

О.С.СТЕПАНОВА, аспирантка, *ostepanova.ig@gmail.com*

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

Г.В.МАКАРОВ, д-р техн. наук, профессор, *g.v.makarov@mail.ru*

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О.Макарова, Санкт-Петербург

O.S.STEPANOVA, post-graduate student, *ostepanova.ig@gmail.com*

National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

G.V.MAKAROV, Dr. in eng. sc., professor, *g.v.makarov@mail.ru*

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint Petersburg

МЕТОДИКА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ МОРСКОГО НИКОЛЬСКОГО СОБОРА В КРОНШТАДТЕ

Рост количества объектов культурного наследия Санкт-Петербурга, нуждающихся в реставрационных работах, вызывает необходимость проведения различных исследований (геодезических наблюдений, численного моделирования) для предотвращения аварийных ситуаций.

Приведены результаты исследований деформационного процесса Морского Никольского собора в г.Кронштадте. Показана методика выделения потенциально опасных зон и организация геодезических наблюдений для предотвращения развития негативного процесса деформирования.

Ключевые слова: геодезические наблюдения, численное моделирование, объекты культурного наследия, деформации, реперы.

THE METHOD OF GEODETIC MEASUREMENT OF SAINT NICHOLAS NAVAL CATHEDRAL DEFORMATION IN THE TOWN OF KRONSTADT

Growth in the number of objects of cultural heritage of Saint Petersburg, which demand restoration work, requires various studies (geodetic observations, numerical modeling) to prevent accidents.

The results of studies of the Kronstadt Saint Nicholas Naval Cathedral deformation process are given. The method for detecting potentially dangerous areas and organization of geodetic measurement to prevent the development of negative deformation process is described.

Key words: geodetic measurement, numerical modeling, objects of cultural heritage, deformation, benchmarks.

Объекты культурного наследия, в частности архитектурные храмовые сооружения, требуют особого внимания [2]. Следует осуществлять проверку их текущего состояния, особенно при реконструкциях и реставрации. Наиболее эффективным способом реализации этой проверки является проведение геодезических наблюдений.

В зависимости от размера наблюдаемых деформаций и перемещений могут быть применены методы геометрического нивелирования, тригонометрического нивелирования, гидростатического нивелирования, фотограмметрии. Для горизонтальных перемещений используют методы створных наблюдений, отдельных направлений, три-

ангуляции, фотограмметрии, трилатерации и полигонометрии [1].

По данным Интернета, в последние годы число объектов исторического наследия, а также число реставрируемых объектов (их общее число увеличилось на 268) в Петербурге росло в геометрической прогрессии. С 2004 по 2011 г. была произведена комплексная реставрация более 3,5 тыс. объектов культурного наследия. В настоящее время восстанавливаются такие объекты культурного наследия, как церковь мученика Иулиана Тарсийского и Скорбященская церковь при бывшей общине Красного Креста (г.Пушкин), церковь Спиридона Тримифунтского (г.Ломоносов), церковь Святой Троицы (г.Петергоф), церковь Анны Кашинской (Санкт-Петербург).

В статье на примере Морского Никольского собора в г.Кронштадте (далее – Собор) будет показано планирование геодезических наблюдений и их сопоставление с результатами численного моделирования. Никольский Морской собор является памятником истории и культуры федерального значения [2].

Основой объемно-пространственного решения является принцип симметрии (здание имеет осевую симметрию продольного и поперечного направления) и пирамидального нарастания архитектурных объемов. Основой планировочного построения сооружения являются четыре массивных пилона – опоры купола.

Здание выполнено по жесткой конструктивной схеме с продольными и поперечными несущими стенами, кирпичными колоннами, куполами и перекрытиями.

Главные размеры Собора, самого высокого здания в Кронштадте, следующие: внешняя длина с крыльцами 83 м, ширина – 64 м. Сторона внутреннего центрального зала – 24 м, пролеты главных арок – 23 м. Высота до основания главного купола – 52 м, диаметр купола – 26,7 м, внешняя высота с крестом – 70,5 м.

Здание построено в 1902-1913 гг. по проекту и под наблюдением гражданского инженера В.А.Косякова. Службы в храме проводились до 1927 г. Окончательно храм

был закрыт 14 октября 1929 г. 19 декабря 2005 г. в день памяти святого Николая Чудотворца впервые за 75 лет в Соборе состоялась Божественная литургия.

В 2005 г., по свидетельству очевидцев, появились трещины в юго-восточной лестничной клетке и в галерее. В мае 2009 г. раскрытие трещин сопровождалось громким звуком. В связи с образованием трещин возникли вопросы о возможности дальнейшей безопасной эксплуатации здания, оценке возможности обрушения конструкций здания, необходимости усиления конструкций. Поэтому в 2009 г. в Соборе начали реставрацию.

Для этого был выполнен ряд различных исследований. На первом этапе были проведены геодезические наблюдения за полами первого этажа. Полы первого этажа имеют мозаичное покрытие. По всей вероятности, при строительстве достаточно тщательно выдерживалось равенство отметок полов. Имеющиеся отклонения от горизонтали могли носить случайный характер и не должны выявлять какой-либо закономерности. Полы в центральной части Собора и в боковых галереях в алтарной части имеют разные отметки. Для вычисления разностей отметок предполагалось, что точки пилон имеют приблизительно одинаковую осадку вследствие его высокой жесткости.

Результаты геодезических наблюдений показывают, что наблюдаемая система разностей отметок имеет явно выраженную закономерность. Это позволяет утверждать, что данная система разностей отметок вызвана осадками здания, а не неточностями в изготовлении полов (в последнем случае разность отметок носила бы беспорядочный характер). Относительная неравномерность осадок около юго-восточного пилон достигает 0,002. По современным нормам, такая неравномерность осадок считается предельно допустимой. Относительная неравномерность в зоне треугольного свода в примыкании к алтарной части составляет 0,0027, что превышает принятые ограничения [4].

Таким образом, по результатам геодезических измерений выявлен закономерный характер неравномерностей осадок, связан-

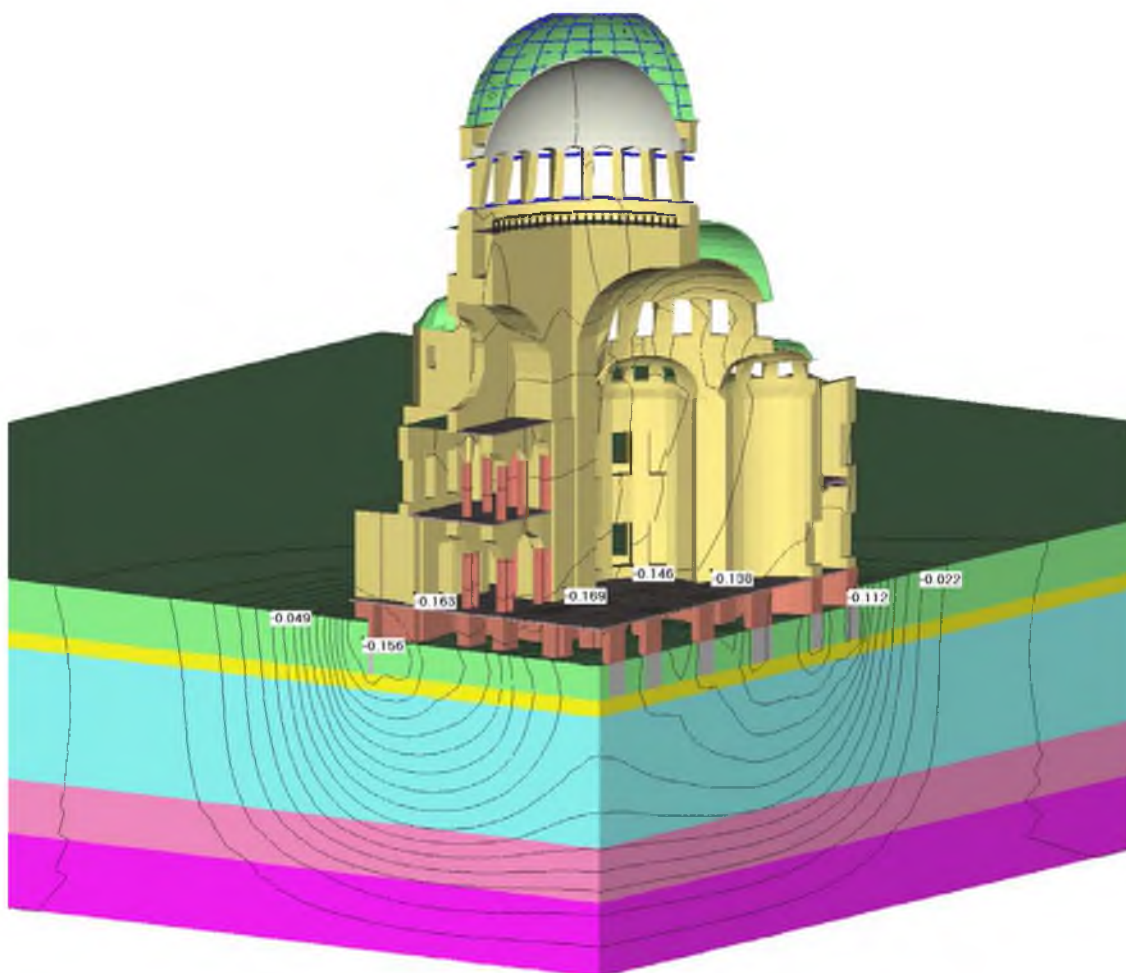


Рис.1. Изолинии осадок здания по результатам совместного расчета основания и конструкций Собора

ный с разными нагрузками на фундаменты Собора. Несмотря на относительно небольшие разности осадок (до 22 мм), относительные неравномерности осадок весьма существенны и превышают допустимые ограничения для современных зданий. Такие неравномерности осадок неизбежно должны были привести к развитию системы трещин осадочного происхождения.

К данной системе трещин можно отнести:

- 1) трещины в сводах и арках наружных галерей, обусловленные разницей осадок между наружными и внутренними стенами галерей;
- 2) трещины в сводах подвальной части здания под боковыми галереями;
- 3) трещины в контрфорсных лестничных клетках;
- 4) трещины в полукуполах в восточных и западных частях Собора;

- 5) трещины в главных арках.

Трещины, выявляемые, главным образом, изнутри здания, имеют совершенно четкие закономерности развития. Наклон трещин наблюдается в сторону более нагруженных частей здания, получивших ббльшие осадочные деформации, что хорошо увязывается с общим характером неравномерности осадочных деформаций, выявленных по результатам геодезических измерений.

В Соборе также имеются трещины, напрямую не связанные с неравномерными осадками здания. Прежде всего, это трещины в конструкциях главного купола.

Для определения основных причин возникновения дефектов в здании, а также получения картины дальнейшего развития трещин в программе FEM-models ГК «Гео-реконструкция» было выполнено численное моделирование работы конструкций Собора

с учетом совместной работы системы «основание – фундаменты – надземные конструкции» (рис.1) [5].

Моделирование дальнейшего развития трещин выполнялось итерационно: конечные элементы, в которых на предыдущей итерации было выявлено превышение предела прочности, исключались из расчета. Таким образом, учитывалось перераспределение напряжений в конструкции при образовании трещин.

Разность осадок между внутренней и внешней поверхностями стены галереи по расчету составляет 10-13 мм. По геодезическим измерениям разность отметок пола в галереях 6-11 мм с закономерным уклоном от наружных стен к внутренним, разность осадок между лестничными клетками и пилонами 13-22 мм. По расчету с учетом линейной стадии работы конструкций разность осадок между пилоном и лестничной

клеткой составляет 7 мм. При учете образования трещин в конструкциях разность осадок между пилоном и лестничной клеткой по расчету увеличивается до 11 мм. Таким образом, данный расчет позволяет установить, что обнаруженная по результатам геодезических наблюдений разность осадок между контрфорсными лестничными клетками и пилонами могла произойти только при условии образования трещин в стенах лестничных клеток и контрфорсных арках. Однако разности осадок и относительные деформации, полученные по геодезическим наблюдениям и по расчету, весьма близки, что подтверждает корректность расчетов.

Неравномерные осадки конструкций Собора являются причиной развития значительного количества трещин. Неравномерными осадками вызвана наблюдаемая картина дефектов в полукуполах в восточных и западных частях здания (рис.2).

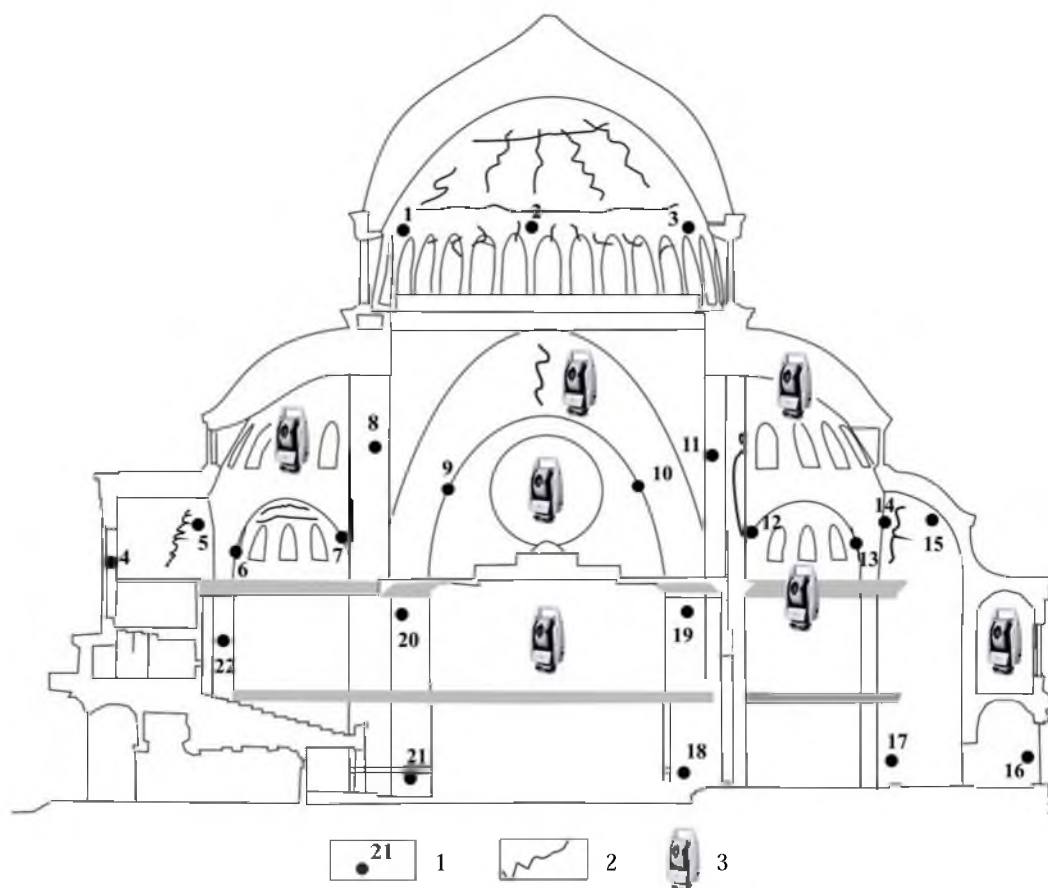


Рис.2. Схема расположения трещин, мест закрепления марок, мест стояний приборов в основном объеме Собора

1 – репер; 2 – трещина; 3 – место установки прибора

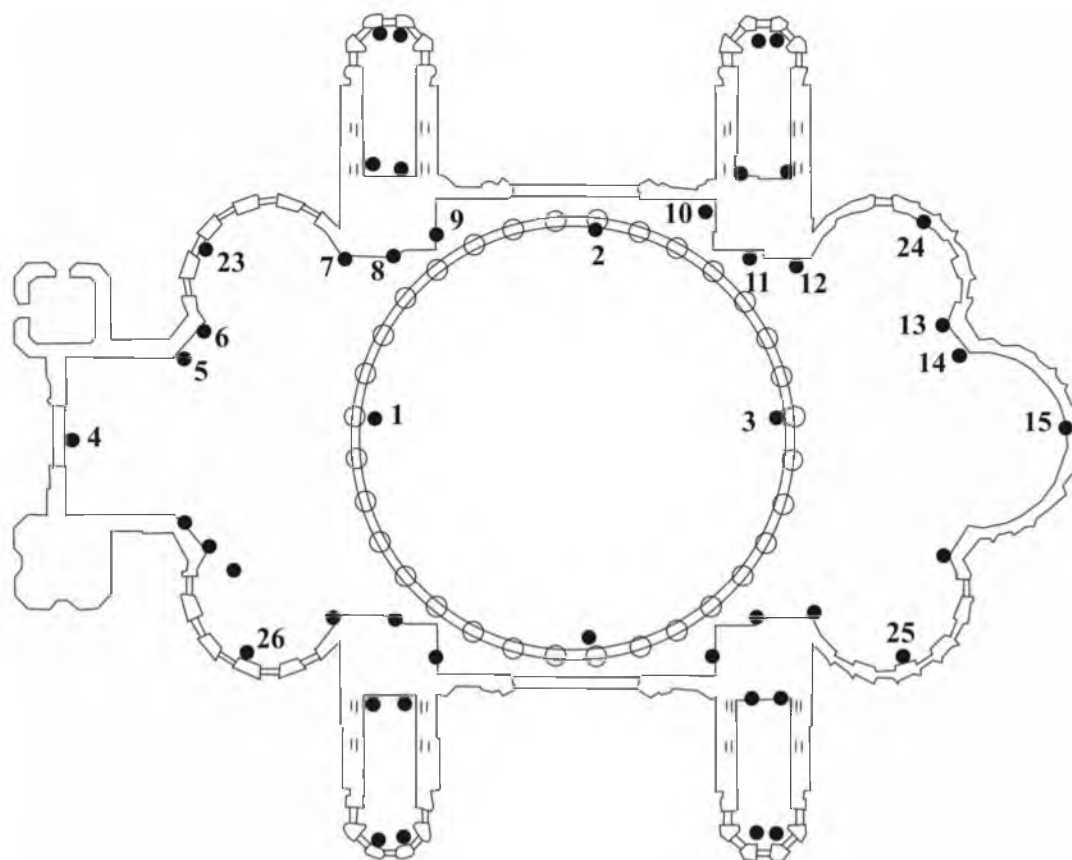


Рис.3. Схема размещения марок в верхнем «свете» Собора

Трещины, образующиеся в стенах контрфорсных лестничных клеток, обусловлены совместным действием двух основных факторов: неравномерностью осадок между пилоном и лестничной клеткой и распором от главной арки.

К локальным и наиболее аварийно-опасным элементам можно отнести центральный купол и его опорные части, а также полукупола в западной и восточных частях Собора. Расчеты системы «основания – фундаменты – конструкции собора» со всей определенностью показывают, что картина основных трещин в несущих конструкциях Собора имеет явно выраженный осадочный характер, типичный для крестово-купольных сооружений и обусловленный неравномерным нагружением основания. Фактически установленные картина трещин и геодезические измерения относительной неравномерности осадок коррелируют с расчетными данными, что свидетельствует о достоверности принятой расчетной схемы.

Для прогнозирования развития деформационных процессов и недопущения приведения к аварийным последствиям необходимо проведение систематических геодезических наблюдений. Как было сказано выше, Собор испытывает неравномерные деформации и нуждается в разработке геодезического контроля за несущими конструкциями. Для производства наблюдений целесообразно применение специальных высокоточных геодезических приборов, таких как лазерный трекер АТ401. Абсолютный лазерный трекер Leica AT401 представляет собой переносную координатно-измерительную систему, позволяющую выполнить высокоточные замеры на сверх-больших расстояниях. Питаясь от встроенного аккумулятора, прибор способен работать в самых сложных условиях, обеспечивая при этом высочайший уровень точности и широчайший диапазон применения. Прибор может выполнять измерения полностью в автоматическом режиме, с любой

дискретностью: во время производства строительных работ, во время демонтажа поздневозведенных конструкций. Данный прибор может контролировать в онлайн режиме, как ведут себя опорные конструкции сооружения.

Измерения деформаций проводятся в тех местах Собора, в которых по данным моделирования было определено дальнейшее развитие трещин (рис.2). Для выполнения геодезических измерений использовали марки в виде CCR-отражателей. Данная схема является условной и не позволяет отразить все места закрепления марок и установок прибора. При измерении на специальный CCR-отражатель точность измерения расстояний $m_s = 0,2$ мм, точность измерения угла $m_\beta = 0,5''$.

Как было сказано выше, полукупола западной и восточной частей Собора являются наиболее аварийно-опасными, поэтому помимо существующих предлагается установить дополнительные марки 23-26, учитывающие развитие деформационного процесса (рис.3).

В основном традиционные геодезические методы предполагают оценку изменений превышений, но необходимо производить также и оценку плановых смещений: оценивать изменения расстояний между деформационными марками. По результатам геодезических наблюдений ООО «БумТехно» была проведена оценка изменения высотных отметок и расстояний деформационных марок в центральном объеме Собора по результатам геодезических измерений с 15 января по 30 декабря 2010 г. Наблюдения за деформациями несущих конструкций Собора на протяжении года показали, что происходящие деформационные процессы существенным образом не повлияли на положение несущих конструкций. Более подробно этот вопрос рассмотрен в статье [3].

Таким образом, приведенная в общем виде методика наблюдений может служить для контроля устойчивого состояния элементов конструкций Никольского собора и описанный подход вполне приемлем для оценки неравномерных деформаций объектов культурного наследия.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 24846-81. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. Введ. 01.01.82. М., 1986. 29 с.
2. Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации: Федеральный Закон от 25 июня 2002 № 73-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. 2002. 01.07. С.39.
3. Степанова О.С. Сохранение объектов культурного наследия // Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения: Труды 10-й Международной научно-практической конференции, 11-13 апреля 2012 г. Воркута, 2012. Т.3. С.710-713.
4. ТСН 50-302-2004. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге. Взамен ТСН 50-302-96; Введ. 05.08.04. СПб, 2004. 57 с.
5. Улицкий В.М. Гид по геотехнике (путеводитель по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям) / В.М.Улицкий, А.Г.Шашкин, К.Г.Шашкин. СПб, 2010. 218 с.

REFERENCES

1. GOST 24846-81. Soils. Methods for measuring the deformation of the buildings. Introduced 01.01.82. Moscow, 1986. 29 p.
2. On cultural heritage (monuments of history and culture) of the Russian Federation: the Federal Law of June 25, 2002 № 73-FZ // Collected Legislation of the Russian Federation. 2002. 01.07. P.39.
3. Stepanova O.S. Preservation of Cultural Heritage // The development of mineral resources in the North: Challenges and solutions: Proceedings of the 10th International Scientific Conference, 11-13 April 2012. Vorkuta, 2012. Vol.3. P.710-713.
4. TSN 50-302-2004. Design of foundations for structures in St. Petersburg. – In return, TSN 50-302-96; introduced 05.08.04. Saint Petersburg, 2004. 57 p.
5. Ulitsky V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G. Guide geotechnics (Guide on the grounds foundations and underground structures). Saint Petersburg, 2010. 218 p.