пространственной системы на грунтовом основании были выполнены с учётом проектных нагрузок, включая собственный вес, временную нагрузку и дополнительные нагрузки от производства работ при реконструкции гостиницы «Москва» по СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия».

В результате сопоставления с действующими МГСН и СНиП было дано заключение о прочности и жёсткости несущих конструкций. Пространственные статические и динамические расчёты выполнялись при помощи программного комплекса COSMOS/M. 2.90, методом конечных элементов. Модель включала фрагмент грунтового массива размером 120x50 м² с железобетонными элементами П-1. Было использовано более 140 тысяч элементов типа «пространственное тело» и «пространственная оболочка» и решено более 360 тысяч уравнений. Для исходного состояния расчёты показали, что деформации грунтового массива достигают величины 6,1 мм и направлены к центру подземной автостоянки. Наибольший интерес представляют деформации и напряжения в несущих железобетонных конструкциях П-1. По результатам расчёта получено, что даже в исходном состоянии его продольные стены деформируются в сторону зоны строительства новой гостиницы. Мак-

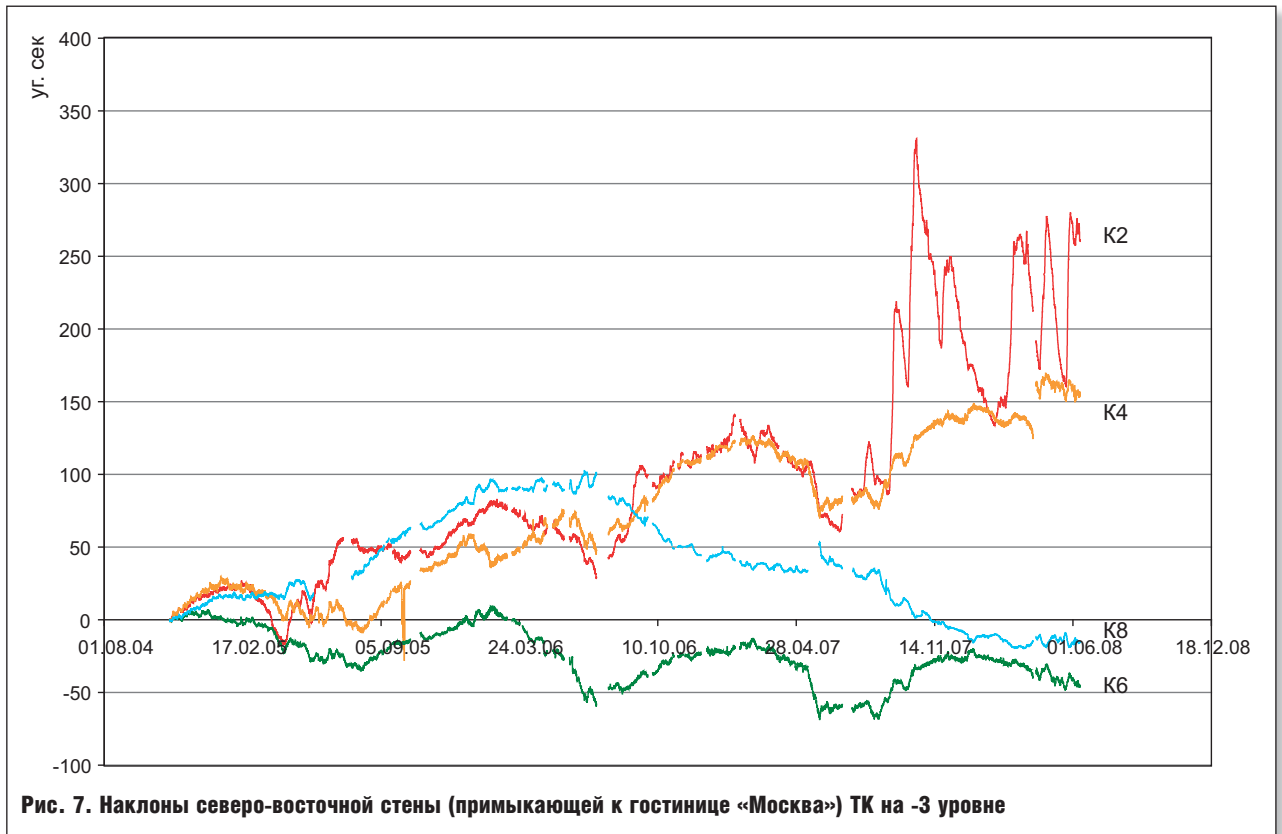


Рис. 7. Наклоны северо-восточной стены (примыкающей к гостинице «Москва») ТК на -3 уровне

симальные деформации ближайшей к стройке стены достигли 2,0 мм. Вертикальные деформации привели к «разлому» конструкций П-1 по центру. Углы сооружения имеют большую вертикальную осадку, чем центральная часть, на 1,0–1,5 мм. Анализ продольных деформаций указывает на то, что сторона П-1, расположенная ближе к ТК, деформируется по направлению к Манежной площади, а противоположная сторона — в сторону Театральной площади. Разность деформаций достигает 2,5–3,0 мм. Такие деформации привели к образованию трещин в центральной части П-1, что и было зафиксировано в результате натурных обследований. Производство строительных работ на месте гостиницы «Москва» значительно изменило напряжённо-деформированное состояние несущих железобетонных элементов сооружения. Как следует из расчётов, деформации, зафиксированные для исходного состояния, увеличиваются, при этом горизонтальные деформации стен возрастают на 15–20%, а по территории распространяются на площади в 1,5–2,0 раза больше, чем в исходном состоянии. Максимальные сжимающие напряжения в сооружении возрастают с 2,7 до 4,0 МПа. Это пока не представляет опасности для прочности конструкций, но отрицательно сказывается на долговечности и стойкости сооружения в течение обозримого времени.

Такой же анализ был выполнен для расчёта взаимодействия сооружений ТК и строящегося здания гостиницы в зоне их взаимовлияния. Компьютерная модель выполнена по методу конечных элементов и представляет собой фрагмент грунтового массива размером 350x150 м², в который включены железобетонные элементы ТК на разных уровнях. Наиболее важны деформации и напряжения в несущих железобетонных конструкциях ТК. Так, по результатам

расчёта получено, что даже в исходном состоянии продольные стены ТК имеют тенденцию к деформированию. Для исходного состояния деформации достигают величин от 3,6 мм (горизонтальные) до 4,0 мм (вертикальные) и направлены к центру ТК.

Расчёты, имитирующие производство демонтажных и земляных работ на территории гостиницы «Москва», показали, что производство работ по установке свай и устройству котлована оказывает значительное влияние на напряжённо-деформированное состояние железобетонных конструкций ТК.

Так, горизонтальные продольные деформации растут с 3,66 до 4,44 мм; горизонтальные поперечные (по оси X) увеличиваются с 5,1 до 5,6 мм; вертикальные деформации увеличиваются с 4,0 до 4,3 мм. Таким образом, установлено, что демонтаж здания гостиницы и земляные работы при реконструкции гостиницы «Москва» увеличили продольные горизонтальные деформации несущих конструкций ТК на 21%. Горизонтальные поперечные и вертикальные деформации увеличиваются в меньшей степени, их рост не превышает в среднем 10%.

Результаты компьютерного моделирования работы несущих конструкций П-1 и ТК подтверждают, что напряжённо-деформированное состояние обоих сооружений в настоящее время претерпевает значительные изменения, связанные с возведением гостиницы. Именно этим воздействием обусловлен рост деформаций и углов наклона северной стороны П-1 (на 10–15%) и северо-восточной стены торгового комплекса (на 15–21%). Сопоставление результатов вычислений с данными непрерывного натурального мониторинга показывает, что расчёты не только качественно согласуются с результатами измерений, но и количественно объясняют изменения напряжённо-деформированного состояния сооружений. По всем



характерным сечениям наблюдается полная адекватность компьютерной модели и реально измеренных кренов несущих элементов ТК и П-1.

Сопоставление результатов расчётов с требованиями действующих строительных норм и правил показывает, что запасы прочности конструкций П-1 и ТК в целом соответствуют требованиям СНиП и МГСН. Следует отметить, что изменение деформаций сооружений во времени влияет на трещинообразование в железобетонных элементах и значительно снижает долговечность сооружений. Результаты инструментальных натурных измерений деформаций необходимо оперативно использовать в компьютерных моделях для прогнозирования возможных опасных изменений напряжённо-деформированного состояния сооружений. Вычисления предельно допустимых деформаций конструкций сооружений «Паркинга-1» и ТК «Охотный ряд» были выполнены по критериям обеспечения несущей способности (прочности) и безопасной нормальной эксплуатации, основанной на обеспечении долговечности и трещиностойкости.

Анализ результатов расчётов дал следующие критерии обеспечения требуемой несущей способности.

П-1: северная стена (наиболее близко расположенная к строительной площадке), середина — предельный угол наклона ± 4 мин 51 уг. сек. Участок, сопряжённый переходом с ТК «Манежная площадь», — предельный угол наклона ± 2 мин 38 уг. сек.

ТК: северо-восточная стена (выходящая к гост. «Москва») — предельный угол наклона ± 3 мин 46 уг. сек. Северо-западная стена (выходящая к Моховой ул.) — предельный угол наклона 3 мин 39 уг. сек. При этих величинах углов наклона могут происходить необратимые разрушения в сжатой зоне бетона, приводящие к резкому снижению прочности конструкций.

По критерию обеспечения нормальной безопасной эксплуатации (отсутствует превышение растягивающих напряжений в бетоне предельных величин, указанных в СНиП):

П-1: северная стена (середина) — безопасный угол наклона ± 58 уг. сек. Северная стена (участок, сопряжённый переходом с ТК) — безопасный угол наклона ± 32 уг. сек;

ТК: северо-восточная стена (примыкающая к гост. «Москва») — безопасный угол наклона ± 46 уг. сек. Северо-западная стена (примыкающая к Моховой ул., станция СЗП4) — безопасный угол наклона ± 44 уг. сек.

Сопоставление результатов расчётов с действующими строительными нормами

Сопоставление результатов расчётов с требованиями действующих строительных норм и правил показывает, что запасы конструкций как П-1, так и ТК соответствуют требованиям СНиП и МГСН. Следует отметить, что изменение деформаций сооружений во времени влияет на трещинообразование в железобетонных элементах, что значительно снижает долговечность сооружений. Результаты инструменталь-

ных натурных измерений деформаций необходимо оперативно использовать в компьютерных моделях для прогнозирования возможных опасных изменений напряжённо-деформированного состояния сооружений. Вычисления предельно допустимых деформаций конструкций сооружений П-1 и ТК были выполнены по критериям обеспечения несущей способности (в данном случае прочности — по критериям 1-го предельного состояния) и безопасной нормальной эксплуатации, основанной на обеспечении долговечности и трещиностойкости (по критериям 2-го предельного состояния).

Анализ результатов расчётов дал следующие критерии обеспечения требуемой несущей способности (прочности) с обеспеченностью 0,95 при нормальном распределении.

П-1: северная стена (наиболее близко расположенная к строительной площадке), середина — предельный угол наклона от 4 мин 51 уг. сек (нижняя граница доверительного интервала) до 6 мин 49 уг. сек (верхняя граница доверительного интервала). Участок, сопряжённый переходом с ТК «Манежная площадь», — предельный угол наклона от 2 мин 38 уг. сек (нижняя граница доверительного интервала) до 3 мин 42 уг. сек (верхняя граница доверительного интервала).

ТК: северо-восточная стена (выходящая к гост. «Москва») — предельный угол наклона от 3 мин 46 уг. сек (нижняя граница доверительного интервала) до 5 мин 18 уг. сек (верхняя граница доверительного интервала); северо-западная стена (выходящая к Моховой ул.) — предельный угол наклона от 3 мин 39 уг. сек (нижняя граница доверительного интервала) до 5 мин 8 уг. сек (верхняя граница доверительного интервала). При этих величинах углов наклона могут происходить необратимые разрушения в сжатой зоне бетона, приводящие к резкому снижению прочности конструкций.

По критерию обеспечения нормальной безопасной эксплуатации (нет превышения растягивающих напряжений в бетоне предельных величин, указанных в СП 52-101-2003 и равных удвоенному норма-

Таблица 3. Результаты обследования конструкций П-1

Уровень	Новые дефекты сооружения, появившиеся после 2004 г.
1 уровень	Произошло соединение двух встречных трещин направления С-Ю в средней части сооружения. Возникли новые трещины направления С-Ю в западной и центральной частях сооружения
-2 уровень	После покраски снова выявились поперечные трещины в потолке и полу, обнаруженные в 2004 г. Раскрытие трещин в потолке увеличилось до 2 мм
-3 уровень	Выявлено наибольшее количество новых трещин, в том числе протяжённая трещина в полу, распространившаяся на стены. Соединились две поперечные трещины в потолке, возникла новая трещина в полу и вертикальная трещина на стене западной части сооружения
-4 уровень	Появилась вертикальная трещина на стене восточной части сооружения, переходящая на потолок, а также поперечная вертикальная трещина западной части сооружения, секущая потолок и стены

тивному сопротивлению бетона на прочность на растяжение R_{bn} — по критерию 2-го предельного состояния):

П-1: северная стена (середина) — безопасный угол наклона: от 58 уг. сек (нижняя граница доверительного интервала) до 1 мин 22 уг. сек (верхняя граница доверительного интервала); северная стена (участок, сопряжённый с ТК переходом) — безопасный угол наклона от 32 уг. сек (нижняя граница доверительного интервала) до 45 уг. сек (верхняя граница доверительного интервала);

ТК: северо-восточная стена (выходящая к гост. «Москва») — безопасный угол наклона от 46 уг. сек (нижняя граница доверительного интервала) до 1 мин 5 уг. сек (верхняя граница доверительного интервала); северо-западная стена (выходящая к Моховой ул., станция СЗП4) — безопасный угол наклона от 44 уг. сек (нижняя граница доверительного интервала) до 1 мин 2 уг. сек (верхняя граница доверительного интервала).

Наличие доверительного интервала в оценках предельных углов определяется вариацией факторов, влияющих на прочность и деформации конструкций. Среди основных значимых факторов следует отметить класс бетона, геометрию конструкций, неоднородность грунтов, разброс действующих нагрузок, неопределённость уровня грунтовых вод и др. Превышение фактических углов наклона над величиной предельных значений, соответствующих нижней границе доверительных интервалов, указывает на то, что разрушение вероятно или долговечность конструкции не обеспечена.

Результаты натурных инструментальных измерений деформаций

П-1. Наблюдения были начаты в августе 2004 г. На графиках представлены их результаты до середины июня 2008 г. (рис. 5–7).

К2, К5 — наклоны северной стены, К7 — наклоны южной стены, К3 — деформации растяжения вдоль северной стены (см. рис. 3),

К1, К4 — наклоны северной стены, К6 — наклоны южной стены, К8 — деформации вдоль южной стены.

Как видно, наклоны стен в поперечном направлении различаются: стена, расположенная ближе к территории строительства новой гостиницы «Москва», интенсивно наклоняется внутрь сооружения со скоростью 0,05 уг. сек/сут. (см. рис. 3). Середина противоположной стены испытывает только периодические сезонные наклоны, совпадающие с сезонными деформациями сжатия-растяжения (К7, К8, две верхние кривые на рис. 5). Сравнивая значительные наклоны северной стены П-1 с очень слабыми наклонами (рядом располагавшейся стены) старой гостиницы «Москва», располагавшейся на той же площадке (см. рис. 1, 2), приходим к выводу, что значительные наклоны северной стены П-1 вызваны строительными работами на месте снесённой гостиницы «Москва». Крен стен в продольном направлении показан на рис. 6. Стена,

примыкающая к музею археологии Москвы, имеет интенсивный крен (его величина достигла к настоящему времени почти 80 уг. сек). В середине стены, примыкающей к гост. «Москва», наклоны слабее (45 уг. сек), но всё равно это значительная величина, если учесть, что жёсткость стены в продольном направлении (вдоль простирания конструкции) значительно больше, чем в поперечном. Наклонов середины южной стены, примыкающей к бывшему музею В.И. Ленина, не наблюдается, они имеют только слабо выраженный периодический характер (рис. 6, К6).

ТК. Расположение приборов показано на рис. 4. Станция 2 — северо-восточная стена (примыкающая к гост. «Москва»).

На рис. 7 показаны наклоны северо-восточной стены в поперечном направлении, а на рис. 8 — в продольном. Как видно, в поперечном направлении наклоны намного интенсивнее, чем в продольном. Особенно интенсивные крены стены наблюдаются на участке стены, находящемся ближе всего к Историческому музею (К2, К4 на рис. 8). Интенсивный крен этого участка стены продолжается.

Чтобы убедиться в надёжности полученных результатов измерений, в ТК в пункте 1 на северо-восточной стене оба наклономера были установлены параллельно и измеряли крен поперёк стены (см. рис. 8).

Сходимость результатов измерений

На рис. 8 показаны наклоны, зарегистрированные двумя параллельно установленными наклономерами в направлении перпендикулярно стене (ТК, пункт 1). Наклономер К1 до поворота на 90° измерял наклон параллельно стене. Момент установки обоих приборов перпендикулярно стене показан стрелкой. Хорошо видно, что оба прибора синхронно регистрируют интенсивные наклоны в направлении от стены. Аналогичная проверка на сходимость была выполнена в П-1. Здесь на стене, выходящей к гостинице «Москва», два наклономера были установлены перпендикулярно стене. Результат также оказался удовлетворительным.

Анализ показал, что сходимость результатов измерений параллельными приборами при продолжительном периоде измерений не ниже 8%. Важно, что нет многолетнего воздействия изменений температуры воздуха внутри помещений на приборы: в обоих сооружениях температура воздуха стабильно поддерживается в пределах: в ТК — $21 \pm 3^\circ\text{C}$, а в П-1 — $17 \pm 2^\circ\text{C}$.

Критерии внешних воздействий на деформации сооружений

Любое сооружение подвергается внешним обратимым и необратимым воздействиям, влияющим на их стабильность. Обратимые деформации вызываются сезонными температурными воздействиями на части конструкций и гидротермическими деформациями земной поверхности вследствие сезонных промерзаний и оттаиваний грунтов. Такие деформа-

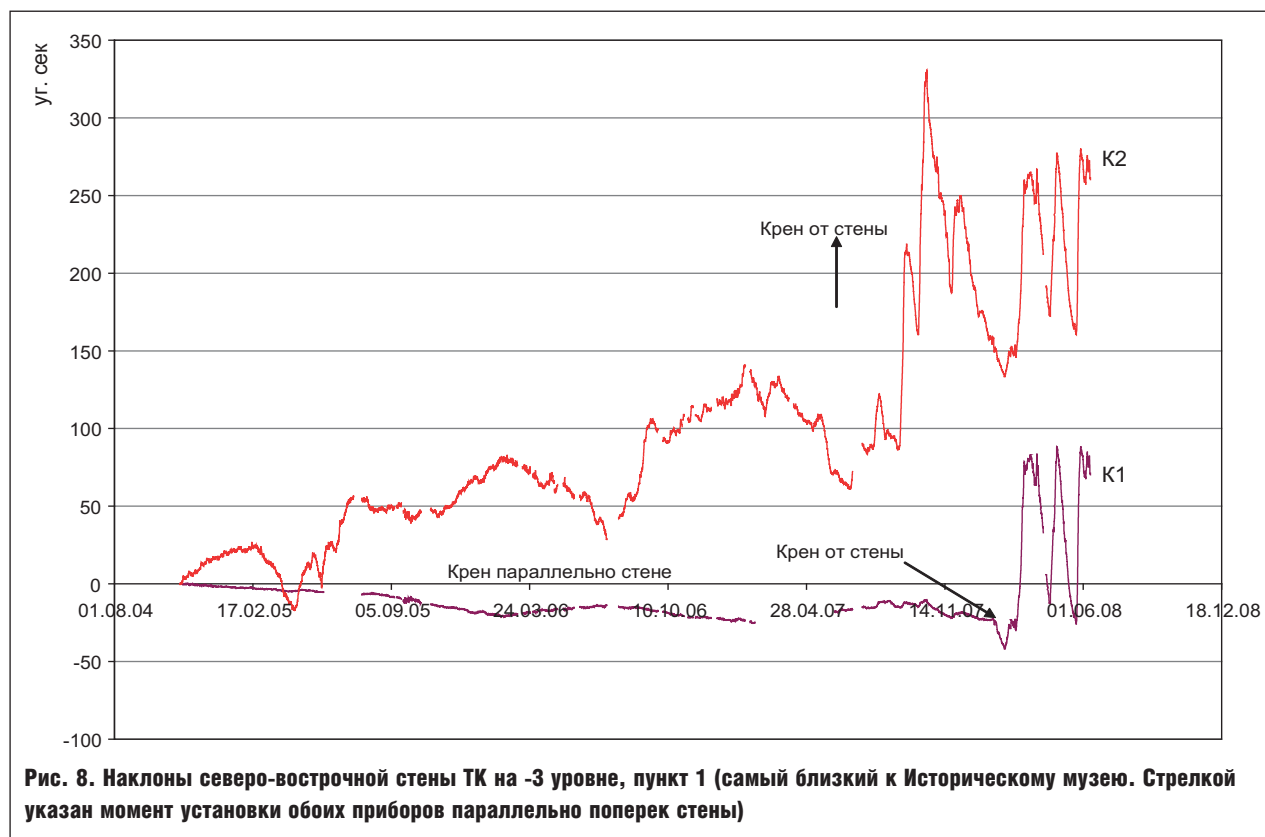


Рис. 8. Наклоны северо-восточной стены ТК на -3 уровне, пункт 1 (самый близкий к Историческому музею. Стрелкой указан момент установки обоих приборов параллельно поперек стены)

ции не опасны, хотя и могут иметь значительные величины. Для их компенсаций предусматривается устройство специальных температурно-деформационных швов. Необратимые деформации вызываются осадками грунтов оснований вследствие изменения уровня грунтовых вод, суффозионных процессов, постройки вблизи новых сооружений, котлованов и др. Такие деформации из года в год накапливаются. Со временем компенсационные швы не справляются со своей задачей, в сооружениях возникают трещины, которые могут стать опасными для целостности конструкций.

Критерий накопления необратимых деформаций — их отличие от обратимых сезонных деформаций.

Это хорошо видно на рис. 5, где показаны результаты измерений деформаций северной и южной стен П-1 на -2 уровне. К2 — крен северной стены, ближе к археологическому музею, К5 — то же, но середины стены (оба поперёк её простирания). Северная стена находится ближе к стройке, и влияние производственных работ сказалось и на высоких скоростях кренов, и на искажении сезонных кренов. В то же время крен середины противоположной стены намного слабее и носит сезонный характер, как и продольные деформации сжатия/растяжения (К3).

Выводы по результатам инструментальных измерений деформаций

В П-1 северная стена подвергается деформациям крена. Здесь предел безопасной работы 63 уг. сек. В конце стены, расположенной ближе к археологическому музею, в среднем он достиг 70 уг. сек. В середине стены величина крена к настоящему времени достигла 55 уг. сек и при скорости 0,05 уг. сек/сут.

За последний год скорости кренов остались высокими и их уменьшения не наблюдается, несмотря на завершение строительства новой гостиницы.

В ТК беспокойство вызывает крен участка юго-восточной стены, расположенного ближе к Историческому музею, где крен достигал 340 уг. сек. В настоящее время скорость крена остается высокой — 0,25 уг. сек/сут.

Повторное картирование трещин

Для контроля надёжности результатов натурных инструментальных измерений деформаций в конце мая 2008 г. было выполнено повторное обследование П-1 с целью выявления новых деформаций по сравнению с 2004 г., когда были составлены подробные поэтажные дефектные планы. Результаты обследования даны в табл. 3.

После 2004 г. трещины были заделаны, однако почти все они сейчас видны. Возникли новые. По результатам наблюдений деформации П-1 в настоящее время продолжают продолжаться. Настоящее обследование это подтвердило — по ослабленным зонам происходят смещения и возникают новые трещины, направления простирания которых соответствуют картине деформации П-1, полученной по инструментальным наблюдениям.

Заключение

1. По результатам натурных инструментальных измерений деформаций выявлено влияние строительных работ на состояние существующих подземных сооружений. Отсутствие регламента на эти взаимодействия не дает возможности заранее оценивать изменения напряженно-деформированного состояния грунтового массива при перестройке

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильичев В.А., Алешин А.С., Дубовской В.Б. Инструментальные проблемы деформационного мониторинга в строительстве. Основания, фундаменты и механика грунтов. ?? № 3. М., 2003. С. 15–21.
2. Кудрин А.Ю., Качанов С.А., Нигметов Г.М., Бахмат Д.В., Прошляков М.Ю. Средства спасения. Противопожарная защита-2006. Мониторинг устойчивости зданий и сооружений в составе комплексной системы безопасности объектов. www.securpress.ru.
3. Закон г. Москвы от 07.04.2004 г. № 21 «О мониторинге технического состояния жилых домов на территории г. Москвы». www.securpress.ru.
4. Постановление Правительства Москвы от 18.05.2004 г. № 320-ПП «О мониторинге состояния строительных конструкций большепролётных, высотных и других уникальных зданий и сооружений, строящихся и эксплуатируемых в г. Москве». www.securpress.ru.
5. Волков В.А., Барковский Е.В. Инструментальный геофизический мониторинг деформаций и угловой нестабильности здания гостиницы «Москва»: Отчет о научно-исследовательской работе. М., 1995. Фонды ОИФЗ им. И.Ю. Шмидта.
6. Багмет А.Л., Осика В.И. Результаты измерений деформаций С-3 стены гостиницы «Москва» на уровне подвала. М., 1998. Фонды гостиницы «Москва».

- близко расположенных объектов, включающих использование подземного пространства. Получение и интерпретация результатов мониторинга деформаций сооружений в разных инженерно-геологических условиях города позволит нормировать такие взаимодействия.
2. Система инструментальных наблюдений с трёхмерным компьютерным моделированием деформаций и напряжений позволяет выявить характер взаимодействий существующих и строящихся подземных и наземных сооружений в конкретных инженерно-геологических условиях и оценить степень их безопасности в период строительства и эксплуатации. Сравнение результатов многолетнего контроля деформаций с расчётными вариантами поведения конструкций даёт возможность сделать выводы о мере надёжности их состояния.
 3. Результаты многолетнего мониторинга деформаций подземной автостоянки «Паркинг-1» и торгового комплекса «Манежная площадь» дают возможность сделать выводы о поведении их конструкций во взаимодействии с меняющимся состоянием грунтового массива в результате перестройки гостиницы «Москва».
 4. Применённый метод мониторинга сооружений может быть использован на всех строительных объектах, в том числе уникальных, которые в целях безопасности нельзя эксплуатировать без непрерывного мониторинга их деформаций. При этом результаты измерений важны даже в том случае, если окажется, что деформации незначительные — значит, сооружение стабильно, а это самое главное для его безопасной эксплуатации. 📍

12-14 ноября
2008
МУРМАНСК

НЕФТЬ и ГАЗ Арктического шельфа
IV международная научно-практическая конференция

шельф Арктики:
СТРАТЕГИЯ БУДУЩЕГО

ТЕМАТИКА

- ↙ оценка и анализ современного этапа освоения углеводородных ресурсов Арктического шельфа
- ↙ совершенствование законодательного и нормативного обеспечения
- ↙ прозрачность программы проведения лицензионных раундов
- ↙ совершенствование инвестиционной политики в области геологоразведки и инноваций
- ↙ развитие межотраслевых программ приоритетных направлений НИОКР
- ↙ развитие новых технологий и методов поисково-разведочных работ
- ↙ освоение нетрадиционных геолого-промышленных провинций
- ↙ геоинформационные системы и методологии создания баз данных при освоении шельфа
- ↙ совершенствование инженерной, транспортной и социальной инфраструктуры
- ↙ подготовка высококлассных специалистов
- ↙ результаты и перспективы экологического мониторинга

ОРГКОМИТЕТ

тел./ факс: (8152) 55 22 70, (8152) 55 20 05
моб.: +7 921 272 32 07
e-mail: arcticshelf@amngr.ru | web: www.arcticshelf.ru