

ПК CREDO ДЛЯ ОБРАБОТКИ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА КРЕНАМИ И ОСАДКАМИ СПАСО- ПРЕОБРАЖЕНСКОГО СОБОРА В НОВОКУЗНЕЦКЕ

И.С. Кукарко («Кредо-Диалог», Республика Беларусь)

В 2007 г. окончил географический факультет Белорусского государственного университета по специальности «география». В 2010 г. прошел курсы повышения квалификации на тему «Новое в законодательстве о земле» в РУП «Белаэрокосмогеодезия». После окончания университета работал в РУП «Белгеодезия». С 2011 г. работает в компании «Кредо-Диалог», в настоящее время — руководитель топогеодезического и кадастрового направления отделения по работе с клиентами.

Д.Б. Новоселов («Сибшхостройпроект», Новокузнецк, Кемеровская область)

В 2006 г. окончил архитектурно-строительный факультет Сибирского государственного индустриального университета (СибГИУ) по специальности «промышленное и гражданское строительство». В 2009 г. окончил аспирантуру по специальности «геодезия» в Новосибирском государственном архитектурно-строительном университете. После окончания университета работал в ООО «Визир» и на кафедре «Геология и геодезия» СибГИУ. С 2008 г. работает в ООО «Сибшхостройпроект», в настоящее время — начальник отдела инженерно-геодезических изысканий. Одновременно является главным специалистом геодезического отдела ООО «ОК «Сибшхострой».

В основе статьи лежит работа «Наблюдения за кренами и осадками здания Спасо-Преображенского собора в Кузнецком районе г. Новокузнецка» (авторы Д.Б. Новоселов, Б.А. Новоселов и Е.А. Звягинцев, ООО «Сибшхостройпроект») [1]. Данная работа была представлена на IX Международном конкурсе производственных проектов, выполненных в ПК CREDO, проходившем в 2014 г., и заняла I место в номинации «Геодезия и топография». Спасо-Преображенский собор был выбран в качестве объекта, поскольку он имеет важную историческую и культурную ценность. В результате выполненного проекта были получены данные о вертикальности положения куполов и деформации фундамента собора, которые помогут сохранить уникальное здание для будущих поколений.

▼ История Спасо-Преображенского собора

Спасо-Преображенский собор расположен в Кузнецком районе г. Новокузнецка (ранее — Кузнецкий острог, Кузнецк), на правом берегу реки Томь, в 100 м на северо-восток от железной дороги. С точки зрения геоморфологии площадка, на которой стоит собор, находится на второй надпойменной террасе реки, в 15 м от ее бровки. Превышение между основанием площадки и поверхностью нижележащей террасы составляет около 15 м.

Спасо-Преображенский собор — один из памятников архитектуры начала XIX века, сохранившийся в Новокузнецке и определяющий облик города, его культурное наследие. В 1621 г. в Кузнецком остроге был построен деревянный храм во

имя Преображения Господня. Иконы, утварь и два колокола для него были подарены царем Михаилом Федоровичем. После пожара 1734 г. он был восстановлен в первоначальных объемах и архитектурных традициях, а в 1792 г. началось строительство каменного здания, которое длилось 43 года. 5 августа 1835 г. прошло торжественное освящение Спасо-Преображенского собора.

Толщина стен храма составила 1,5 м, а в месте примыкания трапезной и колокольни доходила до 2 м, длина здания — 43 м. Купол (луковица) главной башни собора имел высоту 35 м, а купол колокольни — 40 м. Собор был построен на фундаменте из крепкого бутового камня на цементном растворе. Глубина залегания подошвы фундамента составила 2,15–2,45 м. Основным строительным материалом



Рис. 1

Спасо-Преображенский собор в разные годы (начало XX века, 1950-е гг., 1997 г., 2014 г.)

послужил кирпич, который укладывался на прочном известковом растворе.

7 июня 1898 г. Кузнецк пережил волну подземных толчков, в результате которых часть каменных зданий в городе дала трещины. Собор, в силу грамотности проектировщиков и строителей, не получил серьезных повреждений [2]. Однако последующие исторические события не уберегли его (рис. 1).

В 1929 г. в помещении собора организовали геологический музей. В 1933 г. с колокольни был сброшен многопудовый колокол, а к 1935 г. собор полностью разграбили — разобрали половину колокольни, сняли кресты и разрушили главки. В 1938–1939 гг. в сохранившемся помещении размещалась школа комбайнеров, а с 1940 г. — хлебозавод. С середины 1950-х гг. здание оказалось бесхозным. В 1960-х гг. руководство города планировало превратить храм в ресторан «Старая крепость».

На заброшенный собор обратили внимание во второй половине 1980-х гг. Предполагалось сохранить его как памятник истории и архитектуры и разместить в нем органнй зал. По оценке специалистов храм идеально подходил для этого. Обществу охраны памятников го-

рода поручили заняться заказом инструмента в Германии.

Одновременно, православные верующие обратились в городской Совет народных депутатов с просьбой о передаче собора Русской Православной Церкви. И в 1989 г. Совет народных депутатов принял положительное решение.

Весной 1994 г. вокруг здания возвели леса, и начались восстановительные работы. К 1997 г. купол главной башни собора и купола колокольни покрыли медью. На первом этаже уложили мраморный пол с подогревом. На Кузнецком металлургическом комбинате были изготовлены кресты на луковичные главки. В 1999 г. отделочные работы были закончены, а купола собора покрыли позолотой.

Осенью 2004 г. завершились реставрационные работы и роспись внутри здания, и Спасо-Преображенский собор с почти четырехсотлетней историей отпраздновал свое новое рождение.

В 2008 г., к 390-летию юбилею Новокузнецка, при поддержке телекомпании ТВН, газеты «Новокузнецк» и администрации города, был проведен конкурс «7 чудес Новокузнецка». Горожане выбирали претендентов на звание «чуда». Од-

ним из победителей стал Спасо-Преображенский собор.

▼ Краткая характеристика проекта

Во время восстановительных работ, с декабря 2001 г. по октябрь 2002 г., геодезистами Западно-Сибирского металлургического комбината проводились наблюдения за креном колокольни и главной башни собора и высотными деформациями фундамента. А поскольку конструктивные элементы здания также подвержены деформациям — появляются новые трещины на стенах и полу, для выявления причин разрушений и принятия мер по его сохранению в 2007 г. начались инструментальные наблюдения за состоянием фундамента и собора в целом. К измерениям крена колокольни и главной башни собора и осадок фундамента были привлечены геодезисты: Б.А. Новоселов, Д.Б. Новоселов и Е.А. Звягинцев. С момента первых измерений (декабрь 2001 г.) к августу 2014 г. было выполнено 11 циклов наблюдений.

Рассмотрим возможности использования программных решений CREDO для мониторинга кренов и осадок зданий и сооружений на примере уникального объекта — Спасо-Преображенского собора.

▼ Технология выполнения работ и функциональные возможности ПК CREDO

Наблюдения за креном колокольни и главной башни собора. Наблюдения выполнялись электронным тахеометром SET 530R3-L с шести контрольных пунктов, заложенных вокруг собора и образующих плановую опорную сеть в виде замкнутого полигона в условной системе координат.

В каждом цикле, первоначально, по контрольным пунктам, прокладывался замкнутый ход полигонометрии 1 разряда по трехштативной системе. По-

лученные технические характеристики не превышали основных требований к точности измерений в плановых опорных геодезических сетях, создаваемых способом полигонометрии 1 разряда.

Затем с контрольных пунктов, электронным тахеометром в безотражательном режиме, определялись координаты точек, находящихся в верхней и нижней части колокольни и главной башни собора (четкие характерные углы в пересечении вертикальных и горизонтальных граней), а также на их куполах. Координаты центров куполов определялись графически в программе CREDO_DAT способом линейно-угловой засечки в масштабе 1:10. Стороны треугольника погрешностей не превышали 2 мм.

Данные, полученные в программе CREDO_DAT, и фрагмент топографического плана территории Спасо-Преображенского собора в формате DXF (в качестве подложки) были импортированы в программу CREDO РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ. На первом этапе был выполнен анализ устойчивости контрольных пунктов плановой опорной сети. В программе заложены два метода анализа плановой сети — метод последовательного анализа и классический метод наименьших квадратов. Первый — имеет лучшую стабильность при малом количестве исходных пунктов, он и использовался при оценке надежности плановых наблюдений.

В программе CREDO РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ были построены траектории движения марок между выбранными циклами, для купола колокольни и главной башни собора созданы радиальные графики развития деформаций во времени. Программа имеет значительный функционал по анализу и визуализации плановых деформаций. Если какие-то наблюдения выполнены с грубыми ошибками,

это сразу становится видно в окне программы, и их можно либо пересчитать, либо отключить, чтобы они не принимали участия в расчетах. Для наглядной демонстрации настоятелю храма и администрации города была создана анимация процесса плановых деформаций собора, продолжительностью 25 секунд.

Предельные значения крена $i_{\text{н}}$ для жестких сооружений высотой до 100 м в относительной мере не должны превышать 0,004 [3]. Согласно этим требованиям, предельная величина смещения куполов относительно вертикальной оси не должна превышать 0,145 м для главной башни собора, высотой 36,31 м, и 0,162 м для колокольни, высотой 40,60 м. По результатам 11 циклов наблюдений за креном куполов собора их фактические смещения не превысили допустимых значений.

Наблюдения за осадками фундамента собора. В 2001 г., для наблюдения за вертикальными деформациями, вдоль улицы, по периметру здания, было заложено 18 деформационных марок. В качестве исходной высоты в Балтийской системе высот 1977 г. была принята отметка стенового репера № 2502, находящегося вне зоны деформаций. От этого репера были переданы высотные отметки на металлические балки R1 и R2, к которым выполнялась высотная привязка деформационных марок.

Высоты деформационных марок измерялись методом геометрического нивелирования по программе III класса с помощью нивелира ЗН-2КЛ. В период с 4 декабря 2001 г. по 4 октября 2002 г. было выполнено 3 цикла наблюдений, по результатам которых была определена осадка марки № 5 на 10 мм.

Наблюдения за вертикальными деформациями возобновились летом 2007 г. В фундаментах фонарей вокруг собора были заложены высотные реперы П1,

П2, П3 и П4. На них переданы высоты с балок R1 и R2 для дальнейшей обработки результатов в единой системе высот.

По реперам П1–П4, образующим опорный полигон, выполнено геометрическое нивелирование II класса замкнутым ходом. Опорный полигон уравнивался как свободный, с исходным репером П1 в 4 и 7 циклах. В 8 и 9 циклах исходным для уравнивания опорного полигона являлся П4, так как реперы П1 и П2 были уничтожены.

Летом 2012 г. были заложены 9 осадочных марок (с 21 по 29 марки) внутри собора. В августе 2013 г. заложены три вековых репера на глубину 11 м: Рп1 — на территории собора, а Рп2 и Рп3 — в 200 м от собора, на территории административного здания.

30 августа 2013 г., повторно, со стенового репера № 2502 с отметкой 215,416 м был проложен замкнутый ход по программе нивелирования II класса на вновь заложённые вековые реперы и реперы П3, П4. Высотное положение реперов П3 и П4 не изменилось.

Нивелирование II класса с 4 по 9 цикл выполнялось оптическим высокоточным нивелиром Ni 007, а все отчеты записывались на планшетный компьютер. Предварительно, на нем, в программе Excel, были сформированы страницы нивелирного журнала с формулами расчета превышений и постраничного контроля. Затем для работ использовался цифровой высокоточный нивелир Trimble DiNi 12.

Вычисления ходов нивелирования II класса выполнялись в программе CREDO НИВЕЛИР. При использовании оптического высокоточного нивелира осуществлялся постраничный контроль, и превышения вводились в программу. При работе с цифровым высокоточным нивелиром данные импортировались в программу, разбивались на секции и уравнивались. В CREDO

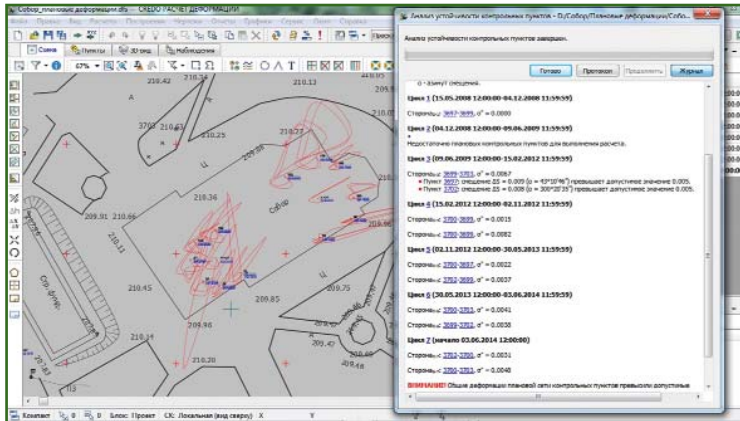


Рис. 2
Анализ устойчивости положения реперов опорного полигона

НИВЕЛИР были введены условные плановые координаты марок и построена схема по осадочным маркам.

Затем в программу CREDO РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ были импортированы файлы NIV, в которых помимо плановых и высотных данных содержатся схемы нивелирования со значениями средних квадратических погрешностей осадочных марок. Также в программу для наглядности был импортирован план собора в формате DXF.

В программе CREDO РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ существует способ разделять объект наблюдений на простые составляющие — блоки, для которых пользователь задает необходимые системы координат и графические представления. В данном случае были созданы два блока: в первый вошли 18 марок, расположенных на улице (заложены в 2001 г.), а во второй — 9 марок, расположенных внутри здания (заложены в 2012 г.). Программа позволяет отдельно визуализировать как общую картину, так и то, что происходит с осадочными марками внутри собора.

На первом этапе выполнялся анализ устойчивости высотного положения реперов опорного полигона (рис. 2). Программа методом простого перебора находит пункт с наиболее устойчивой отметкой и сравнивает пре-

вышения относительно этого пункта в начальном и конечном циклах [4].

Если у пользователя сохранились вычисления в программе CREDO НИВЕЛИР по всем циклам, то можно очень быстро пересчитать эти циклы с исходным, наиболее устойчивым репером (рис. 3).

В основе решения задачи интерпретации данных наблюдений лежит качественная модель деформационной поверхности, описывающая отклонения точек объекта в текущем цикле относительно начального. Программа CREDO РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ позволяет построить деформационную поверхность смещений и их скорости за определенный период. Деформационную поверхность можно просматривать как в двухмерном пространстве, залитом градиентной заливкой

и картой изолиний, так и в трехмерном (рис. 4).

В программе CREDO РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ был выполнен прогноз деформаций на год вперед. Программа строит график линии тренда развития осадок во времени. Пользователь может задать вид аппроксимирующей функции, выбрав тип линии тренда: линейный, квадратичный либо периодический. Предлагается также автоматически рассчитать и построить график наиболее достоверной аппроксимирующей функции. При построении графика отображаются прогнозируемые максимальное и минимальное значения смещений, которые зависят от длительности прогноза: чем больше отрезок времени, тем шире граница значений (рис. 5). На графике отображаются средние квадратические отклонения определения марки.

В качестве эксперимента для каждой осадочной марки был выполнен прогноз на конец августа 2015 г. по наиболее достоверно аппроксимирующей функции. Данные ввели в программу, и была построена деформационная поверхность. Функция прогнозирования деформационной поверхности в программе отсутствует, но возможно, в будущем разработчики добавят ее, что позволит сравнивать фактические данные с прогнозируемыми.

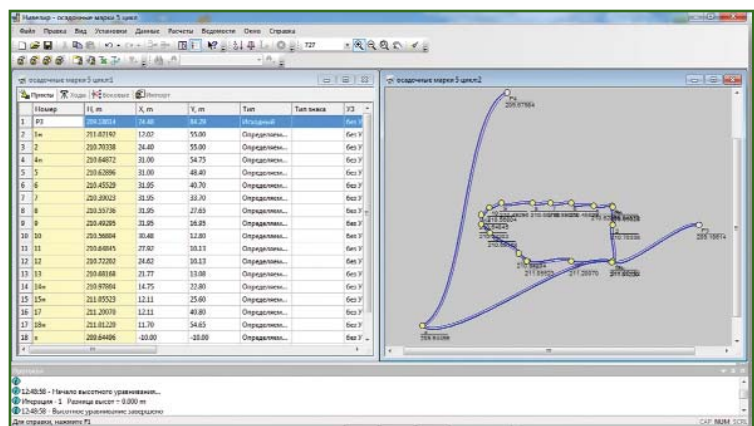


Рис. 3
Работа в программе CREDO НИВЕЛИР

Также как и в случае с деформациями в плане, в программе CREDO РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ была создана анимация процесса осадок здания по высоте, длительностью 45 секунд, для наглядной демонстрации. Следует отметить, что в программе можно создавать различные графики, чертежи, ведомости и сводные таблицы по циклам.

Построение геологической модели. В геолого-литологическом строении до глубины 15 м принимают участие рыхлые четвертичные отложения, представленные насыпными грунтами и аллювиальными суглинками, песками и галечными отложениями реки Томь. Основанием фундамента собора служат суглинки тугопластичные. В сжимаемой зоне находятся суглинки от полутвердых до мягкопластичных. Грунтовые воды на глубине заложения фундамента не встречались. По оценкам специалистов грунты не являются основной причиной осадки фундамента Спасо-Преображенского собора.

В программе CREDO ГЕОЛОГИЯ была построена объемная геологическая модель. В качестве исходных данных использовались 5 скважин и 2 шурфа, заложённые специалистами «Юж-кузбассТИСИЗ» в 1988 г. при восстановлении храма. В программе можно создавать разрезы в любом месте, анализировать данные геологического строения грунтов совместно с деформационной поверхностью и выявлять возможные причины возникновения осадок.

▼ **Итоги проекта**

Результаты измерений, выполненных с 2001 г. по 2014 г., позволяют сделать следующие заключения.

Наблюдения за кренами и осадками продолжаются с циклом в один год и подтверждают отсутствие недопустимых величин крена колокольни и главной башни Спасо-Преображенского собора.

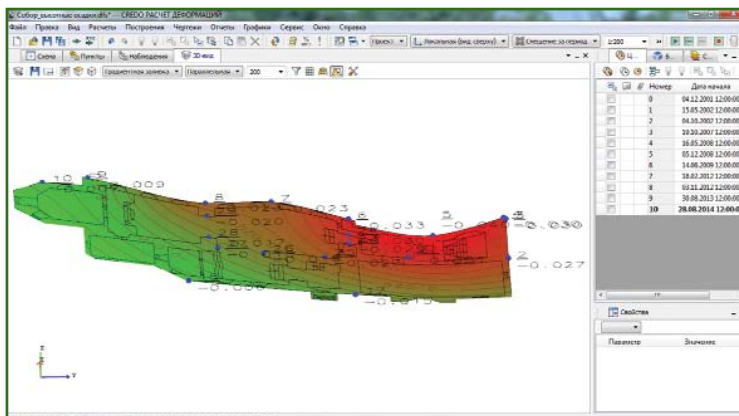


Рис. 4
Трёхмерная модель деформационной поверхности собора

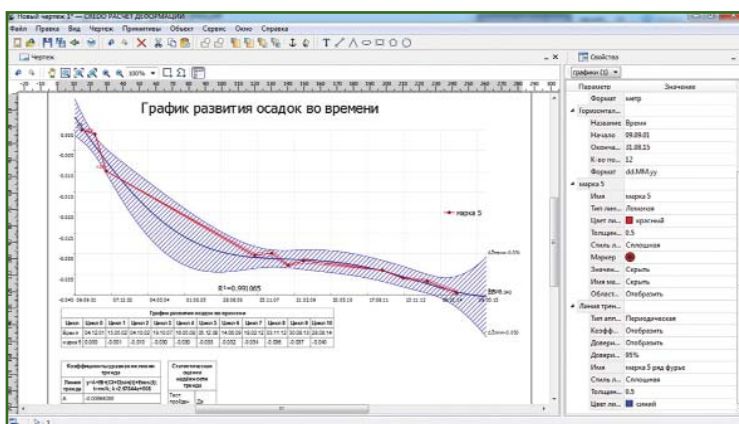


Рис. 5
График развития осадок фундамента собора

Фундамент Спасо-Преображенского собора подвержен неравномерной осадке с конца 2001 г. и по настоящее время. Собор был построен на старом фундаменте, который предварительно укреплялся. По свидетельствам очевидцев строительства, в южной части собора фундамент не был укреплен, что подтверждается наблюдениями (марки 5–10). Также, по оценкам специалистов, причинами осадки здания могут являться проходящая в 100 м железная дорога и тектонический разлом, расположенный в 250 м от собора. Годовые скорости осадки уменьшаются. Фундамент собора стабилизируется.

Учитывая уровень ответственности, которую мы несем перед следующими поколениями, необходимо и впредь продолжать работы по контролю и обеспече-

нию сохранности исторического и культурного наследия.

▼ **Список литературы**

1. Новоселов Д.Б. Технология автоматизированного сбора и обработки результатов геодезических измерений на уникальных исторических сооружениях // Геопространственные технологии и сферы их применения (10-я Международная научно-техническая конференция, Москва, 14–15 октября 2014 г.). Сборник материалов. — М.: Издательство «Проспект», 2014. — С. 127–131.
2. Лизогуб П.П. Тернистый путь собора // Кузнецкий рабочий. — 2008. — № 17.
3. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83. — М., 2011.
4. Будо А.Ю., Васильков Д.М., Грохольский Д.В. Расчет осадок деформаций в CREDO // Геопрофи. — 2014. — № 1. — С. 24–28.