

*Шокарев В.С., Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций, Украина,*

*Шаповал В.Г., Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций, Украина*

*Волков Д.А., Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций, Украина*

*Банах В.А., Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье, Украина*

*Шокарев А.В., Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье, Украина*

***Мониторинг напряженно-деформированного состояния зданий при устранении их сверхнормативных кренов***

***Monitoring of mode of deformation of buildings during the elimination of excessive tilts***

В процессе устранения сверхнормативных кренов зданий и сооружений могут возникать непредвиденные обстоятельства технологического, организационного характера, которые влияют на напряженно-деформированное состояние системы «основание – фундамент – верхнее строение». Поэтому при производстве таких работ необходимо иметь достоверную информацию о фактическом напряженно-деформированном состоянии объекта. Для проведения мониторинга в масштабе реального времени разработана и широко применяется автоматизированная измерительно-информационная система. Технологические средства системы включают в себя: индуктивные датчики, измерители индуктивности, блок сбора и передачи информации, линии связи. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния зданий и сооружений с использованием автоматизированной измерительно-информационной системы и программного комплекса «Ли́ра» позволяют корректировать проект при устранении сверхнормативных кренов и регулировать технологические осадки с целью снижения риска.

The unforeseen circumstances of technological, organizational character which influence on stress-strain state of the system “base-foundation-superstructure” can arise during elimination of excessive tilts of buildings and constructions. Therefore it is necessary to have trustworthy information about actual stress-strain state of object at manufacture of such works. The automated measuring –information system is developed and widely applied for carrying out of monitoring in scale of real time. Technological means of system include: inductive gauges, measuring instruments of inductance, the block of information gathering and lines of connection. Numerical modeling of stress-strain state of buildings and constructions with use of the automated measuring – information system and program complex “LIRA” allows to correct the project at elimination of excessive tilts and to control technological settlements with the purpose of risk decrease.

## ВВЕДЕНИЕ

При отклонении зданий и сооружений от вертикали в строительных конструкциях возникают дополнительные усилия. Эти усилия, как правило, ухудшают работу конструкций зданий и сооружений [1]. Если крены строительных объектов превышают предельные значения (0,004...0,006), может произойти исчерпание несущей способности зданий, сооружений или их элементов [2]. При устранении кренов зданий и сооружений имеет место противоположная картина – происходит улучшение работы их строительных конструкций [3].

Регулирование плано-высотного положения зданий осуществляется путем инженерного воздействия на подсистему «фундамент – верхнее строение» или «основание – фундамент».

Воздействие на подсистему «фундамент – верхнее строение» обычно производится путем подъема верхнего строения или домкратами, которые устанавливаются в специальные ниши в фундаментно-подвальной части здания или путем его опускания за счет активных конструктивных систем, размещенных при строительстве в цокольных несущих элементах [4]. Конструктивные системы включают в себя термопластические элементы (асфальтобетон, полимеры и т.д.) или регулирующие устройства, в которых в качестве удаляемой рабочей среды наиболее часто используется песок или вода.

Воздействие на подсистему «основание–фундамент» осуществляется путем изменения геотехнических параметров грунтов оснований или их подработкой. Для снижения физико-механических характеристик грунтов, с целью осадки фундаментов менее просевшей части здания, используются следующие технологии: регулируется замачивание (пропаривание) грунта; пригрузка основания дополнительной статической нагрузкой; пригрузка (разгрузка) основания натяжными устройствами; электроосмос и др.

Подработка грунта в основании фундаментов производится вертикально, наклонно или горизонтально относительно подошвы фундамента при этом могут использоваться следующие виды бурения: механическое, механическое с обсадкой, ударное, гидромеханическое [2].

В настоящее время устранение сверхнормативных кренов зданий и сооружений обычно выполняется на основании одного фиксированного проекта, который разрабатывается с учетом наиболее вероятностной интерпретации исходных данных (геологии, технического состояния объекта, предлагаемой технологии производства работ). Однако в процессе реализации такого проекта могут возникать непредвиденные обстоятельства технологического, организационного и другого характера, которые не возможно учесть на стадии проектирования из-за сложности решаемых задач и геотехнической непредсказуемости системы «основание-фундамент».

Сегодня в геотехнике все шире применяется метод наблюдений, который заключается в непрерывном, комплексном процессе проектирования и строительства. Метод базируется на мониторинге и анализе основных параметров системы «основание-фундамент» в режиме реального времени, что позволяет корректировать проект на любой стадии производства работ [5].

## 1. РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА

В последние годы в США, России и странах Евросоюза активно разрабатывается различные автоматизированные измерительно-информационные системы (АИИС) для мониторинга строительных объектов.

Для оценки напряженно-деформированного состояния системы «основание-фундамент» при устранении сверхнормативных кренов необходимо проводить контроль разнообразных физических величин и параметров, что приводит к необходимости иметь в составе АИИС большое количество датчиков, а значит и разные по устройству и принципу работы первичные измерительные преобразователи. Применение в строительстве такого большого количества датчиков с разным принципом работы и конструктивным выполнением снижает метрологические характеристики и эксплуатационную надежность существующих АИИС, увеличивает их стоимость, в связи с необходимостью оснащением производства большим количеством штампов, пресс-форм [6].

Индуктивность электромагнитных датчиков определяется различными физико-механическими и геометрическими параметрами материала контролируемых конструкций, например, однородностью материала, концентрацией механических напряжений, величиной механических напряжений, магнитной проницаемостью, электропроводностью, химическим составом, толщиной защитных покрытий, вибрацией конструкций и их смещением и др. Поэтому наиболее перспективным направлением для построения электромагнитных датчиков является использование физического эффекта взаимодействия электромагнитных полей индуктивных датчиков, с контролируемыми материалами и конструкциями. В этом случае реализуются известные достоинства электромагнитных датчиков: функциональная гибкость, которая позволяет обеспечивать контроль большого количества параметров; эксплуатационная надежность; возможность вариации начальным уровнем выходного электрического сигнала; прямое совмещение с функциональными электронными устройствами, что позволяет непосредственно получать информационный сигнал.

Для реализации метода наблюдения при восстановлении зданий и сооружений с сверхнормативными кренами разработана автоматизированная измерительно-информационная система, которая включает в себя: универсальные индуктивные датчики маятникового типа, индуктивные преобразователи блок сбора и передачи информации, линии связи (рис. 1) [7]. Датчики монтируются на строительном объекте и коммутируются на блок сбора информации, в котором программируется период сбора информации. В расчетное время производится опрос датчиков с последующей передачей

информации через Интернет на почтовый ящик в центр ее обработки. Данная система позволяет в точках установки датчиков контролировать относительные горизонтальные смещения конструкций с точностью до 0,001 мм, возникающих при неравномерных осадках, а также вектора их смещений.



Рис. 1. Технические средства: 1 – датчик крена; 2 – датчик раскрытия трещин; 3 – измеритель индуктивности; 4 – блок сбора и передачи информации; 5 – линия связи

В настоящее время в Украине разработан пакет нормативных документов на автоматизированные измерительно-информационные системы для мониторинга строительных конструкций [8].

## 2. МЕТОДИКА КОРРЕКТИРОВКИ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗДАНИЙ

Для принятия эффективных управленческих решений и снижения уровня риска необходима объективная информация о техническом состоянии строительного объекта в процессе устранения его сверхнормативного крена. Для этого требуется проводить серию проверочных расчетов остаточной несущей способности основных конструктивных элементов системы «фундамент – верхнее строение» с использованием результатов мониторинга кренов.

Моделирование системы «фундамент – верхнее строение», при устранении сверхнормативного крена здания, осуществляется в следующей последовательности:

1. Создается пространственная модель здания, с учетом нелинейной работы материалов конструкций, податливости стыков, одностороннего характера связей конструкций фундаментов с основанием.

2. По результатам обследования определяются дополнительные воздействия на здания за период эксплуатации, как деформационные (крены, перекосы, дефекты), так и силовые, на которые выполняется расчет модели.

3. Проверяется адекватность расчетной модели путем сопоставления результатов натуральных наблюдений и результатов расчета.

4. По данным мониторинга выполняется последовательная корректировка расчетной модели с расчетом параметров напряженно-деформированного состояния конструкций шаговым методом с моделированием деформационных воздействий перфорированного основания на здание.

5. Выполняется комплексный анализ полученных результатов с целью выявления конструкций, работающих в предельном состоянии, и осуществляется корректировка технологии производства работ, а при необходимости производится усиление строительных конструкций.

Для визуализации контролируемых в процессе устранения крена здания параметров и расчета деформаций по осям X и Y разработана компьютерная программа «Pendulum». Разработана также специальная программа к программному комплексу «Ли́ра», которая позволяет на основании зафиксированных деформаций (горизонтальных смещений, кренов) рассчитывать фактические напряжения в точке установки датчика. В процессе устранения кренов зданий принимаются необходимые технологические и управленческие решения на основании анализа напряженно-деформированного состояния элементов конструкций.

### 3. ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЯ В ПРОЦЕССЕ УСТРАНЕНИЯ ЕГО СВЕРХНОРМАТИВНОГО КРЕНА

Приведем пример оценки напряженно-деформированного состояния 9-этажного крупнопанельного здания с размерами в плане 24x12 м при устранении его крена. Конструктивная схема здания

бескаркасная. Пространственная жесткость обеспечивается несущими продольными и поперечными стенами из керамзитобетона толщиной 350...450 мм, а также железобетонными дисками перекрытиями.

В процессе эксплуатации здание подвергалось воздействию просадочных деформаций, при этом продольные и поперечные крены достигли сверхнормативных значений. В результате расчета модели здания на воздействия и нагрузки, возникшие в процессе эксплуатации, получена деформированная схема от суммарного действия внешних нагрузок и просадочных деформаций, перемещения узлов расчетной модели для каждого из загрузжений. При расчете анализировались главные напряжения в элементах здания, по которым можно судить о прочности материала конструкций. На рис. 2 представлены изменения перемещений узлов и распределения главных напряжений в элементах здания при воздействии просадочных деформаций.

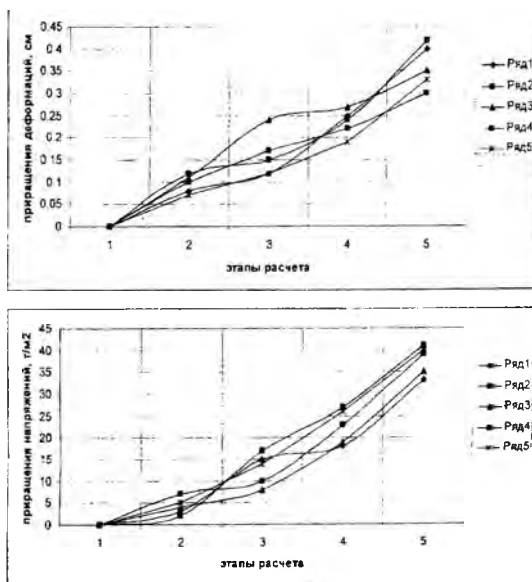


Рис. 2. Изменение перемещений узлов (а) и распределение главных напряжений (б) в элементах здания при воздействии просадочных деформаций

В элементах здания возникают напряжения, превышающие расчетные сопротивления материалов конструкций, что приводит к образованию трещин и других дефектов, которые были обнаружены при обследовании здания. Главные сжимающие напряжения достигают  $2720,1 \text{ т/м}^2$  при предельно допустимых  $1850,0 \text{ т/м}^2$ ; главные растягивающие напряжения –  $717,8 \text{ т/м}^2$  при предельно допустимых  $160,0 \text{ т/м}^2$ .

Так как здание не соответствует условиям нормальной эксплуатации из-за сверхнормативных кренов, вследствие просадочных деформаций было принято решение об его выравнивании.

Устранение крена здания осуществлялось путем выбуривания расчетного количества грунта из-под подошвы фундамента [9, 10]. Для этого вдоль фасада здания был вырыт котлован на глубину один метр ниже подошвы фундамента. Ослабление слоя основания (уплотненного лессового суглинка) осуществлялось путем бурения двух рядов горизонтальных скважин длиной до 15 метров с переменным диаметром 160...220 мм. Увлажнение стенок скважин позволило ускорить процесс развития осадок до требуемой величины. Работа по формированию неравномерных осадок продолжалась 14 дней. В продольном направлении были достигнуты неравномерные осадки здания 41...55 мм, а в поперечном направлении – 92...178 мм.

Для определения напряженно-деформированного состояния здания по остаточным деформациям и сопоставления их с величинами, определенным по данным мониторинга, необходимо выполнить расчет системы, моделирующей процесс выравнивания. Расчетная модель подвергалась деформационным воздействиям по этапам в соответствии с результатами наблюдений за поведением здания.

В процессе выравнивания здания деформационные и силовые характеристики стабилизировались, напряжения в системе достигли безопасных значений. На рис. 3 представлены изменения перемещений узлов и распределения главных напряжений в здании при его выравнивании.

В результате проведенных исследований изменения напряженно-деформированного состояния здания в процессе его выравнивания, можно сделать вывод о том, что в процессе выравнивания деформированного здания перфорацией основания и регулируемым замачиванием напряжения, возникающие в несущих элементах, не всегда снижаются и в некоторых случаях могут превышать предельно



допустимые значения для материала конструкций. Это объясняется сложной реакцией пространственной системы на внешние воздействия, неравномерным распределением жесткостей элементов в здании, наличием дефектов и зон предельных напряжений. Разработанная методика корректировки расчетных моделей позволяет контролировать параметры напряженно-деформированного состояния зданий на основании результатов мониторинга.

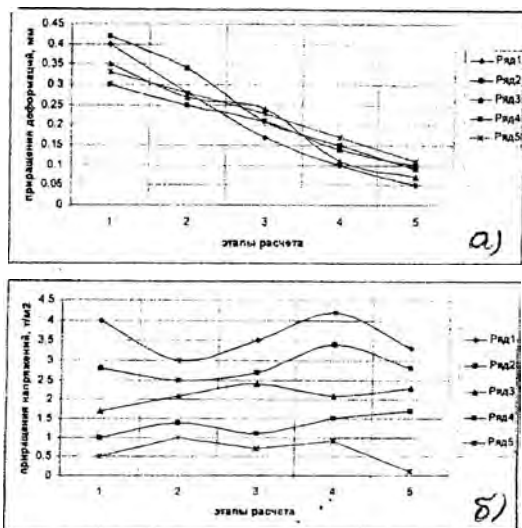


Рис. 3. Изменение перемещений узлов (а) и распределение главных напряжений (б) в элементах здания при его выравнивании

При устранении сверхнормативных кренов необходимо решать следующий комплекс задач:

1. Анализ проектной документации, обследование строительных конструкций здания, уточнение их возможных предельных состояний, создание модели информационного поля объекта, разработка интерактивного проекта устранения сверхнормативного крена строительного объекта.

2. Монтаж измерительно-информационной системы на объекте; ежедневное получение входящей информации в виде информационных сигналов; реализация технического, программного, метроло-

гического, организационного, информационного обеспечения; получение выходной информации в виде физических величин и параметров.

3. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния здания, где  $\sigma$  – напряжение;  $\varepsilon$  – относительные деформации,  $\sigma_{i=n}^{x,y} = f(\varepsilon_{i=n}^{x,y})$  с использованием программного комплекса «Лира».

4. Сопоставление физических величин и параметров с допускаемыми по нормам, проверка условий прочности, текущая корректировка информационной модели объекта.

5. Корректировка технологических осадок, например, путем изменения влажности грунта и т.д.

#### 4. ВЫВОДЫ

1. В процессе устранения сверхнормативных кренов зданий и сооружений необходимо иметь достоверную информацию о напряженно-деформированном состоянии объекта.

2. Для применения метода наблюдения на практике разработана и применяется автоматизированная измерительно-информационная система.

3. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния зданий и сооружений с использованием программного комплекса «Лира» позволяет при необходимости корректировать технологические осадки зданий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коханенко, М.П. Восстановление гражданских зданий на просадочных грунтах / М.П. Коханенко, Г.П. Поляков, В.Б. Шевалев. – М.: Стройиздат, 1999. – 184 с.

2. Maffei С.Е., Concalves Н.У.С., Pimenta Р.М., Muracami С.А. The plumbing of 2,2° inclined tall building // The first international conference of the Third Millennium: XV international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 27-31 August 2001. – Istanbul, 2001. – Vol. 3. – P. 1799–1802.

3. Jamiolkowski M.B. The leaning tower of Pisa: End of an Odyssey // The first international conference of the Third Millennium: XV international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 27-31 August 2001. – Istanbul, 2001. – Vol. 4. – P. 2979–2996.
4. Геотехнические методы защиты подрабатываемых зданий / П.И. Кривошеев [и др.] // Світ геотехніки. – 2005. – №4. – С. 26–30.
5. Осеpek D. An Observational method for designing high cutting slopes in urban areas // Geotechnical Engineering in Urban Environments: XIV European conference on soil mechanics and geotechnical engineering, 24-27 September 2007. – Madrid, 2007. – Vol.2. – P. 857–862.
6. Информационно-измерительная техника и технология / В.И. Калашников [и др.]. – М.: Высшая школа, 2002. – 454 с.
7. Патент /58/6 Україна МПК G01N27/90, G01M19/00 Електромагнітна вимірювально-інформаційна система неруйнівного контролю параметрів напружено-деформованого стану інженерних конструкцій і споруд: Пат. 75876 Україна, G01N27/90, G01M19/00 ЗВНДІБК, ЧП «Біл», Шокарев В.С., Чаплигін В.І., Мальцева Я.В. (Україна) – № 2002054241; Заява 23.09.2002, Опубл. 15.06.2006; Бюл. №6. – 2006. – 20 с.
8. Немчинов Ю.И., Хавкин А.К., Глуховский В.П., Юров А.Н., Приемский В.Д., Радищев Ю.В. Нормативное обеспечение создания автоматизированных систем технического диагностирования строительных конструкций // Світ геотехніки. - 2004. - №4. -С.19-22.
9. Патент 65455А Україна E02D35/00, E02D27/34 Спосіб вирівнювання будівель, споруд: Пат. 65455А Україна, E02L35/00, E02D27/34 Степура І.В, Шокарев В.С., Павлов А.В., Трегуб А.С., Самченко Р.В. (Україна) -№2003109485; Заява 21.10.2003, Опубл. 15.03.2004; Бюл. №3. – 2004. – 12 с.
10. Патент на корисну модель 30009 Україна МПК E02D27/34, Спосіб усунення крену будівель, споруд: Пат. 30009 Україна, E02D27/34 Шокарев В.С., (Україна) – № 200709844; Заява 03.09.2007, Опубл. 11.02.2008; Бюл. №3. – 2008. – 12 с.