

**ГАЙРАБЕКОВ ИБРАГИМ ГИЛНИЕВИЧ**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И  
СООРУЖЕНИЙ**

**Специальность: 25.00.32 – Геодезия**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени**

**доктора технических наук**

**Москва 2011**

Работа выполнена на кафедре прикладной геодезии Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК).

**Научный консультант:** доктор технических наук, профессор  
КЛЮШИН Е.Б.

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
МАЗУРОВА Е.М.  
доктор технических наук, профессор  
БАРАНОВ В.Н.  
доктор технических наук, профессор  
МАТВЕЕВ С.И.

**Ведущая организация:** Государственный специализированный  
проектный институт (ОАО ГСПИ)

Защита диссертации состоится «        » марта 2012 г. в        час. на заседании диссертационного совета Д 212.143.03 при Московском государственном университете геодезии и картографии по адресу: 105064, Москва, К-64, Гороховский пер., 4, МИИГАиК, зал заседаний Ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИИГАиК.

Автореферат разослан «        »        2011 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Климков Ю.М.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В настоящее время сформировалась тенденция роста предаварийных и аварийных ситуаций в эксплуатируемых зданиях, вызванных уплотнением городской застройки, освоением подземного пространства и другими природными и техногенными причинами. Более 3000 зданий в РФ требуют принятия неотложных мер по восстановлению их эксплуатационной надежности, в том числе здания, получившие повреждения в период боевых действий на территории Чеченской Республики. Жестко-пластичные здания, к которым относятся большинство из возводимых (объемно-блочные, крупноблочные и крупнопанельные здания), при развитии неравномерных осадок способны выравнять такие осадки в результате перераспределения давлений по подошве фундаментов, вследствие чего в несущих и ограждающих конструкциях здания появляются дополнительные усилия и деформации, которые не выявляются по результатам определения фактических осадок и обобщенных величин кренов (имевших место с момента организации наблюдений), выполненных согласно действующим нормативным документам. В результате становится невозможным достоверно отразить техническое состояние здания и составить качественный проект по ее инженерной защите.

Работы по диагностике технического состояния и восстановлению эксплуатационной надежности здания могут выполняться и в условиях активно развивающихся интенсивных деформационных процессов, что требует проведения экспресс-диагностики деформированного состояния здания, в том числе и в условиях отсутствия прямой видимости, связанной с тесной застройкой, и в любое время суток. Для решения такой задачи при условии достижения соответствующей точности измерений представляется перспективным использовать спутниковые технологии. Если вопрос точного определения плановых координат  $X$  и  $Y$  не вызывает сомнений, то определение высотного положения точек требует проведения специальных исследований.

Диагностика технического состояния здания предполагает также и оперативное определение деформаций здания на основе результатов одного цикла геодезических измерений, что приводит к необходимости фильтрации монтажных ошибок.

Остаются не решенными и вопросы достоверного и детального определения напряженно-деформированного состояния уникальных объектов.

Восстановление эксплуатационной надежности зданий является комплексной проблемой, связанной с кругом самых разнообразных не до конца решенных задач, важнейшей из которых является геодезическое обеспечение процесса восстановления, позволяющее определять полное и достоверное деформированное состояние здания в целом, так и отдельных конструкций, тем самым предотвращать возникновение зон сверхнормативных деформаций. Это относится и к геодезическому обеспечению восстановления наиболее управляемым и точным методом - гидравлической системой с плоскими домкратами, с использованием которой за последние 15 лет проведено выравнивание более 70 зданий и сооружений в России, Казахстане, Грузии, Украине и в Польше.

Таким образом, разработка технологии геодезического обеспечения инженерной защиты зданий и сооружений путем оперативного детального определения реальных деформационных характеристик при оценке их технического состояния и оперативного контроля геометрии по комплексу деформационных характеристик при реконструкции зданий и сооружений методом подъема и выравнивания является своевременной и актуальной проблемой, решение которой повышает роль геодезического обслуживания инженерной защиты зданий и сооружений.

**Цель выполненных исследований состояла** в разработке технологии геодезического обеспечения инженерной защиты зданий.

**Задачи исследований:**

- разработка геодезической технологии диагностики технического состояния зданий и сооружений;
- обоснование методики спутникового нивелирования при геодезическом обеспечении инженерной защиты зданий и сооружений;
- разработка технологии геодезического обеспечения подъема и выравнивания зданий и сооружений.

**Основные научные положения, выносимые на защиту:**

- геодезическая технология диагностики технического состояния деформированных зданий и сооружений;

- метод фильтрации монтажных ошибок при определении деформированное состояния здания по одному циклу измерений;
- метод моделирования устойчивости исходной геодезической высотной основы и метод оценки точности параметров модели;
- обоснование методики спутникового нивелирования при геодезической диагностике технического состояния зданий и сооружений и геодезическом обеспечении подъема и выравнивания таких объектов;
- метод определения аномальных деформированных зон горизонтально и вертикально-ориентированных частей здания;
- технология геодезического обеспечения подъема и выравнивания здания;
- способы определения составляющих частных кренов при проектировании мероприятий по подъему и выравниванию зданий и сооружений;
- метод геодезической диагностики деформированного состояния защитной оболочки реактора АЭС при ее испытании;
- технические решения по подъему и выравниванию зданий.

**Новизна научных результатов заключается в следующем:**

- разработанная геодезическая технология диагностики технического состояния зданий и сооружений отличается тем, что обоснована необходимость определения дополнительных деформационных параметров, позволяющих более полно характеризовать деформированное состояние здания и сооружения в целом и отдельных их конструкций;

- разработанный метод фильтрации монтажных ошибок из результатов измерений позволяет проводить оперативную оценку деформированного состояния здания и сооружений, в том числе и по данным одного цикла геодезических измерений;

- разработанная математическая модель устойчивости исходной геодезической высотной основы и метод оценки точности параметров модели более приспособлены к компьютерному анализу устойчивости реперов исходной основы;

- разработанные способы определения составляющих частных кренов здания позволяют определить величины частных кренов, характеризующих наклон, скручивание и иные деформации здания;

– разработанная технология геодезического обеспечения подъема и выравнивания зданий и сооружений позволяет проводить полный контроль над изменением деформированного состояния и предотвратить возникновение дополнительных деформаций и разрушений в процессе подъема и выравнивания зданий и сооружений, в том числе и в случаях задавливания фундаментов;

– разработанные технические решения по подъему и выравниванию способствуют расширению диапазона работы системы и уменьшению времени подъема и выравнивания зданий и сооружений;

– обоснована методика спутникового нивелирования при геодезической диагностике технического состояния и геодезическом сопровождении инженерной защиты зданий и сооружений в условиях ограниченной возможности использования метода электронной тахеометрии;

– разработанный метод определения аномальных деформированных зон горизонтально и вертикально-ориентированных частей здания и сооружения позволяет выделить наиболее опасные участки их конструкций, что учитывается при проектировании мероприятий по подъему и выравниванию и тем самым исключается возможность образования дополнительных деформаций, трещин и разломов в таких зонах в процессе выравнивания;

– метод геодезической диагностики деформированного состояния гермооболочки (ГО) реакторного отделения АЭС при ее испытании позволяет получить более полную информацию о деформациях ГО по сравнению с регламентированным методом определения деформаций контрольно-измерительной аппаратурой, состоящей из струнных датчиков, встроенных в тело ГО.

**Научная значимость работы** заключается в том, что выполненные разработки обеспечивают развитие геодезических методов диагностики технического состояния здания и геодезического сопровождения реализации мероприятий по восстановлению формы и пространственного положения деформированных объектов с использованием новейших средств измерений.

**Достоверность научных результатов, выводов и рекомендаций** подтверждается экспериментальными исследованиями, проведением расчетов с использованием методов теории погрешностей измерений и математической статистики.

Основные положения диссертации опубликованы в открытой печати, обсуждались и были одобрены на международных, всероссийских, региональных и межвузовских конференциях и симпозиумах. Все основные положения диссертации прошли широкую проверку в производстве и были опробованы при подъеме и выравнивания зданий и в настоящее время являются неотъемлемой частью общей технологии инженерной защиты зданий и сооружений.

**Практическое значение работы** состоит в возможности проводить оперативную геодезическую экспресс-диагностику технического состояния зданий, проектировать мероприятия по восстановлению эксплуатационной надежности, обеспечить геодезический контроль процесса подъема и выравнивания без дополнительных напряжений и деформаций всех конструкций зданий, обеспечить безопасность при подъеме и выравнивании зданий и сооружений.

**Личный вклад автора.** Соискателем разработаны:

- геодезическая технология диагностики технического состояния зданий;
- методы моделирования устойчивости исходной геодезической высотной основы и метод оценки точности коэффициентов модели, создаваемой при геодезическом обеспечении инженерной защиты зданий;
- метод фильтрации монтажных ошибок из результатов определения деформационных характеристик здания;
- способ выявления аномальных напряженно-деформированных участков вертикально и горизонтально-ориентированных конструкций зданий и сооружений;
- обоснование методики спутникового нивелирования при геодезической диагностике технического состояния и геодезическом обеспечении восстановления эксплуатационной надежности зданий и сооружений;
- способы определения составляющих кренов, характеризующих наклон, скручивание и иные деформации здания;
- метод проектирования вертикальных перемещений точек фундаментов с учетом их задавливания;
- метод повышения диапазона работы системы подъема и выравнивания здания и уменьшения времени выравнивания зданий и метод непрерывного подъема зданий;

– технология геодезического обеспечения подъема и выравнивания здания и сооружения, позволяющая выравнивать объекты без дополнительных сверхнормативных деформаций;

– метод контроля деформированного состояния гермооболочки реакторного отделения АЭС при ее испытании.

**Внедрение результатов работы.** Разработанные методы и рекомендации прошли апробацию и внедрены для практического применения в ОАО «Интербиотех», ГУП «Стройинвестиции» ЧР, МОСГОРГЕОТРЕСТ. Результаты работы использовались при реализации Федеральных целевых программ: «Восстановление Чеченской Республики на 2002 и последующие годы» и «Социально-экономическое развитие Чеченской Республики на 2008-2011 годы». Теоретические положения диссертационной работы, результаты экспериментальных и лабораторных исследований и практического внедрения используются в учебном процессе при подготовке инженеров по специальностям «Прикладная геодезия» в Ростовском государственном строительном университете и «Экспертиза и управление недвижимостью» в Грозненском государственном нефтяном техническом университете.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы доложены на международных, всероссийских и межвузовских конференциях и симпозиумах, в том числе таких как: Всероссийская научно-практическая конференция «Наука, образование и производство» (Грозный, 2003); Региональная межвузовская научно-практическая конференция, посвященная 85-летию ГГНИ (Грозный, 2005); 1-я, 2-я, 3-я межрегиональные научно-практические конференции «Состояние и перспективы строительства и безопасной эксплуатации Волгодонской АЭС (Волгодонск, 2005, 2006, 2008); 1-я, 2-я и 3-я конференции «Союза геодезистов» Юга России (Ростов-на-Дону, 2007, 2008, 2009); Международная научно-практическая конференция «Строительство-2006» (Ростов-на-Дону, 2006); Всероссийская научно-практическая конференция «Экологическая ситуация на Северном Кавказе: проблемы и пути их разрешения» (Грозный 2007); Всероссийская научно-практическая конференция «Наука, образование и производство» (Грозный, 2008); Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 100-летию академика М.Д. Миллионщикова (Грозный, 2009); Международная научно-

практическая конференция, посвященная 90-летию Грозненского государственного нефтяного института.

**Публикации.** Материалы диссертационной работы опубликованы в 41 работе, в том числе в 12 статьях научных журналов по списку ВАК России и защищены 2 патентами.

**Структура.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка из 255 наименований, приложения, содержит 271 страницу машинописного текста.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении автор обосновывает актуальность направления исследований, сформулированы цель работы и основные результаты, выносимые на защиту.

**В первой главе** диссертации проведен анализ существующих методов определения деформированного состояний зданий и сооружений при обследовании и восстановлении их эксплуатационной надежности.

**Во второй главе** изложена разработанная автором диссертации технология диагностики технического состояния зданий и сооружений, включающая комплекс геодезических работ, состав которых определяется в зависимости от результатов предварительного обследования (формируется первоначальное представление о его техническом состоянии) и конфигурации здания. Геодезические работы по детальному обследованию здания включают в себя создание высотной опорной геодезической сети и выполнение комплекса геодезических работ по обмерам линейно-угловых как внутренних, так и габаритных параметров сооружения с использованием как традиционных методов, так и новейших геодезических технологий – электронной тахеометрии и спутниковых технологий, определение геометрических параметров, характеризующих изменение формы и перемещение здания в целом, взаимные перемещения и деформации отдельных конструкций, вызванные перераспределением нагрузок при наклоне здания и дополнительными усилиями, вызванными выравниванием надфундаментными конструкциями неравномерных осадок фундаментов (рис. 1, 2).

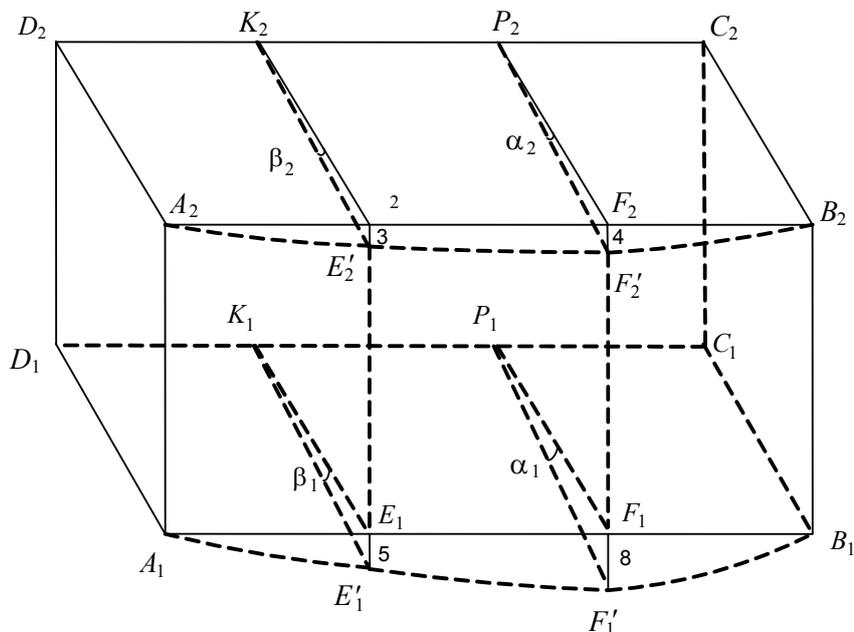


Рисунок 1. Выравнивание осадок фундаментов надфундаментными конструкциями

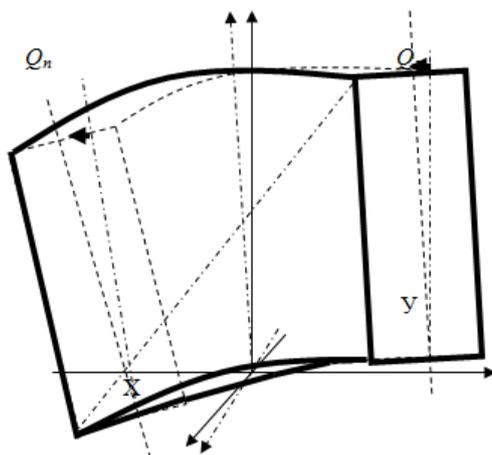


Рисунок 2. Неравномерные крены здания

Важным этапом работ при геодезической диагностике является создание стабильной высотной опорной сети, которая впоследствии служит исходной основой при проектировании и реализации работ по инженерной защите зданий. Для большей надежности и для контроля опорной сети между опорными реперами регулярно прокладывают высокоточные нивелирные хода. Так как по относительным измерениям превышений между реперами невозможно судить об абсолютной стабильности реперов, ставится дополнительное условие: количество нестабильных реперов должно быть менее половины, только в этом случае возможно выявление нестабильного репера.

К настоящему времени разработано достаточно много методов анализа устойчивости реперов, но все они обладают одним существенным недостатком: они

плохо приспособлены к компьютерному анализу. С целью устранения этого недостатка целесообразно разработать математическую модель наблюдаемого объекта.

Представим возможную осадку между опорными реперами как разность между уравненными значениями превышений  $h_i$  в цикле с номером  $i$  и превышением в нулевом цикле:

$$s_i = h_i - h_0. \quad (1)$$

Выразим осадку в виде полинома второй степени:

$$s_i = a + b(T_i - T_0) + c(T_i - T_0)^2 + \Delta_i, \quad (2)$$

где  $i = 1, 2, 3, \dots$ ;  $a, b$  и  $c$  – коэффициенты полинома;  $T_i$  – дата проведения цикла с номером  $i$ ;  $T_0$  – дата проведения нулевого цикла;  $\Delta_i$  – ошибка математической модели.

Ошибку математической модели найдем из (2):

$$\Delta_i = -a - b(T_i - T_0) + c(T_i - T_0)^2 + S_i. \quad (3)$$

Коэффициенты полинома найдем из условия:

$$F = \sum_{i=1}^n \Delta_i^2 \rightarrow \min.$$

Условие минимума (3) будет обеспечено при условии, что

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial a} = -\sum_{i=1}^n [S_i - a - b(T_i - T_0) - c(T_i - T_0)^2] = 0; \\ \frac{\partial F}{\partial b} = -\sum_{i=1}^n [S_i - a - b(T_i - T_0) - c(T_i - T_0)^2 (T_i - T_0)] = 0; \\ \frac{\partial F}{\partial c} = -\sum_{i=1}^n [S_i - a - b(T_i - T_0) - c(T_i - T_0)^2 (T_i - T_0)^2] = 0. \end{cases}$$

После соответствующих преобразований нами получена математическая модель осадок между опорными реперами (2), (4), (5) и (6).

$$c = \frac{30}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n S_i - \frac{180}{n(n-1)(n^2-4)} \sum_{i=1}^n iS_i + \frac{180}{n(n^2-1)(n^2-4)} \sum_{i=1}^n i^2 S_i; \quad (4)$$

$$b = -\frac{18}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n S_i + \frac{12(2n+1)(8n+11)}{n(n^2-1)(n^2-4)} \sum_{i=1}^n iS_i - \frac{180}{n(n-1)(n^2-4)} \sum_{i=1}^n i^2 S_i; \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{3(3n^2+3n+2)}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n S_i - \frac{18(2n+1)}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n iS_i + \frac{30}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n i^2 S_i. \quad (6)$$

Также разработан метод оценки точности параметров модели  $a, b$  и  $c$ , в результате реализации которого получены следующие формулы:

$$m_a^2 = m_s^2 \sum_{i=1}^n \left( \frac{81}{n^2} - \frac{2592i}{n^3} + \frac{23436i^2}{n^4} - \frac{43200i^3}{n^5} + \frac{22500i^4}{n^6} \right);$$

$$m_b^2 = m_s^2 \sum_{i=1}^n \left( \frac{1296}{n^4} + \frac{12096i}{n^5} + \frac{15264i^2}{n^6} - \frac{30240i^3}{n^7} + \frac{32400i^4}{n^8} \right);$$

$$m_c^2 = m_s^2 \sum_{i=1}^n \left( \frac{900}{n^6} - \frac{1080i}{n^7} + \frac{33480i^2}{n^8} - \frac{32400i^3}{n^9} + \frac{32400i^4}{n^{10}} \right).$$

После суммирования и упрощения вышеприведенных выражений получим

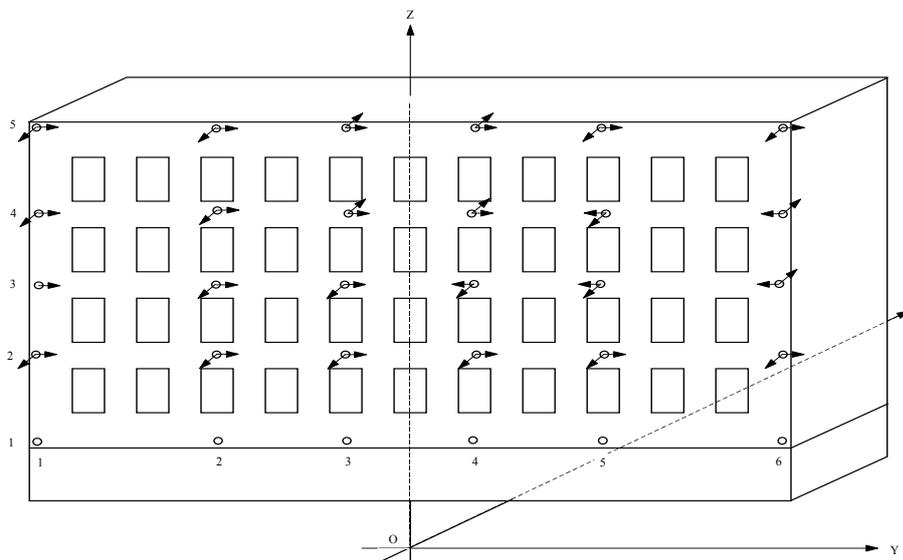
$$m_a = \frac{17,2}{\sqrt{n}} m_s; \quad m_b = \frac{106,5}{n\sqrt{n}} m_s; \quad m_c = \frac{99,5}{n^2\sqrt{n}} m_s.$$

Выполненный анализ точности показал, что для получения хорошей точности аппроксимации необходимо выполнить либо большое число циклов наблюдений (желательно более 10, что редко бывает возможным), либо существенно повысить точность определения осадок до десятых долей миллиметров.

Измерения для определения комплекса вышеназванных геометрических характеристик удобно производить электронным тахеометром. Для этого можно использовать пленочные отражатели, установленные в марках специальной конструкции (по периметру здания на заданных горизонтах) при геодезической диагностике технического состояния рассматриваемого здания (рис. 3). Частота расположения марок и число горизонтов зависят от размеров и конструктивных особенностей сооружения, а также от его технического состояния на момент наблюдений. Отражатели на стенах сооружения следует располагать как по вертикали, так и по горизонтали. При использовании безотражательного тахеометра углы фасадов можно замаркировать какими-либо графическими объектами. В результате измерений определяют координаты исследуемых точек. Далее вычисляют комплекс геометрических параметров, характеризующих:

– *внешнюю форму (габариты) или изменение внешней формы (деформации):*

$S_{cp}$  – средняя осадка;  $q_x, q_y$  – крены здания по направлению координатных осей;  $q$  – общий крен здания;  $\beta$  – угол кручения всего здания;



о - отражатели; 2 – номера рядов по вертикали и горизонтали; ↗ – направления кренов

Рисунок 3. Схема расположения точек наблюдения

– взаимные перемещение и деформации отдельных конструкций:

$\Delta S$  – неравномерные осадки фундаментов;  $h_{наб}$  – неравномерные величины подъема основания при набухании грунта;  $I_x^1, I_y^1$  – уклоны поверхности перекрытия цокольного этажа (первого уровня);  $I_x^i, I_y^i$  – уклоны поверхности перекрытия  $i$ -го уровня: межэтажных перекрытий, на уровне крыши;  $I_x^{i-1}, I_y^{i-1}$  – приращения уклонов с высотой (разность уклонов  $i$ -го и первого уровней);  $q_{j_x}, q_{j_y}$  – крены  $j$ -го ребра (вертикального сечения) (для случаев, когда относительные крены с высотой не меняются) по направлениям координатных осей; средние крены здания (вычисленные как средние значения кренов ребер и вертикальных сечений);  $q_{j_x}^i, q_{j_y}^i$  – крены  $j$ -го ребра (вертикального сечения) на  $i$ -м уровне (для случаев, когда относительные крены зависят от высоты) по направлениям координатных осей;  $q_x^i, q_y^i$  – крены здания на  $i$ -м уровне (для случаев, когда относительные крены ребер и вертикальных сечений на одном и том же уровне равны);  $q^i$  – общий крен здания на  $i$ -м уровне;  $\vartheta$  – относительные углы скручивания ребер здания;  $\varphi$  – углы скручивания стен здания;  $\nu$  – угол скручивания здания в целом;  $\alpha$  – угол взаимного кручения частей здания друг относительно друга;  $\iota$  – перекосы строительных конструкций;  $r$  – радиус кривизны изгибаемого участка;  $\varepsilon$  ( $\varepsilon\%$ ) – абсолютная (относительная) величина условного сжатия стен здания;  $\eta$  – величина раскрытия трещин (разломов);  $A$  – амплитуды.

Кроме того, определяют параметры, характеризующие жесткость и устойчивость здания – **коэффициенты устойчивости и жесткости**. Геометрические параметры представлены в табличном (табл. 1) и графическом (рис. 4) виде.

Таблица 1. Фактические геометрические характеристики сооружения

| № п/п | Координаты |       | Крены ребер |                  |             |                  |       |            | $Q_i$ | $Q_{зд}$ | $\theta_3$ | $\varepsilon_i$     | $\varepsilon_i \%$  | $\vartheta$   | $\varphi_i$     | $\alpha_i$             | $\beta_i$    |
|-------|------------|-------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------|------------|-------|----------|------------|---------------------|---------------------|---------------|-----------------|------------------------|--------------|
|       | $x$        | $y$   | $q_x$       | $\Delta q_x$     | $q_y$       | $\Delta q_y$     | $q_i$ | $\theta_i$ |       |          |            |                     |                     |               |                 |                        |              |
| 1     | $x_1$      | $y_1$ | $q_{x_1}$   | $\Delta q_{x_1}$ | $q_{y_1}$   | $\Delta q_{y_1}$ | $q_1$ | $\theta_1$ | $Q_1$ | $Q_{зд}$ | $\theta_3$ | $\varepsilon_{1-2}$ | $\varepsilon_{1-2}$ | $\vartheta_1$ | $\varphi_{1-2}$ | $\alpha_{(1-2)-(3-4)}$ | $\beta_{зд}$ |
| 2     | $x_2$      | $y_2$ | $q_{x_2}$   | $\Delta q_{x_2}$ | $q_{y_2}$   | $\Delta q_{y_2}$ | $q_2$ | $\theta_2$ | $Q_2$ |          |            | $\varepsilon_{2-3}$ | $\varepsilon_{2-3}$ | $\vartheta_2$ | $\varphi_{2-3}$ | $\alpha_{(2-3)-(4-1)}$ |              |
| 3     | $x_3$      | $y_3$ | $q_{x_3}$   | $\Delta q_{x_3}$ | $q_{y_3}$   | $\Delta q_{y_3}$ | $q_3$ | $\theta_3$ | $Q_2$ |          |            | $\varepsilon_{3-4}$ | $\varepsilon_{3-4}$ | $\vartheta_3$ | $\varphi_{3-4}$ |                        |              |
| 4     | $x_4$      | $y_4$ | $q_{x_4}$   | $\Delta q_{x_4}$ | $q_{y_4}$   | $\Delta q_{y_4}$ | $q_4$ | $\theta_4$ | $Q_2$ |          |            | $\varepsilon_{4-1}$ | $\varepsilon_{4-1}$ | $\vartheta_4$ | $\varphi_{4-1}$ |                        |              |
| Ср.   |            |       | $q_{x(ср)}$ |                  | $q_{y(ср)}$ |                  |       |            |       |          |            |                     |                     | $\varphi$     |                 |                        |              |

Наиболее информативными для характеристики напряженно-деформированного состояния являются величины амплитуд (стрел прогибов) горизонтально и вертикально ориентированных конструкций здания. Амплитуды следует определять в точке стыка (узлов) от смежных точек стыков (узлов). На рис. 5 рассматриваются амплитуды деформаций стены здания в точках 0, 1, 2...7 в плоскости  $XOZ$ . В результате деформации стены рассматриваемые точки заняли новое положение, соответственно – 1', 2'...7'. Для исключения монтажных ошибок проведена аппроксимация деформированной поверхности стены. Проецируем точки 1', 2'...7' на поверхность аппроксимации и получаем положение точек на этой поверхности 1'', 2''...7'' и определяем амплитуды в этих точках. Полученные значения амплитуд свободны от влияния монтажных ошибок и характеризуют деформированное состояние рассматриваемой стены по направлению оси  $Y$ . Значения амплитуд вычисляются для аппроксимированных поверхностей всех стен здания.

Подобным образом составляются картограммы амплитуд и для горизонтально ориентированных конструкций здания. На рис. 6 представлена картограмма амплитуд перекрытия цоколя здания, расположенного в п. Белово Кемеровской области.

На картограмме выделяют наиболее опасные, с точки зрения вероятности образования трещин, зоны, что собственно и учитывается при составлении проекта подъема и выравнивания.

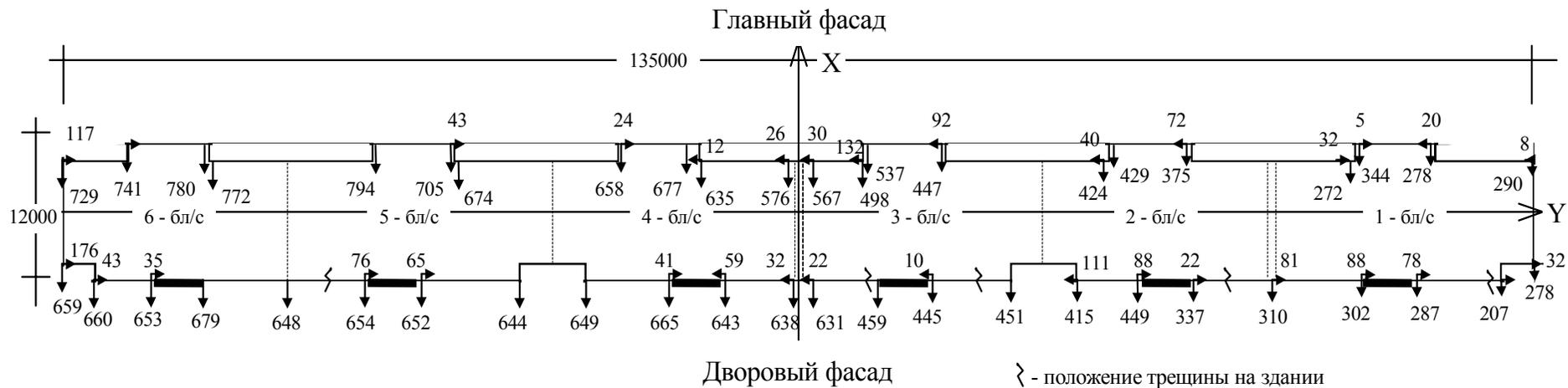


Рисунок 4. Схема направлений и величин кренов здания, расположенного в г. Белово Кемеровской области

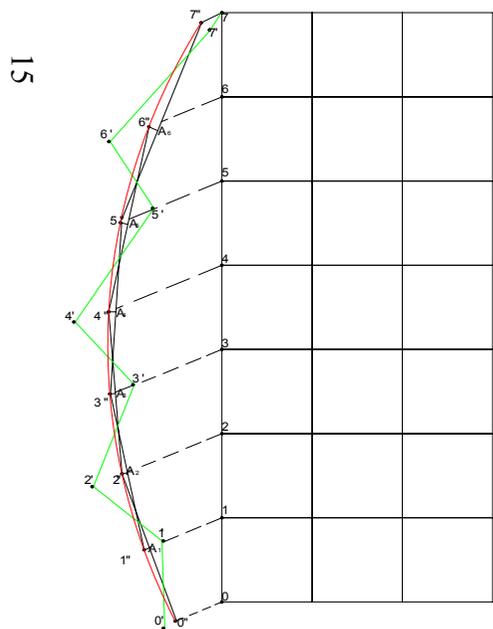


Рисунок 5. Амплитуды деформаций стены здания

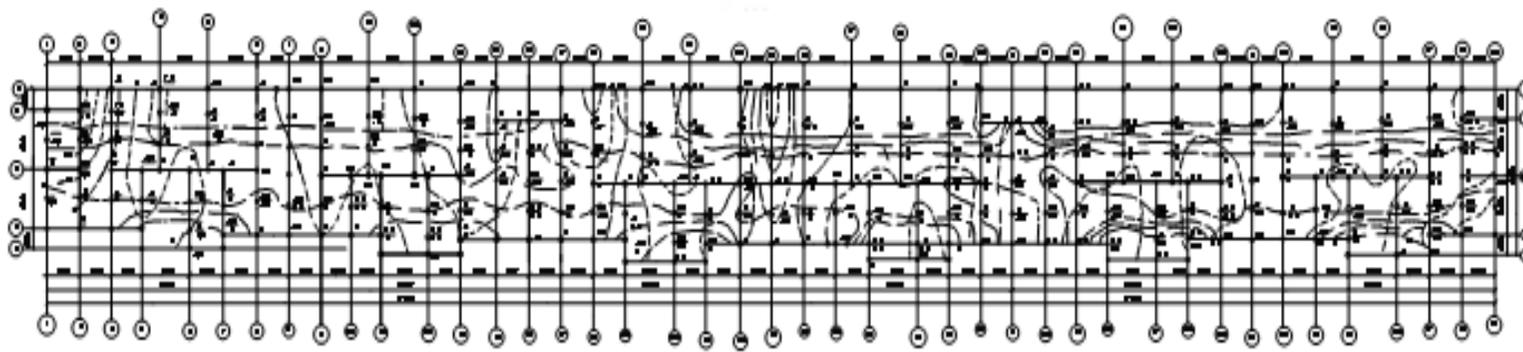


Рисунок 6. Амплитуды деформаций перекрытия цоколя

При обследовании возникает проблема определения (выявления) собственно деформационных характеристик здания или сооружения на основе результатов одного цикла измерений, так как в параметрах, характеризующих отклонение реальной геометрии (формы и размеров) здания от проектной, могут содержаться и монтажные ошибки. Монтажные ошибки являются следствием того, что устанавливаемые элементы конструкций в процессе монтажа отклоняются от проектных значений. Поскольку монтажные работы производятся при непосредственном контроле над качеством установки конструкций, то можно предполагать, что не происходит накопление этих отклонений, и можно говорить о случайном их характере. По той же причине следует предполагать, что, например, измеренные величины кренов (смещений) не коррелируют с отметками монтажных горизонтов. Для реализации данного метода был выбран объект исследований – здание, расположенное по адресу г. Ростов-на-Дону, ул. Ульяновская, 48/52. Был выполнен комплекс геодезических работ, определены искомые геометрические характеристики (частные крены; общие крены, плановые смещения, частные эксцентриситеты, общие эксцентриситеты уклонения от проектной отметки) вертикально и горизонтально ориентированных несущих конструкций (колонны, диафрагмы, лифтовые шахты, плиты перекрытий) и проведен анализ монтажных ошибок. Далее проведено исследование по определению закона распределения геометрических характеристик. Для характеристики пространственного положения колонн были определены для каждой из 36 колонн частные крены, смещения в нижнем и верхнем сечениях, разность смещений между смежными этажами и эксцентриситеты. Для визуализации кренов колонн на разных уровнях составлены схемы отклонения колонны от своей продольной оси. Результаты исследования, представленные в графическом виде, показывают, что закономерность величин распределения кренов подчиняется нормальному закону распределения (рис. 7). Таким образом, следует предполагать, что собственно выявленные величины кренов являются монтажными ошибками.

Если имеет место деформация здания (что можно предположить по результатам предварительного обследования), следует в процессе детального обследова-

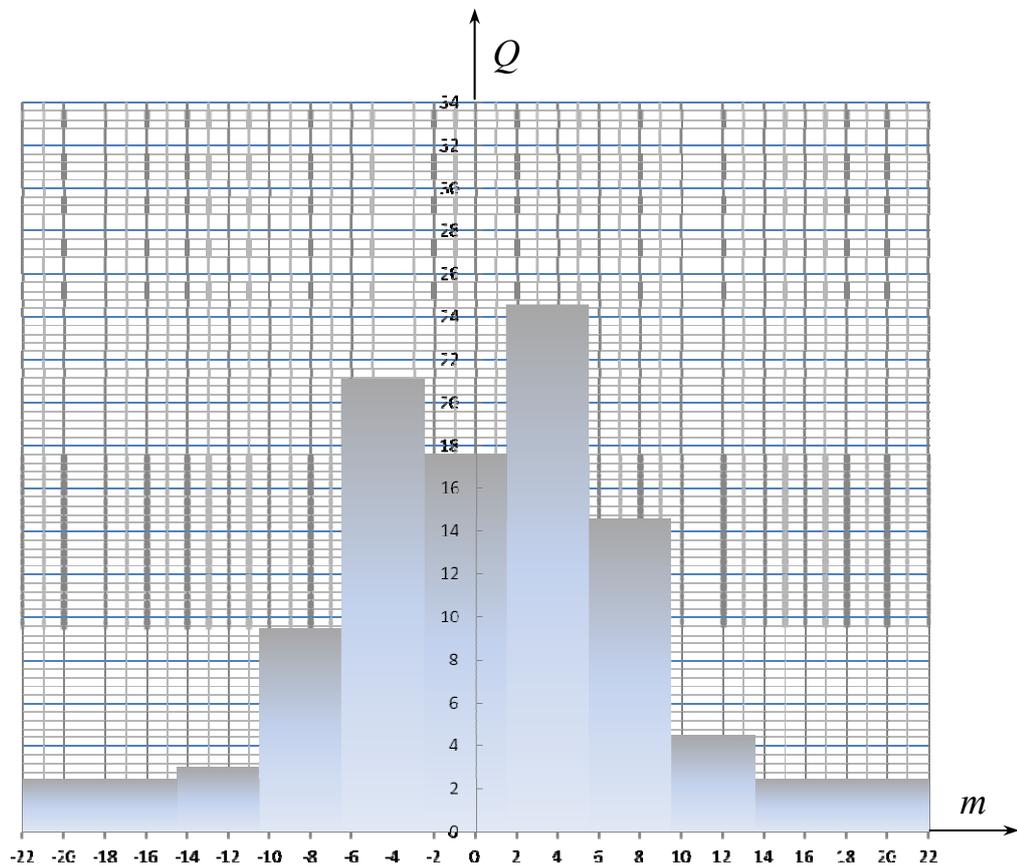


Рисунок 7. Распределение монтажных ошибок

ния исследовать зависимость между величинами кренов и отметками высот. В результате получаем уравнение регрессии

$$q_i - q_{cp} = r \frac{\sigma_q}{\sigma_H} (H_i - H_{cp}) \quad (7)$$

и находим разности между измеренными и вычисленными по формуле регрессии значениями кренов на разных уровнях. Если коэффициент корреляции равен или близок нулю, то измеренные величины крена можно принять за монтажные ошибки. В противном случае (когда коэффициент корреляции отличается от нуля), то вычисленное по уравнению регрессии значения кренов будут представлять из себя приобретенные значения кренов, а разности вычисленных и измеренных значений – монтажные ошибки. В случае если имеет место скручивание исследуемого здания, то определяют составляющую крена и угла скручивания (способы определения составляющей скручивания рассматриваются в третьей главе).

На основе выполненных геодезических работ и анализа результатов измерений определяют, к какой из четырех групп технического состояния (расчетно-эксплуатационный режим; допустимый эксплуатационный режим; предаварийное состояние; аварийное состояние) относится обследуемое здание.

Геодезическая диагностика технического состояния зданий и сооружений предполагает получение детальной информации о деформированном состоянии объектов, а именно определение значительного количества деформационных параметров и, прежде всего, кренов ребер и кренов по отдельным вертикальным сечениям. Для решения такой задачи методом электронной тахеометрии важным условием является наличие прямой видимости.

Как выше отмечалось, в случаях, требующих проведения экспресс-диагностики напряженно-деформированного состояния и геодезического сопровождения восстановления здания в сложных условиях (отсутствие прямой видимости в условиях плотной городской застройки, активно развивающихся деформационных процессов, в разное время суток и т.д.) при условии достижения соответствующей точности измерений, представляется перспективным использовать спутниковые методы измерений. Если вопрос точного определения плановых координат  $X$  и  $Y$  не вызывает сомнений, то определение высотного положения точек требует проведения специальных исследований. Так, средняя квадратическая ошибка вычисления приращений координат по результатам измерений двухчастотными спутниковыми приемниками составляет  $3 \text{ мм} + 1 \cdot 10^{-6} D$ , где  $D$  – расстояние между спутниковыми приемниками. Однако считается, что превышения между этими же пунктами определяются с меньшей точностью – со средними квадратическими ошибками 10-30 мм.

Таким образом, является актуальным исследование точности определения вертикальных смещений спутниковым нивелированием.

Автором выполнен анализ точности спутникового нивелирования, который может быть использован при геодезической диагностике и контроле геометрии выравниваемого здания, а именно при определении высот марок непосредственно на здании.

Точность спутникового нивелирования при передаче высоты на верх здания можно повысить, если горизонтальное расстояние  $S$  между точками стояния спутниковых приемников будет составлять несколько десятков метров, максимум 100-200 м (рис. 8).

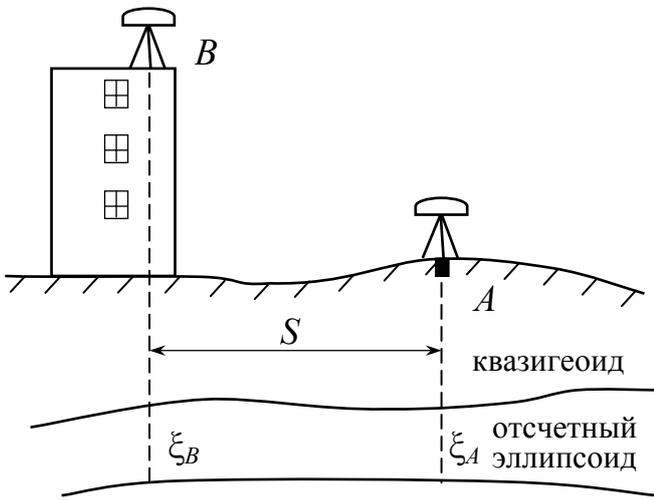


Рисунок 8. Передача высоты на здание

Величина горизонтального расстояния  $S$  зависит от наклона поверхности квазигеоида к линии горизонта в месте выполнения работ.

Геодезические и нормальные высоты связаны между собой следующими соотношениями

$$H_{\Gamma_A} = H_{H_A} + \xi_A;$$

$$H_{\Gamma_B} = H_{H_B} + \xi_B,$$

где  $H_{\Gamma_A}$  и  $H_{\Gamma_B}$  – геодезические высоты пунктов  $A$  и  $B$ ;  $H_{H_A}$  и  $H_{H_B}$  – нормальные высоты пунктов  $A$  и  $B$ ;  $\xi_A$  и  $\xi_B$  – высоты квазигеоида над отсчетным эллипсоидом в пунктах  $A$  и  $B$ .

В случае если горизонтальное расстояние между пунктами  $A$  и  $B$  небольшое, и  $\xi_A = \xi_B$ , разность геодезических высот равна разности нормальных высот

$$h_{AB} = H_{\Gamma_B} - H_{\Gamma_A} = H_{H_B} - H_{H_A},$$

и превышение  $h_{AB}$  будет зависеть только от точности вычисления разностей координат  $\Delta X_{AB}$ ,  $\Delta Y_{AB}$ ,  $\Delta Z_{AB}$  по результатам спутниковых измерений.

Оценку точности вычисления превышения для такого случая выполним, используя формулу

$$H = \sqrt{X^2 + Y^2} \cos B + Z \sin B - a \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}, \quad (8)$$

которая может быть получена из тождества

$$H \equiv (N + H_{\Gamma}) \cos^2 B + (N + H_{\Gamma}) \sin^2 B - e^2 N \sin^2 B - N(1 - e^2 \sin^2 B), \quad (9)$$

где  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  – декартовы координаты пунктов стояния спутниковых приемников;  $B$  – геодезические широты в эллипсоидальной системе координат пунктов стояния спутниковых приемников;  $a$  – большая полуось эллипсоида Красовского;  $e^2$  – первый эксцентриситет эллипсоида;  $N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}}$  – радиус кривизны первого вертикала;  $H_{\Gamma}$  – геодезические высоты пунктов стояния спутниковых приемников.

Используя формулу (8), разность высот  $h_{AB}$  представим в виде:

$$h_{AB} = H_B - H_A = \sqrt{X_B^2 + Y_B^2} \cos B_B - \sqrt{X_A^2 + Y_A^2} \cos B_A + Z_B \sin B_B - \\ - Z_A \sin B_A - a\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B_B} + a\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B_A}. \quad (10)$$

При малых расстояниях между спутниковыми приемниками для оценки точности можно принять, что  $\cos B_A = \cos B_B$ ,  $\sin B_A = \sin B_B$ , и формулу (10) можно привести к виду

$$h_{AB} = \left( \sqrt{(X_A + \Delta X)^2 + (Y_A + \Delta Y)^2} - \sqrt{X_A^2 + Y_A^2} \right) \cos B + \Delta Z \sin B, \quad (11)$$

где  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  – приращения координат между пунктами  $A$  и  $B$ .

Воспользовавшись разложением в ряд и ограничиваясь членами разложения первого порядка малости, что вполне достаточно для оценки точности, приведем (11) к следующему виду:

$$h_{AB} = \frac{X\Delta X + Y\Delta Y}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \cos B + \Delta Z \sin B. \quad (12)$$

Выполненные исследования точности спутникового нивелирования убедительно показали, что при малых расстояниях между пунктами ошибка вычисления превышения между ними практически не зависит от ошибок координат пунктов и, в основном, зависит от ошибок приращений координат, следовательно, для оценки точности, полагая, что широты пунктов практически равны, из (12) можно получить

$$dh_{AB} = \frac{Xd(\Delta X) + Yd(\Delta Y)}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \cos B + d(\Delta Z) \sin B. \quad (13)$$

Переходя от дифференциалов к конечным приращениям, а от них к средним квадратическим ошибкам, получим

$$m_{h_{AB}}^2 = \frac{X^2 m_{\Delta X}^2 + Y^2 m_{\Delta Y}^2}{X^2 + Y^2} \cos^2 B + m_{\Delta Z}^2 \sin^2 B. \quad (14)$$

Спутниковые приемники обладают равными средними квадратическими ошибками, т.е.

$$m_{\Delta X}^2 = m_{\Delta Y}^2 = m_{\Delta Z}^2 = m_{\Delta}^2,$$

и уравнение (14) предстанет в виде:

$$m_{h_{AB}}^2 = m_{\Delta}^2 \cos^2 B + m_{\Delta}^2 \sin^2 B = m_{\Delta}^2$$

или

$$m_{h_{AB}} = m_{\Delta}.$$

Современные спутниковые приемники обеспечивают среднюю квадратическую ошибку координат  $\sim 3$  мм. Такая точность вполне достаточна для решения поставленной задачи. Основным недостатком сделанного вывода заключается в том, что приращения координат  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  и  $\Delta Z$  вычисляются через одни и те же результаты измерений (фазовые циклы) и, следовательно, являются зависимыми. В научной литературе отсутствуют исследования коэффициентов корреляции между ошибками этих величин, но имеются достоверные экспериментальные исследования точности вычисленных величин – длин линий и превышений, подтверждающие достоверность выполненной оценки точности.

**В третьей главе** рассматривается разработанная автором технология геодезического сопровождения восстановления эксплуатационной надежности зданий системой плоских гидравлических домкратов (рис. 9), когда решается задача как остановки процесса деформирования здания (если имеет место процесс развития деформирования), из-за перераспределения нагрузок на основание, так и подъема и выравнивания здания. Данная технология состоит из следующих этапов.



*Рисунок 9. Система подъема и выравнивания здания*

1. Подготовительные работы: реализация геодезической диагностики технического состояния здания; проведение геодезического обследования для определения напряженно-деформированного состояния перекрытия цокольного этажа; организация геодезических наблюдений за возможным изменением формы и пространственного положения объекта до начала подъема и выравнивания здания; оценка опасности сползания здания с домкратных опор в процессе подъема по ве-

личине общего крена здания; проектирование геодезического обеспечения подъема и выравнивания здания, а именно: определение величин вертикальных перемещений домкратных точек для ликвидации кренов (уклонов) здания, планирование общей организации геодезического контроля за выравниваемым объектом.

2. Работы в процессе подъема и выравнивания здания: выполнение геодезического контроля за изменением пространственного положения и формы объекта непосредственно в процессе подъема и выравнивания; организация геодезических наблюдений (в течение определенного времени) после выравнивания здания.

Причинами кренов ребер здания могут быть как наклон здания, так и его скручивание. Возможна ситуация, когда здание может иметь значимые крены ребер, а общий крен здания будет иметь нулевое значение.

Способ определения общего крена здания простой конфигурации по среднеарифметическому значению кренов ребер (рис. 10) основан на том, что угол скручивания здания в среднем ликвидируется при его подъеме и выравнивании. Рассмотрим крен здания, в результате которого сечение  $ACBD$  второго (или любого верхнего) уровня сместилось в положение  $A^iB^iC^iD^i$ . Сначала определяем координаты геометрического центра сечения  $x_{ц}^0$  и  $y_{ц}^0$  как точку пересечения диагоналей сечения  $AC$  и  $BD$ , представляемых в виде уравнений прямых в пространстве (рис. 10).

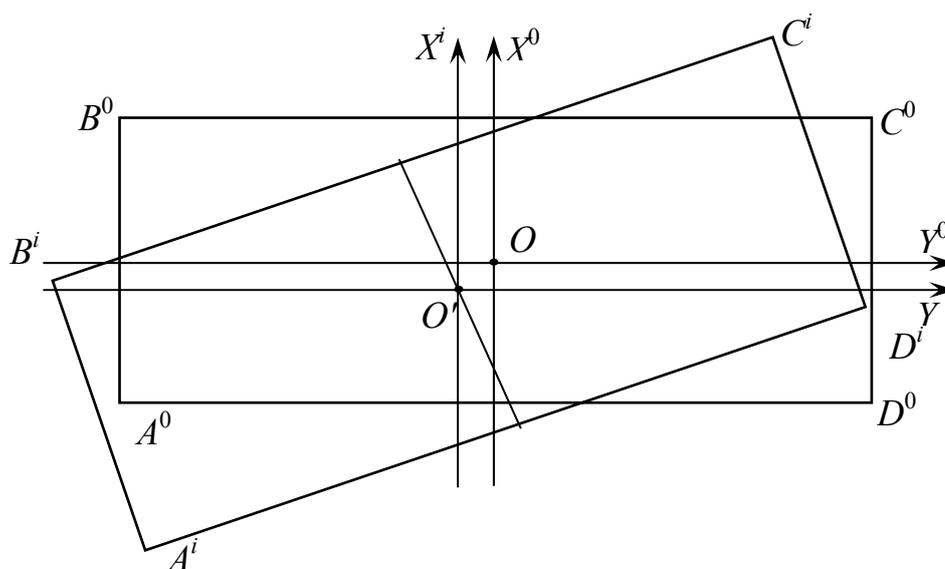


Рисунок 10. Схема определения составляющих кренов зданий простой конфигурации, вызванных его наклоном и скручиванием

Приращения  $\Delta x_{ц}^i$ ,  $\Delta y_{ц}^i$  вычисляются как разность координат центра сечений на разных уровнях

$$\Delta x_{\text{ц}}^i = x_{\text{ц}}^i - \Delta x_{\text{ц}}^{i-1}; \quad (15)$$

$$\Delta y_{\text{ц}}^i = y_{\text{ц}}^i - \Delta y_{\text{ц}}^{i-1}. \quad (16)$$

Величины приращений центра сечений можно определить и как средне-арифметическую величину приращений координат (частных кренов) ребер на рассматриваемом уровне

$$\Delta x_{\text{ц}}^i = \sum_{n=1}^n \Delta x_n^i; \quad \Delta y_{\text{ц}}^i = \sum_{n=1}^n \Delta y_n^i. \quad (17)$$

Истинные значения координат точек вершин сечений (точек ребер) вычисляются как сумма координат точек ребер нижнего уровня и приращения координат центра

$$x_{A_{\text{ист}}}^i = x_{A_{\text{ист}}}^{i-1} + \Delta x_{\text{ц}}^i; \quad (18)$$

$$y_{A_{\text{ист}}}^i = y_{A_{\text{ист}}}^{i-1} + \Delta y_{\text{ц}}^i. \quad (19)$$

Частные относительные крены ребра  $A$ , вызванные наклоном здания по осям  $X$  и  $Y$  на  $i$ -м уровне, будут равны

$$Q_{x_{A_{\text{ист}}}}^i = \frac{x_{A_{\text{ист}}}^i - x_{A_{\text{ист}}}^{i-1}}{H}; \quad Q_{y_{A_{\text{ист}}}}^i = \frac{y_{A_{\text{ист}}}^i - y_{A_{\text{ист}}}^{i-1}}{H}. \quad (20)$$

Величины приращения, полученные рассматриваемыми точками из-за скручивания здания, определяем как разность фактических и истинных значений

$$\Delta x_{A_{\text{скр}}}^i = x_{A_{\text{ф}}}^i - x_{A_{\text{ист}}}^i; \quad \Delta y_{A_{\text{скр}}}^i = y_{A_{\text{ф}}}^i - y_{A_{\text{ист}}}^i. \quad (21)$$

Соответственно, частные относительные крены ребра  $A$ , вызванные ее скручиванием на  $i$ -м уровне, будут равны

$$Q_{x_{A_{\text{скр}}}}^i = \frac{\Delta x_{A_{\text{скр}}}^i}{H}; \quad Q_{y_{A_{\text{скр}}}}^i = \frac{\Delta y_{A_{\text{скр}}}^i}{H}. \quad (22)$$

При выравнении снять скручивание не всегда удастся, поэтому ставится задача выровнять ребра на величины, равные истинным кренам без учета скручивания.

При вычислении общего крена здания сложной конфигурации, в результате которого сечение  $ACBDEF$  второго (или любого верхнего) уровня смещается в положение  $A^i B^i C^i D^i E^i F^i$ , определяется вертикальная ось здания, проходящая через его центр тяжести (рис 11 а,б) и проводятся следующие расчеты.

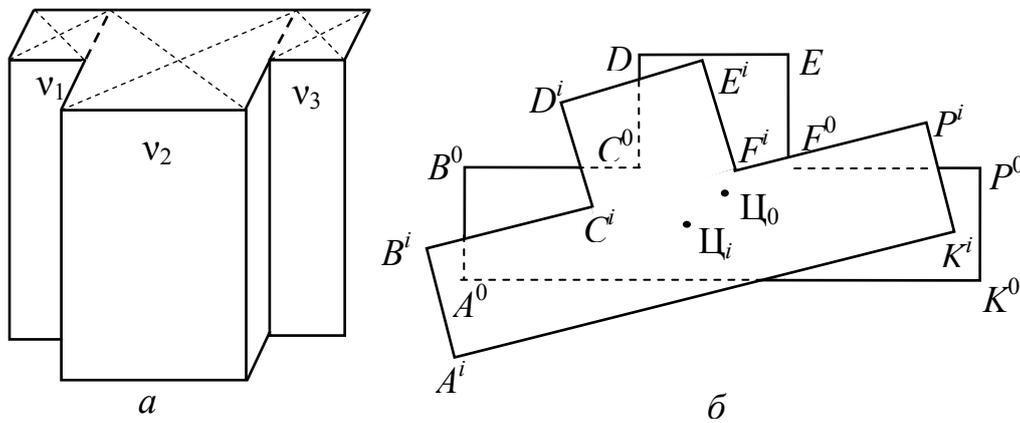


Рисунок 11. а – здание сложной конфигурации; б – наклон и скручивание здания сложной конфигурации

1. Определяем координаты центра тяжести  $x_{цт}, y_{цт}, z_{цт}$  по формулам

$$x_c = \frac{\sum_{k=1}^n U_k x_k}{\sum_{k=1}^n U_k}; \quad y_c = \frac{\sum_{k=1}^n U_k y_k}{\sum_{k=1}^n U_k}; \quad z_c = \frac{\sum_{k=1}^n U_k z_k}{\sum_{k=1}^n U_k},$$

и проводим через него отвесную линию, с которой совмещаем координатную ось  $Z$ . Вычисляем приращения координат центра для каждого уровня по формулам (15), (16). За центры сечений принимаем точки пересечения оси  $Z$  с сечениями на разных уровнях.

2. Вычисляем истинные значения координат точек  $x_{A_{ист}}^i; y_{A_{ист}}^i; x_{B_{ист}}^i; y_{B_{ист}}^i; x_{C_{ист}}^i; y_{C_{ист}}^i; x_{D_{ист}}^i; y_{D_{ист}}^i; x_{E_{ист}}^i; y_{E_{ист}}^i; x_{F_{ист}}^i; y_{F_{ист}}^i$  вершин сечений (точек ребер) (17), (18).

3. Вычисляем приращения, полученные рассматриваемыми точками из-за скручивания здания  $\Delta x_{Аскр}^i; \Delta y_{Аскр}^i; \Delta x_{Вскр}^i; \Delta y_{Вскр}^i; \Delta x_{Сскр}^i; \Delta y_{Сскр}^i; \Delta x_{Dскр}^i; \Delta y_{Dскр}^i; \Delta x_{Eскр}^i; \Delta y_{Eскр}^i; \Delta x_{Fскр}^i; \Delta y_{Fскр}^i$ , по формулам (21).

4. Вычисляем крены ребер, полученные в результате скручивания по осям  $X$  и  $Y$ , а также общий крен на  $i$ -м уровне по формулам (22).

Подобным образом проводятся вычисления и для зданий сложной конфигурации.

Рекомендуемые для устранения при выравнивании относительные крены ребер (величины скручивания стен равны между собой) можно вычислить и по углам скручивания. В случае равномерного наклона здания (без скручивания), что, как правило, свойственно жестким зданиям, угол (углы) скручивания стен не меняют своих значений, в отличие от углов скручивания ребер, которые меняют свои значения, как при скручивании здания, так и при равномерном наклоне. При отсутствии наклона здания скручивание ребра будет равно скручиванию стены и, соответственно, та часть величины угла скручивания ребра, которая превышает угол скручивания стены, характеризует именно наклон здания.

Угол скручивания стены  $\varphi_{B^1C^1}$  будет равен углу скручивания продольной оси симметрии  $\varphi_{P^1K^1}$  рассматриваемого верхнего сечения  $A^1B^1C^1D^1$  относительно нижнего  $A^0B^0C^0D^0$ , как образованный параллельными прямыми (рис. 12). Углы между продольными осями симметрии и диагоналями рассматриваемых сечений  $\gamma_{A^1}$  и  $\gamma_{A^0}$  будут между собой равны, так как являются равными прямоугольниками  $A^1B^1C^1D^1$  и  $A^0B^0C^0D^0$ . Тогда угол скручивания ребра  $A$  будет равен (для общего случая)  $\vartheta_{A^i} = \varphi_{P^iK^i} + \gamma_{A^i} - \gamma_{A^{i-1}}$ ;  $\vartheta_{A^i} = \varphi_{P^iK^i}$ , где  $i$  – номер уровня.

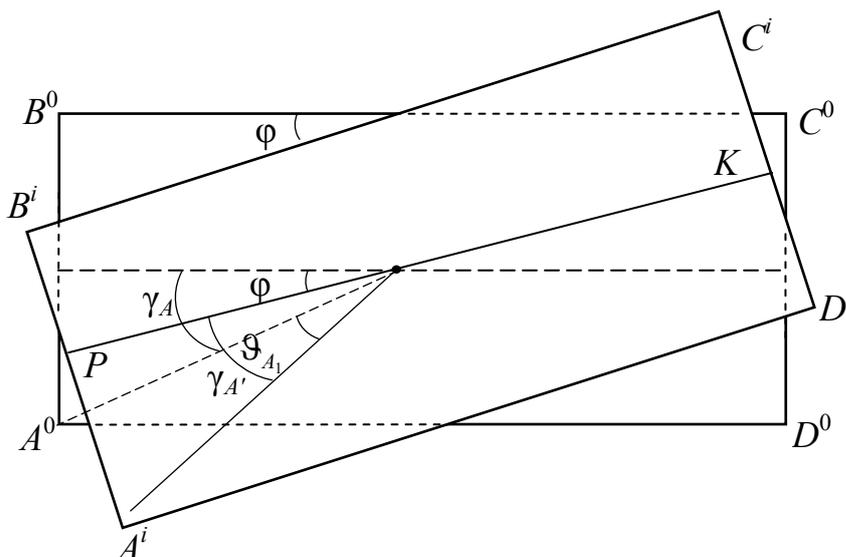


Рисунок 12. Углы скручивания ребер и стен здания

На стадии проектирования подъема и выравнивания здания рекомендуемое для ликвидации значение угла скручивания ребра будет равна составляющей собственно скручивания ребра, характеризующей наклон здания, равный разности фактически измеренного угла скручивания и скручивания продольной (поперечной) оси симметрии или стены здания

$$\vartheta_{A_n^i} = \vartheta_{A_\phi^i} - \varphi_{P^iK^i}. \quad (23)$$

Рассмотрим проектные положения горизонтальных сечений здания сложной конфигурации  $A^1B^1C^1D^1E^1F^1$  и  $A^0B^0C^0D^0E^0F^0$ . Определим по методу, изложенному выше, координаты центра тяжести и проекцию центра тяжести на сечение нижнего (нулевого уровня). Так как мы рассматриваем проектное положение верхнего сечения, то проекции центра тяжести на верхнее и нижнее сечения совпадают.

Как и в случае зданий простой конфигурации (рис. 12), верхнее сечение наносим на схему по углам скручивания стен без учета скручивания ребер. Верхняя точка ребра  $A$  получает скручивание, как в случае зданий простой конфигурации (рис. 13).

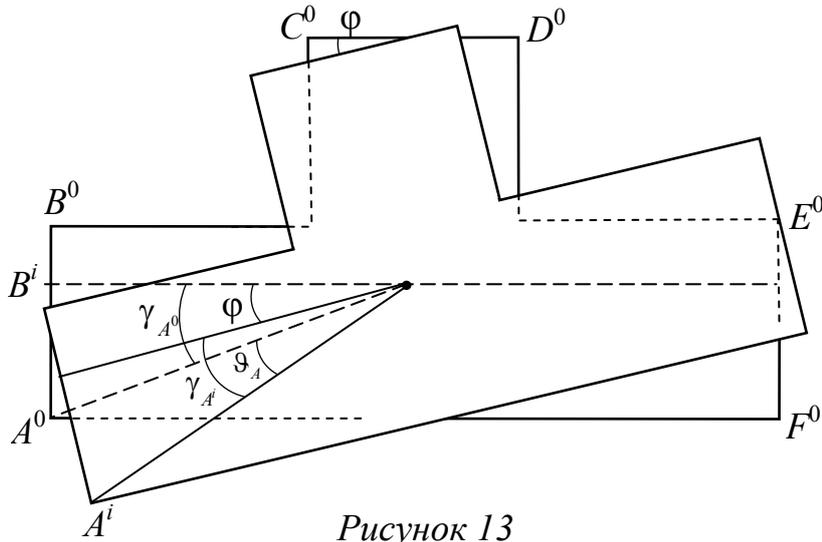


Рисунок 13

Учитывая, что  $\gamma_{A^i} = \gamma_{A^0}$  (как соответствующие углы равных треугольников  $P^0OA^0$  и  $P^1OA^1$ ), получаем выражение  $\vartheta_{A^i} = \varphi_{P^iK^i}$ .

Как и для зданий простой конфигурации рекомендуемый для устранения угол скручивания ребра будет равен разности фактического значения угла скручивания ребра и значения угла скручивания стены.

По величинам углов скручивания выводятся формулы для вычисления рекомендуемых для устранения частных кренов (приращений координат) ребер здания (рис. 14):

$$\Delta x_{A_{рек}^i} = \Delta x_{A_{ф}^i} - \Delta x_{A_{скр}^i} = \Delta x_{A_{ф}^i} - \left[ (X^2 + Y^2)^{1/2} \cos(Q \pm \vartheta_{A_{скр}^i}) - X_j \right];$$

$$\Delta y_{A_{рек}^i} = \Delta y_{A_{ф}^i} - \Delta y_{A_{скр}^i} = \Delta y_{A_{ф}^i} - \left[ (X^2 + Y^2)^{1/2} \sin(Q \pm \vartheta_{A_{скр}^i}) - Y_j \right].$$

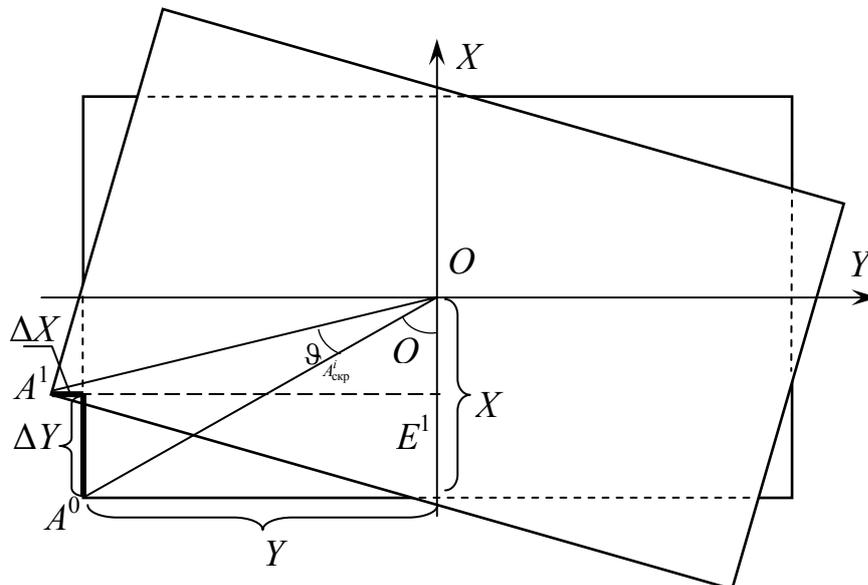


Рисунок 14. Приращения координат ребра в результате скручивания

Величины  $X$  и  $Y$  (половина длины и ширины здания) измеряются любым мерным инструментом.

Запишем эти формулы для случая, когда величины кренов одноименных ( $j$ -х) ребер на разных уровнях равны между собой:

$$q_{x_{j(\text{рек})}} = q_{x_{j(\Phi)}} - q_{x_{j(\text{скр})}} = q_{x_{j(\Phi)}} - \left[ (X^2 + Y^2)^{1/2} \cos(Q_j + \vartheta_{j(\Phi)} - \beta_{\text{зд}}) - X_j \right];$$

$$q_{y_{j(\text{рек})}} = q_{y_{j(\Phi)}} - q_{y_{j(\text{скр})}} = q_{y_{j(\Phi)}} - \left[ (X^2 + Y^2)^{1/2} \sin(Q_j + \vartheta_{j(\Phi)} - \beta_{\text{зд}}) - Y_j \right].$$

Важной составляющей технологии геодезического сопровождения подъема и выравнивания здания является разработанный автором диссертации метод определения уклонов перекрытия цоколя, в том числе и путем преобразования деформированной поверхности перекрытия цоколя в наклонную плоскость, подробно изложенный в диссертации. По результатам определенных кренов и (или) уклонов перекрытия цоколя вычисляют величины подъема в точках установки домкратных ниш. Во всех случаях осуществляется преобразование наклонной плоскости

$$z_i = q_{x_i} x_i + q_{y_i} y_i + c + f, \quad (24)$$

где  $f$  – величина плоскопараллельного подъема здания,  $z_i$  – величина подъема здания  $i$ -м домкратом;  $q_{x_i}$ ,  $q_{y_i}$  – рекомендуемые для ликвидации частные крены здания при подъеме и выравнивании;  $x_i$ ,  $y_i$  – прямоугольные координаты каждой домкратной ниши (рис. 15).

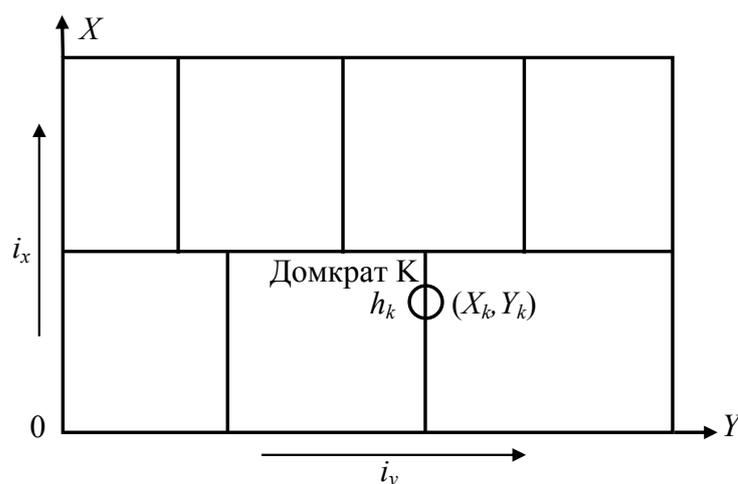


Рисунок 15. Определение величины подъема каждого домкрата

Учитывая, что максимальная величина подъема  $M$  спаренными домкратами равна 120 мм, определяют количество циклов выравнивания  $N$

$$N = \frac{\Delta z_{\max}}{M}, \quad (25)$$

Вместо кренов в формуле (24) могут рассматриваться и уклоны перекрытия цоколя (для невысоких и, как правило, для высоких зданий, относящихся к жестким, крены будут равны уклонам).

После выравнивания уравнение поверхности перекрытия цоколя будет иметь вид

$$z'_{i_k} = \left[ a - \frac{\sum_{i=1}^n \Delta M_x}{x_{\max}} \right] x_i + \left[ b - \frac{\sum_{i=1}^n \Delta M_y}{y_{\max}} \right] y_i + c + f,$$

$x_{\max}$ ,  $y_{\max}$  – по сути продольный и поперечный размеры здания (по направлению осей  $X$  и  $Y$ );  $\sum_{i=1}^n \Delta M_x$ ,  $\sum_{i=1}^n \Delta M_y$  – максимальные приращения сумм срабатываний совокупностей домкратов в домкратных нишах соответственно по направлениям осей  $X$  и  $Y$ .

Величины подъема в точках установки домкратных ниш, или, что то же самое, проектируемые величины перемещений домкратных точек в результате срабатываний совокупностей домкратов в домкратных нишах приводится к виду

$$z'_{i_d} = \frac{x_i}{x_{\max}} \sum_{i=1}^n \Delta M_x + \frac{y_i}{y_{\max}} \sum_{i=1}^n \Delta M_y + f. \quad (26)$$

Учитывая, что величины  $x_{\max}$ ,  $y_{\max}$ ,  $I_x$ ,  $I_y$  известны, а также известны соотношения

$$\frac{x_i}{x_{\max}} \sum_{i=1}^n \Delta M_x \approx I_x x_i; \quad \frac{y_i}{y_{\max}} \sum_{i=1}^n \Delta M_y \approx I_y x_i, \quad (27)$$

можно вычислить  $\sum_{i=1}^n \Delta M_x$ ,  $\sum_{i=1}^n \Delta M_y$ .

Тем самым определяется необходимое количество домкратов в каждой домкратной нише  $n$ , которую округляют в большую сторону, и размеры домкратных ниш.

Если ликвидация рекомендуемых кренов планировалось за определенные циклы подъема ( $k$  циклов)

$$Q_{x_{A(\text{рек})}}^i = \frac{\Delta x_{A(\text{рек})1ц}^i}{H_i} + \frac{\Delta x_{A(\text{рек})2ц}^i}{H_i} + \frac{\Delta x_{A(\text{рек})кц}^i}{H_i}; \quad (28)$$

$$Q_{y_{A(\text{рек})}}^i = \frac{\Delta y_{A(\text{рек})1ц}^i}{H_i} + \frac{\Delta y_{A(\text{рек})2ц}^i}{H_i} + \frac{\Delta y_{A(\text{рек})кц}^i}{H_i}; \quad (29)$$

$$Q_{\text{общ}A(\text{рек})}^i = \sqrt{\left(Q_{A(\text{рек})}^i \right)^2 + \left(Q_{A(\text{рек})}^i \right)^2}, \quad (30)$$

то, в случае задавливания грунтов основания, значения рекомендуемых кренов по

осям  $X, Y$  изменятся соответственно на величины  $\frac{\Delta x_{A(\text{рек})}^i}{H_i}$ ;  $\frac{\Delta y_{A(\text{рек})}^i}{H_i}$ , тогда

$$Q_{x_{A(\text{рек})}}^i = \frac{\Delta x_{A(\text{рек})1\text{ц}}^i}{H_i} + \frac{\Delta x_{A(\text{рек})2\text{ц}}^i}{H_i} + \frac{\Delta x_{A(\text{рек})\text{кц}}^i}{H_i} \pm \frac{\Delta x_{A(\text{рек})\text{з}}^i}{H_i}; \quad (31)$$

$$Q_{y_{A(\text{рек})}}^i = \frac{\Delta y_{A(\text{рек})1\text{ц}}^i}{H_i} + \frac{\Delta y_{A(\text{рек})2\text{ц}}^i}{H_i} + \frac{\Delta y_{A(\text{рек})\text{кц}}^i}{H_i} \pm \frac{\Delta y_{A(\text{рек})\text{з}}^i}{H_i}, \quad (32)$$

где  $\Delta x_{A(\text{рек})\text{кц}}^i$ ,  $\Delta y_{A(\text{рек})\text{кц}}^i$  – часть рекомендуемых смещений, производимых при выполнении  $k$ -го цикла выравнивания;  $\Delta x_{A(\text{рек})\text{з}}^i$ ,  $\Delta y_{A(\text{рек})\text{з}}^i$  – смещения точек ребер, вызванные задавливанием грунтов основания, и характеризующие наклон здания.

Величины смещений  $\Delta x_{A(\text{рек})\text{з}}^i$ ,  $\Delta y_{A(\text{рек})\text{з}}^i$  будут увеличиваться с увеличением высоты, то есть порядкового номера уровня  $i$ . Изменяют свои значения при задавливании фундамента и отметки точек перекрытий  $H_i$  и тем самым рекомендуемые значения вертикальных перемещений домкратных точек  $z_{0_j}$  (на  $\Delta z_{п_j}$ )

$$z_{0_j} \pm \Delta z_{п_j} = z_{п_j}, \quad (33)$$

где  $j$  – номера домкратных точек;  $z_{п_j}$  – отметки домкратных точек после задавливания грунтов основания.

Для организации геодезического контроля над изменением формы и пространственного положения выравниваемого здания используются, как и при геодезической диагностике, пленочные отражатели, установленные в марках специальной конструкции (по периметру здания на заданных горизонтах). Непосредственно управление подъемом и контроль изменения пространственного положения и формы здания удобно выполнять при помощи двух электронных тахеометров. При подъеме и выравнивании здания контролируется изменение определенного комплекса геометрических (деформационных) параметров, характеризующих в полном объеме деформированное состояние здания, которые определяются при геодезической диагностике технического состояния зданий. Если в процессе подъема и выравнивания одновременно с измерением координат характерных то-

чек брать отсчеты по часам, то, обработав полученные данные, по разности координат можно определить изменения контролируемых параметров, т. е. проследить динамику процессов, происходящих со зданием при его выравнивании. В результате локализуются и устраняются зоны сверхнормативных напряжений (путем включения или отключения соответствующих домкратов, изменения скорости подъема отдельных участков), что делает возможным выполнять выравнивание сооружений без дополнительных деформаций и разломов. Подъем и выравнивание здания по сути – это процесс обратный его деформированию, уменьшения накопленных зданием деформаций, приведения геометрических характеристик здания к их начальным, «додеформационным» значениям. Для контроля изменения напряженно-деформированного состояния сооружения в процессе подъема и выравнивания с помощью электронного тахеометра в период времени  $t_0 = 0$ , который можно принять за начало измерений, определяют координаты точек  $1, 2, 3 \dots n$ , т.е.  $x_i^{t_0}, y_i^{t_0}, z_i^{t_0}$ . При этом начальные скорости перемещения наблюдаемых точек будут соответственно равны  $v_{x_i}^{t_0} = 0; v_{y_i}^{t_0} = 0; v_{z_i}^{t_0} = 0$ . Важной задачей геодезиста на первом этапе – плоскопараллельном подъеме здания, является определение момента отрыва сооружения от поверхности фундамента (преодоления адгезии). До этого момента основание, здание и домкраты испытывают максимальные нагрузки. Именно в начале подъема здания возможна ситуация, когда домкраты будут работать не на подъем здания, а наоборот начнут «задавливать» фундамент, что невозможно выявить внутренней системой контроля, так как датчики фиксируют только относительные перемещения здания и фундамента. После преодоления момента адгезии здание переходит в режим плавающей опоры. Далее начинается второй этап выравнивания здания. По истечении определенного времени  $t_1 \neq 0$  определяем пространственные координаты точек  $1, 2, 3 \dots n$  ( $x_i^{t_1}, y_i^{t_1}, z_i^{t_1}$ ) и находим приращение координат и скорости перемещения точек за время  $t_1 \neq 0$

$$\Delta x_i^{t_1-t_0} = x_i^{t_1} - x_i^{t_0}; \Delta y_i^{t_1-t_0} = y_i^{t_1} - y_i^{t_0}; \Delta z_i^{t_1-t_0} = z_i^{t_1} - z_i^{t_0};$$

$$v_{x_i}^{t_1} = \frac{x_i^{t_1} - x_i^{t_0}}{t_1}; v_{y_i}^{t_1} = \frac{y_i^{t_1} - y_i^{t_0}}{t_1}; v_{z_i}^{t_1} = \frac{z_i^{t_1} - z_i^{t_0}}{t_1}.$$

Определяем за соответствующий промежуток времени  $\Delta t^{0-1} = t_1 - t_0$  ускорения перемещения точек  $1, 2, 3 \dots n$ ,

$$a_{x_i}^{t_1} = \frac{v^{t_1}_{x_i} - v^{t_0}_{x_i}}{\Delta t^{0-1}}; \quad a_{y_i}^{t_1} = \frac{v^{t_1}_{y_i} - v^{t_0}_{y_i}}{\Delta t^{0-1}}; \quad a_{z_i}^{t_1} = \frac{v^{t_1}_{z_i} - v^{t_0}_{z_i}}{\Delta t^{0-1}}.$$

Далее по известным значениям скоростей и ускорений вычисляют координаты наблюдаемых точек через определенный интервал времени. Таким образом, априорно устанавливаем пространственное положение наблюдаемых точек, рассчитываем комплекс вышеприведенных геометрических параметров и тем самым делаем прогноз напряженно-деформированного состояния здания, в зависимости от которого принимается решение об изменении режима выравнивания.

Такие же вычисления проводятся для следующих этапов выравнивания здания. Вновь вычисляется комплекс геометрических параметров и в зависимости от деформированного состояния здания оператор либо изменяет режим выравнивания здания путем изменения скорости домкратов, либо включением (выключением) отдельных домкратов. Такие работы проводятся до полного выравнивания здания. Аппроксимируя полученные зависимости, можно спрогнозировать «поведение» здания в следующий момент времени. Когда контролируемые геометрические параметры здания достигают рекомендуемых значений, геодезист останавливает подъем. При этом здание может быть приведено как в вертикальное положение, так и может быть наклонено в сторону противоположную существовавшему крену (т.е. зданию может быть придан контркрен) на случай возобновления процесса осадок. По контролируемым при подъеме и выравнивании здания данным строят графики зависимости кренов, величин сжатия стен, углов скручивания стен, величин подъема и других параметров от времени.

Также излагаются разработанные нами способы подъема и выравнивания здания. Один из таких способов – способ непрерывного подъема и выравнивания позволяет сократить время выравнивания здания и минимизировать время пребывания его на плавающей опоре.

Суть метода непрерывного подъема и выравнивания состоит в следующем. Определяют максимальный уклон  $I_0$  фундамента здания и его направление  $\Theta_0$  (рис. 16). Выполняют определение положения линии равновесия здания – линии, проходящей через проекцию центра тяжести здания и перпендикулярной направлению максимального уклона  $I_0$  его фундамента. Затем, сместив данную линию

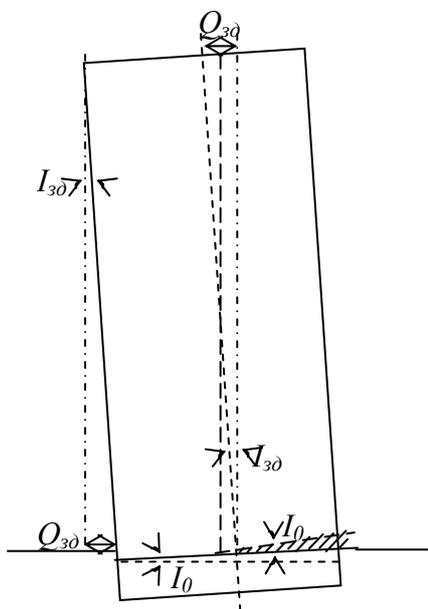


Рисунок 16. Схема здания, имеющего односторонний крен

фундаменте)  $I_0$  принимают за прямоугольную систему координат, точку их пересечения за начало отсчета. В новой системе координат определяют положение всех домкратных ниш и определяют величины подъема домкратов. Далее монтируют гидросистему, выполняют горизонтальный разрез цокольной части на уровне основания домкратных ниш. Путем наклонного разреза цокольной части здания вырезают сегмент в виде призмы, вершиной которой является линия нулевого подъема, нижняя грань призмы горизонтальна, а острый угол при вершине равен уклону  $I_0$  фундамента.

Далее включают систему домкратов по разработанной нами схеме. При этом выравнивание здания происходит за счет собственной массы самого здания, без полного отрыва здания от фундамента. В соответствии с этим предлагаемое техническое решение обеспечивает выравнивание здания при максимальном подъеме примерно в два раза меньшем, чем в известных способах, кроме того, при выравнивании здания практически отсутствует фаза пребывания всего здания на плавающей опоре.

Разработанный способ непрерывного подъема и выравнивания зданий обеспечивает подъем здания на величину, равную

$$\Delta h'_{\max} \cong \frac{L_{\max}}{2} I_0,$$

где  $\Delta h'_{\max}$  – общая величина подъема домкратной ниши максимально удаленной от линии нулевого подъема,  $L$ - длина линии максимального уклона.

В четвертой главе представлены результаты апробации предлагаемых технологий. Для исследования технического состояния двенадцатиэтажного крупнопанельного жилого здания, расположенного в п. Кудепста (район г. Сочи,

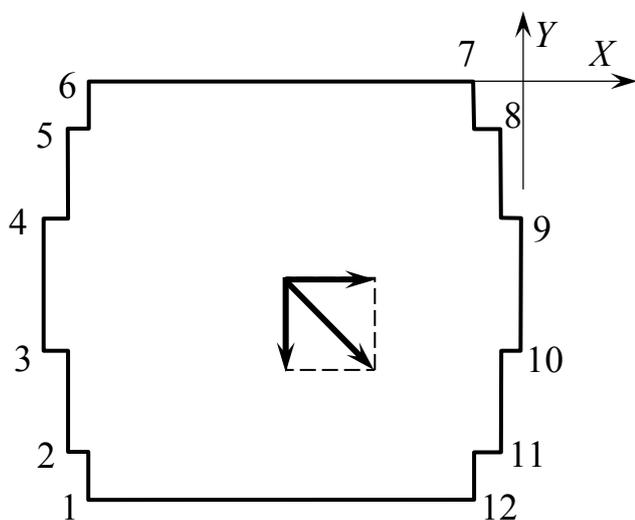


Рисунок 17. Схема блок-секции 2

ул. Искра, 19) была реализована геодезическая технология диагностики технического состояния здания простой конфигурации, конечные результаты которой представлены в виде таблиц (табл. 2-4) и графиков (рис. 17). Кроме того, в каждой блок-секции определялись крены лифтовых шахт.

На основании материалов геодезической диагностики технического состояния здания были рассчитаны параметры, необходимые для проектирования подъема и выравнивания здания: величины скручивания ребер и стен (табл. 2), поправки за скручивание ребер и величины отклонений, вызванные другими видами деформаций (табл. 3), рекомендуемые вертикальные перемещения (табл. 4).

Таблица 2. Общие геометрические характеристики блок-секции 2

| №<br>П/П | Координаты |      | Крены          |                     |                |                     |            |        | Сжатие        |                  | Углы скручивания      |                 |                                      |
|----------|------------|------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|------------|--------|---------------|------------------|-----------------------|-----------------|--------------------------------------|
|          | X, м       | Y, м | $q_{x_j}$ , мм | $q_{x_j(отн)}$ , мм | $q_{y_j}$ , мм | $q_{y_j(отн)}$ , мм | $q_j$ , мм | $Q_j$  | $\varepsilon$ | $\varepsilon \%$ | ребер $\vartheta_i^0$ | стен $\Phi_i^0$ | взаимного кручения стен $\alpha_i^0$ |
| 1        | 10,1       | 8,3  | +231           | +44                 | -180           | -7                  | 293        | 0,0081 | 120           | 0,0007           | -1,24                 | +0,01           |                                      |
| 2        | 8,4        | 8,6  | +234           | +47                 | -232           | +45                 | 330        | 0,0092 |               |                  | -1,57                 |                 | +0,10                                |
| 3        | 3,4        | 10,1 | +185           | -2                  | -136           | -51                 | 230        | 0,0064 | 60            | 0,0088           | -1,19                 | -0,14           |                                      |
| 4        | 3,4        | 10,1 |                |                     |                |                     |            |        |               |                  |                       |                 |                                      |
| 5        | 8,4        | 8,6  | -125           | -62                 | -119           | -68                 | 173        | 0,0048 |               |                  | +0,03                 |                 |                                      |
| 6        | 10,1       | 8,3  | -108           | -79                 | -211           | +24                 | 237        | 0,0066 | -27           | 0,0016           | -0,42                 | +0,11           | -0,04                                |
| 7        | 10,1       | 8,3  | -139           | -48                 | +184           | -3                  | 230        | 0,0064 |               |                  | +1,01                 |                 |                                      |
| 8        | 8,4        | 8,6  | -180           | -7                  | +201           | +14                 | 270        | 0,0075 |               |                  | +1,28                 |                 |                                      |
| 9        | 3,4        | 10,1 | -230           | +53                 | +192           | +5                  | 300        | 0,0083 | -31           | 0,0046           | +1,48                 | -0,19           |                                      |
| 10       | 3,4        | 10,1 | +199           | +12                 | +214           | +27                 | 292        | 0,0081 |               |                  | -0,63                 |                 |                                      |
| 11       | 8,4        | 8,6  | +194           | +7                  | +199           | +2                  | 278        | 0,0077 |               |                  | +0,01                 |                 |                                      |
| 12       | 10,1       | 8,3  | +233           | +45                 | +192           | +5                  | 302        | 0,0084 |               |                  | +0,63                 |                 |                                      |
|          |            |      | 187            |                     | 187            |                     | 264        | 0,0073 |               |                  | -0,05                 | -0,05           |                                      |

Таблица 3. Поправки за скручивание и иные деформации сечения по блок-секции 2

| №<br>п/п | Координаты |      | Отклонения от средних значений |                    | $\lambda_j^0$ | Величины скручивания блок-секции |                | Поправки за скручивание |                   | Отклонения, вызванные иными деформациями сечения |                    |
|----------|------------|------|--------------------------------|--------------------|---------------|----------------------------------|----------------|-------------------------|-------------------|--|--------------------|
|          | X, м       | Y, м | $q_{x_j(от)}$ , мм             | $q_{y_j(от)}$ , мм |               | $q_{x_j}$ , мм                   | $q_{y_j}$ , мм | $q_{x_j(n)}$ , мм       | $q_{y_j(n)}$ , мм | $q_{x_j(де)}$ , мм                               | $q_{y_j(де)}$ , мм |
| 1        | 10,1       | 8,3  | +50                            | 10                 | 39,41         | -5                               | +6             | +5                      | -6                | 55   | +4                 |
| 2        | 8,4        | 8,6  | +53                            | -42                | 45,67         | -5                               | +5             | +5                      | -5                | 58   | -47                |
| 5        | 8,4        | 8,6  | -56                            | 71                 | 45,67         | -5                               | -5             | +5                      | +5                | -51  | +66                |
| 6        | 10,1       | 8,3  | -73                            | -21                | 39,41         | -5                               | -6             | +5                      | +6                | -68  | -15                |
| 7        | 10,1       | 8,3  | -42                            | +6                 | 39,41         | +5                               | -6             | -5                      | +6                | -47  | 0                  |
| 8        | 8,4        | 8,6  | -1                             | -11                | 45,67         | +5                               | -5             | -5                      | +5                | -6   | -6                 |
| 11       | 8,4        | 8,6  | +13                            | -9                 | 45,67         | +5                               | +5             | -5                      | -5                | +8   | -14                |
| 12       | 10,1       | 8,3  | +52                            | -2                 | 39,41         | +5                               | +6             | -5                      | -6                | +46  | -8                 |
|          |            |      |                                |                    |               | 0                                |                | 0                       | 0                 |  |                    |

Таблица 4. Рекомендуемые вертикальные перемещения по блок-секции 2

| №<br>п/п | Координаты, мм |       | Превышения, мм |           |
|----------|----------------|-------|----------------|-----------|
|          | X              | Y     | $h_{x_i}$      | $h_{y_i}$ |
| 1        | 18300          | 20100 | 87             | 0         |
| 2        | 18600          | 18400 | 89             | 9         |
| 3        | 20050          | 13450 | 96             | 33        |
| 4        | 20050          | 6650  | 96             | 68        |
| 5        | 18600          | 1700  | 89             | 93        |
| 6        | 18300          | 0     | 87             | 101       |
| 7        | 1800           | 0     | 0              | 101       |
| 8        | 1500           | 1700  | -2             | 93        |
| 9        | 0              | 6650  | -9             | 68        |
| 10       | 0              | 13450 | -9             | 33        |
| 11       | 1500           | 18400 | -2             | 9         |
| 12       | 1800           | 20100 | 0              | 0         |

По результатам подъема были построены графики зависимости кренов и величин подъема от времени (рис. 18, 19). Здание было поднято с одним перемонтажем домкратной системы (рис. 20). При этом юго-западный угол был поднят на 16 см. В процессе подъема зданию был придан контркрен величиной 20 мм.

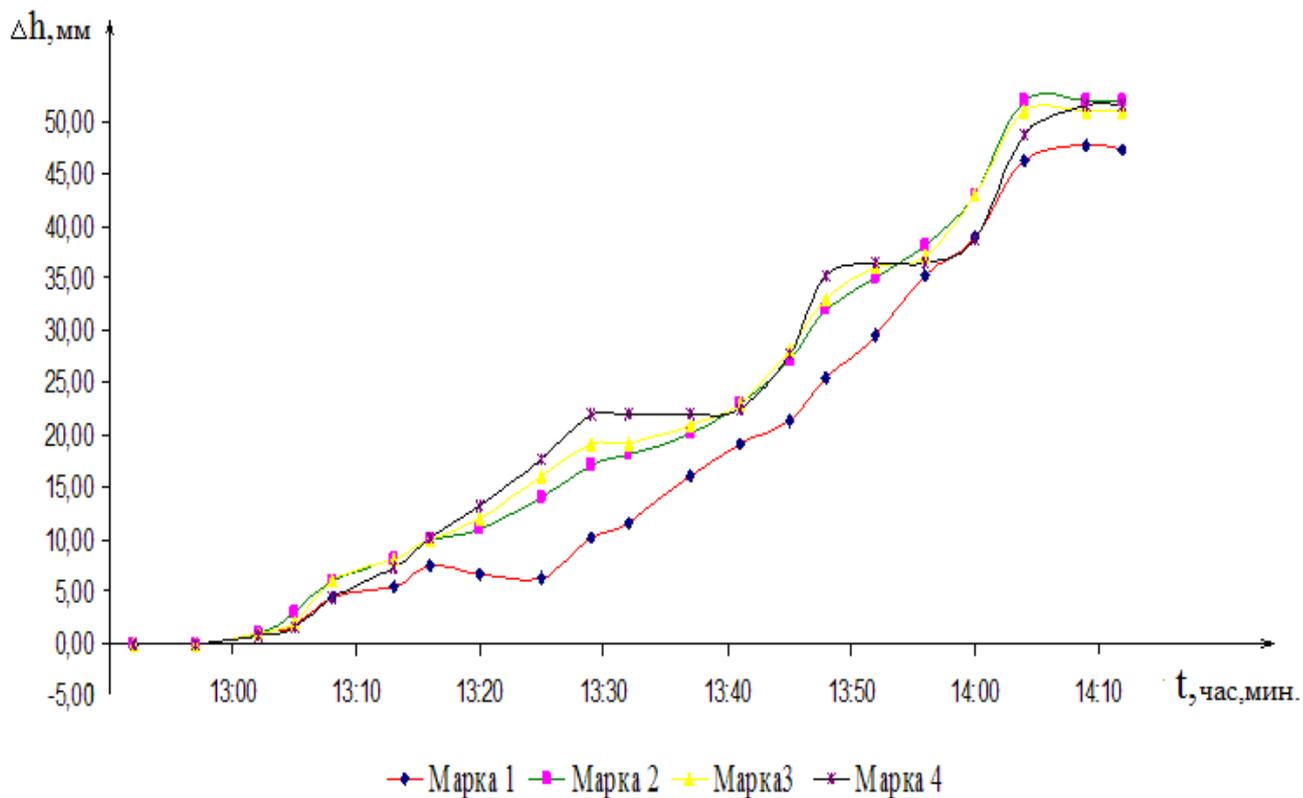


Рисунок 18. График подъема здания

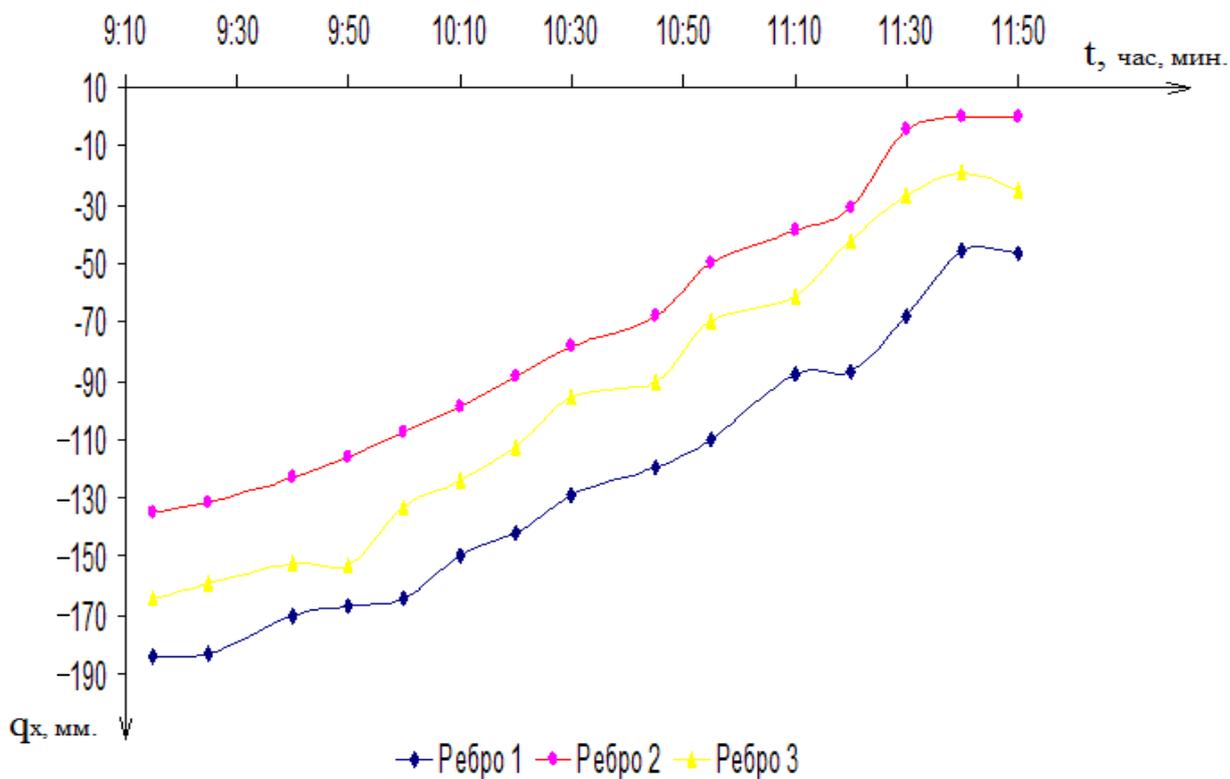


Рисунок 19. График изменения частных кренов по оси X ребер здания в процессе подъема



*а*



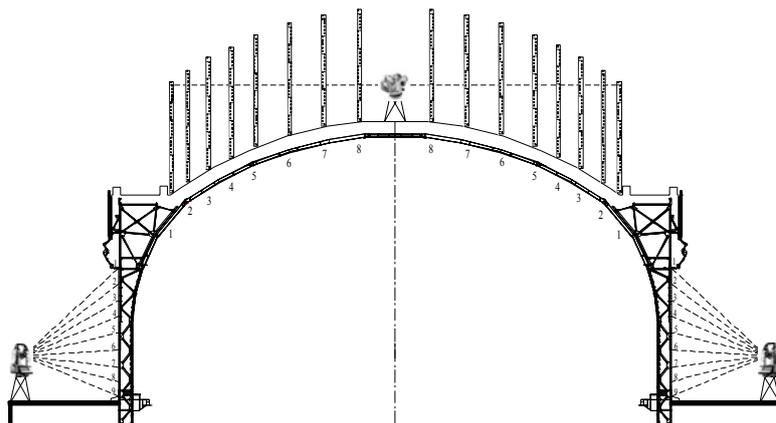
*б*

*Рисунок 20. а – линия соединения блок-секций до выравнивания;  
б – линия соединения блок-секций после выравнивания*

**В пятой главе в рамках перспектив развития геодезической технологии диагностики технического** проведены исследования возможности использования данной технологии при изучении деформации ГО первого и второго реактора Ростовской АЭС. В нормативной литературе приводятся только отдельные общие рекомендации проведения геодезических работ на этапах строительства и эксплуатации ГО. Однако на таких ответственных этапах, как преднапряжение и испытание на прочность ГО, до ввода энергоблока в эксплуатацию после завершения строительства, или при продлении срока его эксплуатации геодезические работы не предусмотрены, а измерение деформаций рекомендуется проводить контрольно-измерительной аппаратурой, состоящей из струнных датчиков, встроенных в тело ГО, с помощью которых можно определять только деформации в виде растяжения и только на участках безмоментных зон ГО, а деформации сжатия только фиксируются, а не определяются.

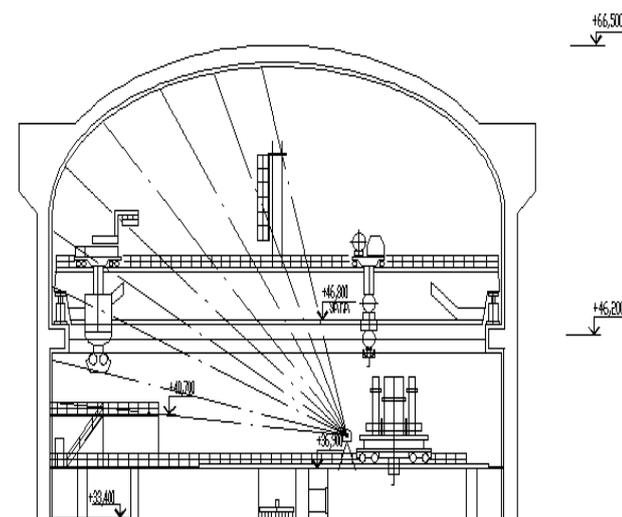
Суть геодезической диагностики напряженно-деформированного состояния ГО при его испытании состоит в следующем. Предварительно на перекрытии обстройки реакторного отделения энергоблока для контроля цилиндрической части ГО формируется плановое обоснование в виде четырехугольника, вершины которого располагались на осях ГО, и высотное обоснование (на перекрытие обстрой-

ки передается отметка строительной системы высот). С каждой точки планового обоснования наблюдаются три сечения по девять точек в каждом (рис. 21). Первые точки располагаются под опорным кольцом купола ГО, последние на горизонте примыкания ГО к обстройке реакторного отделения. С обстройки передаются оси и отметки на купольную часть ГО. Таким образом, формируется многоярусное планово-высотное геодезическое обоснование, как вне сооружения, так и внутри его в единой системе координат.



*Рисунок 21. Схема контроля исследуемых точек на цилиндрической и купольной части гермооболочки*

На внутренней части защитной оболочки (рис. 22) контролируемые точки размещали в сечениях, равномерно распределенных по внутренней поверхности.



*Рисунок 22. Определение формы внутренней части ГО*

При поэтапном контроле внешних геометрических параметров гермооболочки положение контролируемых точек, расположенных на цилиндрической части на вертикальных сечениях, определяли методом пространственной полярной засечки,

например электронным тахеометром, положение контролируемых точек определяли методом геометрического нивелирования с использованием высокоточных цифровых нивелиров. Измерения выполнялись в соответствии с этапами изменения давления внутри гермооболочки. Всего было выполнено 11 циклов измерений.

Результаты измерений цилиндрической части ГО (рис. 23) представлены в виде изменения радиуса цилиндра при изменении давления от 0,0 атм. до +4,6 атм. и от 0,0 атм. (до испытаний) до 0,0 атм. (после испытаний) в миллиметрах по трем сечениям (рис. 24).

Произведя сравнительный комплексный анализ геометрических характеристик по характерным зонам первой и второй ГО Ростовской АЭС (табл. 5), мы получили результаты, которые весьма схожие и отличающиеся на величину погрешности измерений, что свидетельствует о достоверности результатов геодезических работ.

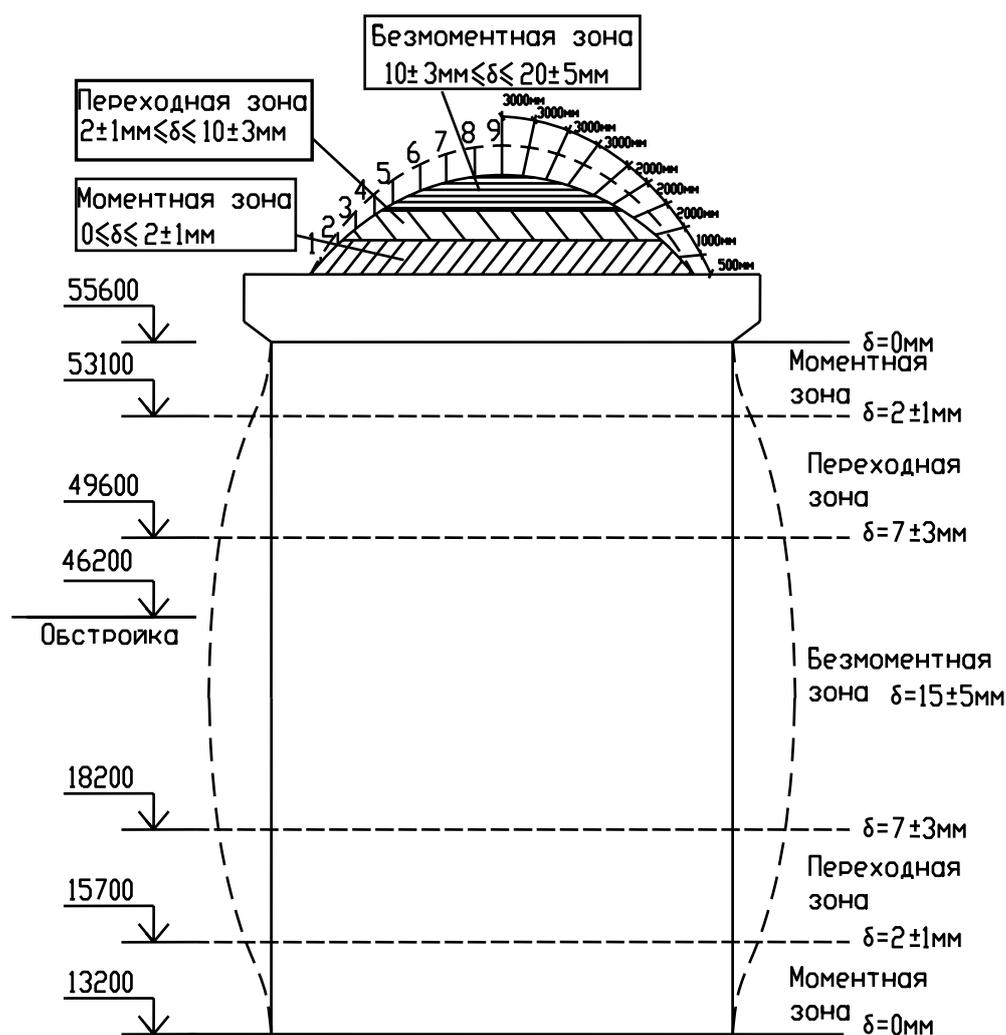


Рисунок 23. Изменение формы гермооболочки

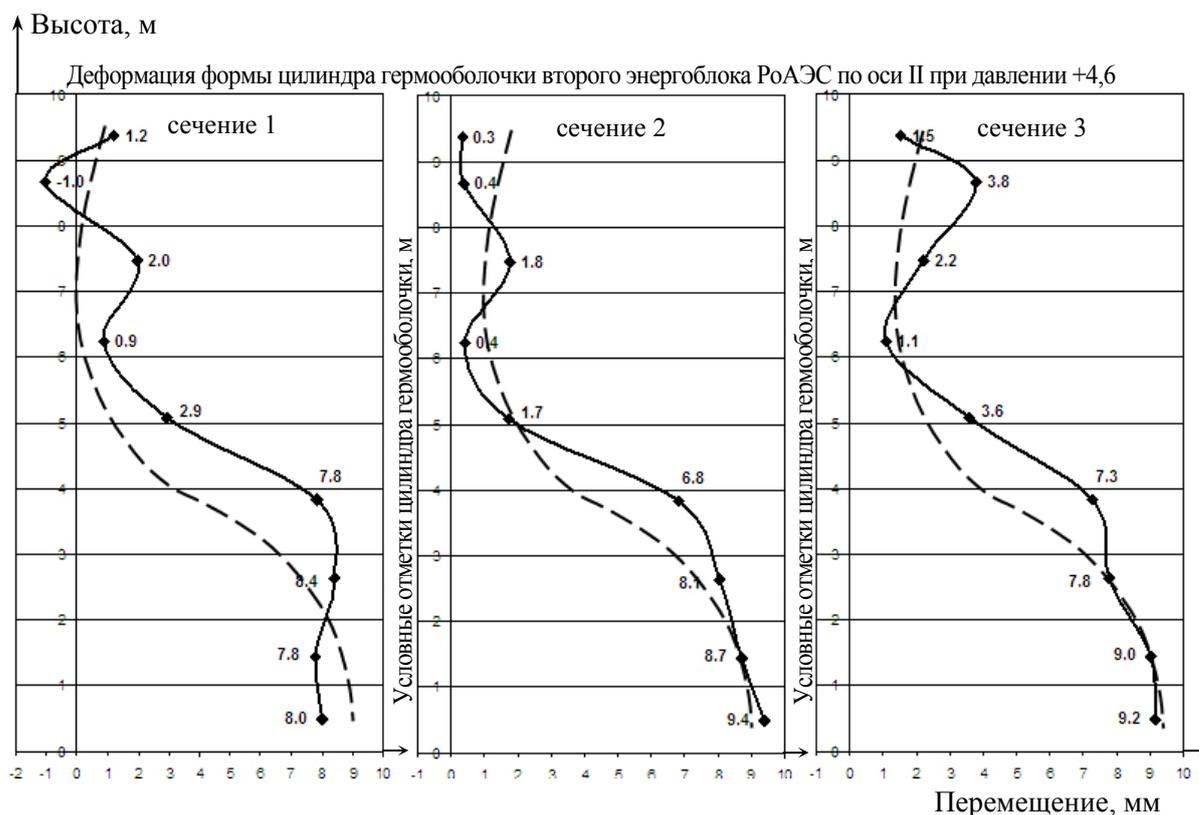


Рисунок 24. Изменение радиуса цилиндра от 0,0 атм. до +4,6 атм. в мм

Таблица 5. Перемещения опорного кольца ГО энергоблоков № 1 и № 2 при изменении давления в ГО

| Давление в ГО, атм. | Перемещение опорного кольца ГО, мм |                |
|---------------------|------------------------------------|----------------|
|                     | энергоблок № 1                     | энергоблок № 2 |
| 0,0                 | 0,0                                | 0,0            |
| 0,7                 | -2,0                               | -1,5           |
| 2,0                 | -2,5                               | -2,0           |
| 3,0                 | -4,5                               | -3,0           |
| 4,0                 | -6,0                               | -5,5           |
| 4,4                 | -8,0                               | -9,0           |
| 4,0                 | -6,0                               | -5,0           |
| 0,0                 | -4,0                               | -4,0           |

Результаты реализации предлагаемого геодезического метода, представляемые в виде графиков вертикального перемещения опорного кольца ГО, изменения формы ГО, перемещения точек девяти разноуровневных рядов купольной части ГО, изменения формы горизонтального сечения цилиндрической части оболочки, изменения радиуса цилиндрической части ГО при контроле геометрии ГО на стадии преднапряжения и эксплуатации позволяют: корректировать расчетные схемы и расчетные методики при проектировании элементов и конструкций ГО; опреде-

лить тарировочные характеристики датчиков, установленных в теле ГО на участках «безмоментных зон»; получить независимую более детальную и достоверную информацию о деформациях ГО.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Основные результаты работы заключаются в следующем.

1. Разработана геодезическая технология диагностики технического состояния здания и сооружения, позволяющая более полно и достоверно определить их деформированное состояние, отметить наиболее узкие места и указать, как ведут себя конструкции в том или ином случае. Разработанный метод фильтрации монтажных ошибок способствует решению важной задачи оперативной оценки деформированного состояния здания и сооружения, в том числе и по данным одного цикла геодезических измерений.

2. Разработаны математическая модель и метод оценки точности параметров модели устойчивости реперов исходной основы, создаваемой при геодезическом обеспечении инженерной защиты зданий. Выполнен анализ точности и доказано, что для получения высокой точности аппроксимации необходимо выполнить либо большое число циклов наблюдений (более 10), либо существенно повысить точность определения осадок до десятых долей миллиметров.

3. Разработаны способы выявления составляющих частных кренов здания, в том числе и параметров, характеризующих его скручивание, позволяющие определять составляющие частных кренов, вызванных собственно наклоном здания, что имеет важное значение при подъеме и выравнивании здания для вычисления величин вертикальных перемещений надфундаментных конструкций.

4. Разработана технология геодезического обеспечения подъема и выравнивания здания и сооружения, позволяющая составить качественный проект и проводить мероприятия по инженерной защите объекта с использованием наиболее прогрессивного метода восстановления его эксплуатационной надежности путем полного контроля его формы и пространственного положения в процессе восстановления с учетом задавливания фундаментов, что позволяет избегать возникновения дополнительных деформаций и разрушений в процессе подъема.

5. Разработаны технические решения, позволяющие повысить эффективность метода подъема и выравнивания за счет расширения диапазона работы системы подъема и выравнивания здания, уменьшения времени выравнивания зданий.

6. Выполнены теоретические исследования точности определения отметок и вертикальных перемещений исследуемого объекта спутниковыми технологиями с целью экспресс-диагностики деформированного состояния изучаемого здания для подготовки мер его инженерной защиты и непосредственного контроля формы и пространственного положения здания в процессе выравнивания, в том числе и в условиях отсутствия прямой видимости и в разное время суток.

7. В рамках перспектив развития геодезической технологии диагностики технического состояния сооружений проведены исследования процесса деформирования ГО Ростовского АЭС при преднапряжении и испытании на прочность с использованием современных электронных геодезических средств измерений. Доказана возможность получения практически значимой, независимой, более детальной и достоверной информации о деформациях ГО по сравнению с методом определения деформаций контрольно-измерительной аппаратурой, рекомендованной соответствующими нормативными документами, состоящей из струнных датчиков, встроенных в тело ГО.

Разработанные методы и рекомендации прошли апробацию и внедрены для практического применения в ОАО «Интербиотех», ГУП «Стройинвестиции» ЧР, МОСГОРГЕОТРЕСТ. Результаты работы использовались при реализации Федеральных целевых программ: «Восстановление Чеченской Республики на 2002 и последующие годы» и «Социально-экономическое развитие Чеченской Республики на 2008-2011 годы».

Теоретические положения диссертационной работы, результаты экспериментальных и лабораторных исследований и практического внедрения используются в учебном процессе при подготовке инженеров по специальностям «Прикладная геодезия» в Ростовском государственном строительном университете и «Экспертиза и управление недвижимостью» в Грозненском государственном нефтяном техническом университете.

Разработанные геодезические методы, решение геодезического обеспечения

защиты зданий и сооружений путем оперативного детального определения их реального деформированного состояния и оперативного контроля геометрии по комплексу деформационных параметров при их реконструкции методом подъема и выравнивания позволяет нам говорить о достижении цели исследований – разработки технологии геодезического обеспечения инженерной защиты зданий и сооружений.

### **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ в журналах, рекомендованных ВАК РФ**

1. Гайрабеков И.Г. Разработка способа геометрического нивелирования, учитывающего особенности нивелиров и рек с Rab-кодowymi шкалами // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. – 2010. – № 4. – С. 68 – 72.
2. Гайрабеков И.Г., Кравчук И.М. Оценка точности результатов спутникового нивелирования // Геодезия и картография. 2010. – № 1. – С. 16–22.
3. Гайрабеков И.Г. Определение деформационной поверхности, совпадающей с перекрытием цокольного этажа // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. – 2011. – № 1. – С. 84–87.
4. Гайрабеков И.Г., Пимшин Ю.И. Особенности учета сверхнормативных неравномерных кренов конструкций при подъеме и выравнивании многоэтажных зданий // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. – 2011. – № 1. – С. 88 – 92.
5. Гайрабеков И.Г., Пимшин Ю.И. Крен как одна из важных характеристик при определении деформированного состояния и восстановлении эксплуатационной надежности здания // Электронный научно-инновационный журнал «Инженерный вестник Дона». – 2010. – № 3.
6. Гайрабеков И.Г., Пимшин Ю.И. Определение устойчивости территории зон тектонических нарушений методом спутникового нивелирования // Электронный научно-инновационный журнал «Инженерный вестник Дона». – 2010. – № 3.

7. Гайрабеков И.Г., Забазнов Ю.С. Геодезическая технология определения деформаций гермооболочки // Электронный научно-инновационный журнал «Инженерный вестник Дона». –2010. –№ 4.
8. Гайрабеков И.Г., Забазнов Ю.С. Геодезический контроль геометрии выравнивания здания // Электронный научно-инновационный журнал «Инженерный вестник Дона». –2010. – № 4.
9. Гайрабеков И.Г. Способ определения деформированного состояния зданий и сооружений // Электронный научно-инновационный журнал «Инженерный вестник Дона». –2011. – № 1.
10. Гайрабеков И.Г. Особенности построения геодезических сетей для наблюдения за оседаниями земной поверхности в районе добычи нефти и газа // Электронный научно-инновационный журнал «Инженерный вестник Дона». –2011. – № 1.
11. Гайрабеков И.Г. Проектирование и геодезическое сопровождение подъема и выравнивания здания // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. –2011. – № 2. – С. 124–129.
12. Гайрабеков И.Г., Пимшин Ю.И. Геодезическое обследование технического состояния зданий// Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2011. – № 2. – С. 130–135.

### **ПАТЕНТЫ НА ИЗОБРЕТЕНИЯ**

13. Пат. 2425926, РФ. Система подъема и выравнивания зданий / Пимшин Ю.И., Зотов М.В., Гайрабеков И.Г., Заяров Ю.В., Пимшин П.Ю. – № 2010105350. Заявлено 15.02.2010; Оpubл. 10.08.2011; Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений РФ 10 августа 2011 г.
14. Пат. на изобретение 2420631, РФ. Способ непрерывного подъема и выравнивания зданий / Пимшин Ю.И., Зотов М.В., Гайрабеков И.Г., Заяров Ю.В., Пимшин П.Ю. – № 2010105356. Заявлено 15.02.2010; Оpubл. 10.06.2011; Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений РФ 10 июня 2011 г.

## **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ в других изданиях**

15. Гайрабеков И.Г., Керимов И.Г., Гайсумов М.Я. К вопросу об оседании земной поверхности на нефтяных месторождениях. – Деп. в ВИНТИ. – 1994. – № 1177–1394.
16. Гайрабеков И.Г., Сианисян С.С., Абрамова М.Е. Учет влияния рефракции при нивелировании на геодинимических полигонах // Геодезия и картография. – 1992. – № 9. – С.24–26.
17. Гайрабеков И.Г., Касьянова В.А., Абрамова М.Е. Об горизонтальных деформациях земной поверхности территории Восточного Кавказа на основе высокоточных измерений / Геотектоника – 1992. – № 6. – С 86–90.
18. А.с. 01-21 (115 заявка № 9402328525(022032)). Способ глубинного структурного картирования / Гайрабеков И.Г., Керимов И.Г., Гайсумов М.Я. – (115 заявка № 9402328525(022032)).
19. Гайрабеков И.Г., Федосеев Ю.Е. Повышение надежности геодезических измерений на разрабатываемых месторождениях нефти и газа // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 1995. – № 4. – С.16–21.
20. Гайрабеков И.Г., Керимов И.А., Гихаев В.М. Наблюдения за деформациями сооружений на территории нефтепарка «Брагуны» // Материалы научно-практической конференции, посвященной 80-летию ГГНИ. – Грозный, 2000. – С. 100–102.
21. Гайрабеков И.Г., Пимшин Ю.И. Исследования геометрии здания государственного учреждения в г. Ростов-на-Дону // Труды ГГНИ им. акад. М.Д. Миллионщикова. – Грозный, 2003. – Вып. 3. – С. 192–195.
22. Гайрабеков И.Г., Пимшин Ю.И. Геодезическая диагностика технического состояния зданий // Труды ГГНИ им. акад. М.Д. Миллионщикова. – Грозный, 2003. – Вып. 3. – С. 196–198.
23. Гайрабеков И.Г., Федосеев Ю.Е. Определение оптимальных сроков геодезических наблюдений и их периодичности // Труды ГГНИ им. акад. М.Д. Миллионщикова. – Грозный, 2003. – Вып. 3. – С. 199–202.

24. Гайрабеков И.Г. Нормирование точности измерения деформационных характеристик оснований и сооружений // Труды ГГНИ им. акад. М.Д. Миллионщикова. – Грозный, 2004. – Вып. 4. – С. 171–173.
25. Гайрабеков И.Г., Пимшин Ю.И. Определение напряженно-деформированного состояния зданий и сооружений по картограмме амплитуд отдельных поверхностей // Труды ГГНИ им. акад. М.Д. Миллионщикова. – Грозный, 2004. – Вып. 4. – С. 177–178.
26. Гайрабеков И.Г., Пимшин Ю.И. Производственное исследование методики диагностики технического состояния зданий и сооружений на основе геодезических измерений // Труды ГГНИ им. акад. М.Д. Миллионщикова. – Грозный, 2005. – Вып. 5. – С. 105–116.
27. Гайрабеков И.Г., Пимшин Ю.И. Техническая экспертиза зданий // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – Прил. к № 16. – 2006. – С. 153–162.
28. Гайрабеков И.Г., Пимшин Ю.И. Определение деформации объекта с использованием наземного лазерного сканирования // Труды ГГНИ им. акад. М.Д. Миллионщикова. – Грозный, 2006. – Вып. 6. – С. 171–177.
29. Гайрабеков И.Г., Науменко Г.А., Пимшин И.Ю., Литвинова П.Ф. Способ контроля горизонтальности // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – Спец. вып. – 2008. – С. 119–121.
30. Гайрабеков И.Г., Пимшин Ю.И., Губеладзе А.Р. Методика определения деформационных поверхностей // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – Спец. вып. – 2008. – С. 125–127.
31. Гайрабеков И.Г., Губеладзе А.Р., Пимшин И.Ю., Литвинова П.Ф. Методика эталонирования электронных дальномеров и тахеометров // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – Спец. вып. – 2008. – С. 113–116.
32. Гайрабеков И.Г., Несмашный М.В. Устройство для контроля параллельности и перпендикулярности осей элементов технологического оборудования // Труды ГГНИ им. акад. М.Д. Миллионщикова. – Грозный, 2008. – Вып. 8. – С. 119–122.

33. Гайрабеков И.Г., Пимшина Т.М., Несмашный М.В. Анализ причин, влияющих на изменение эксплуатационной надежности зданий и сооружений // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – Спец. вып. – 2009. – С. 123–125.
34. Гайрабеков И.Г., Забазнов Ю.С., Науменко Г.А. Геодезическое обеспечение испытаний защитной оболочки реакторного отделения // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – Прил. к спец. вып. – 2009. – С. 107–122.
35. Гайрабеков И.Г., Науменко Г.А., Яковлев В.В. Технология контроля расположения элементов технологического оборудования // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – Спец. вып. – 2009. – С. 120–122.
36. Гайрабеков И.Г. Особенности использования электронных нивелиров // Международный Погуошский симпозиум «Наука и высшая школа Чеченской Республики: перспективы развития межрегионального и международного научно-технического сотрудничества». – Грозный: Издательство ГУ «АН ЧР». – 2010. – С. 265–268.
37. Гайрабеков И.Г. Использование результатов спутниковых технологий измерения в инженерно-геодезических сетях // Международный Погуошский симпозиум «Наука и высшая школа Чеченской Республики: перспективы развития межрегионального и международного научно-технического сотрудничества». – Грозный: Издательство ГУ «АН ЧР». – 2010. – С. 268–271.
38. Гайрабеков И.Г., Пимшин Ю.И. Геодезические методы определения технического состояния зданий и сооружений // Материалы международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в производстве, науке и образовании», в 2-х томах. – Т. 1. – С. 151–160.
39. Гайрабеков И.Г. Оценка точности определения вертикальных смещений земной поверхности спутниковыми методами // Материалы международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в производстве, науке и образовании», в 2-х томах. – Т. 1. – С. 142–150.

40. Гайрабеков И.Г. Диагностика технического состояния зданий на основе геодезических измерений // Бюллетень союза геодезистов. – 2009. – № 2. – С. 32 – 38.
41. Малинников В.А., Ключин Е.Б., Гайрабеков И.Г. Особенности использования результатов спутниковых измерений в инженерно-геодезических сетях // Бюллетень Союза геодезистов. – 2011. – №5. – С. 40–44.