

# ТЕХНОЛОГИИ BENTLEY ПРИ РЕСТАВРАЦИИ ДРЕВНЕГО МОНАСТЫРЯ В ПОДМОСКОВЬЕ

## ▼ Цель проекта

Воскресенский Ново-Иерусалимский монастырь, расположенный в подмосковной Истре, был возведен в период с 1656 по 1685 гг. С тех пор памятник православной архитектуры неоднократно подвергался сильным разрушениям, но его все время восстанавливали, и он приобретал свой неповторимый вид (рис. 1).

Последние наиболее масштабные реставрационные работы начались в 2011 г. и закончились в мае 2016 г. Они проводились специалистами ФГУП «Центральные научно-реставрационные проектные мастерские» (ЦНРПМ) при участии нескольких подрядных организаций. Трудоемкость этих работ была вызвана необходимостью выявления изменений как в облике отдельных архитектурных и декоративных элементов фасадов зданий, так и монастырского комплекса в целом.

На раннем этапе реставрационных работ проводилось наземное лазерное сканирование некоторых зданий монастыря. Затем по полученным облакам точек лазерных отражений, используя систему автоматизированного проектирования, создавалась детальная трехмерная (3D) модель здания, которая совмещалась с трехмерной текстурированной моделью цифрового фотоизображения этого здания в программном обеспечении (ПО) ContextCapture компании Bentley Systems. Это позволяло планировать и проводить реставрацию архитектурных и декоративных элементов фасадов отдельных зданий.

История Воскресенского Ново-Иерусалимского монастыря тесно связана с памятью его основателя Патриарха Никона, который мечтал создать в Подмосковье точное подобие знаменитого Иерусалимского храма Воскресения Господня.

Воплощение этих замыслов началось в 1656 г., а в 1666 г. приостановилось почти на 14 лет — в связи со ссылкой Патриарха Никона. Возобновились работы в 1679 г. и в январе 1685 г. Воскресенский собор был освящен Патриархом Иоакимом.

В XIX веке и в начале XX века монастырь был одним из самых популярных центров паломничества, число его посетителей особенно возросло после проведения поблизости от него Николаевской (Рижской) железной дороги.

В июле 1919 г. монастырь был закрыт, а его имущество национализировано. В 1920-х гг. наиболее ценные предметы из ризницы Воскресенского собора были переданы в Оружейную палату.

В декабре 1941 г. монастырь оказался в зоне ожесточенных боев за Москву, его здания сильно пострадали, сведения о разрушениях в монастыре фигурировали в Нюрнбергском процессе.

В 1950-х гг. в монастыре велись активные реставрационные работы, в результате которых архитектурный комплекс был поднят из руин, началось восстановление внутренней отделки Воскресенского собора.

18 июля 1994 г. Патриарх Алексий II сообщил о возобновлении деятельности Воскресенского Ново-Иерусалимского монастыря и о назначении заместителя обители.

23 июля 2008 г. монастырь посетили Патриарх Алексий II и Президент РФ Д.А. Медведев. По итогам визита было принято решение о создании Благотворительного фонда по восстановлению Воскресенского Ново-Иерусалимского монастыря.

В настоящее время Попечительский совет Благотворительного фонда по восстановлению Воскресенского Ново-Иерусалимского монастыря возглавляет Председатель Правительства РФ Д.А. Медведев, сопредседателем выступает Патриарх Кирилл. Председателем Правления является глава Совета директоров ПАО «Газпром» В.А. Зубков.

По информации с сайта [www.n-jerusalem.ru](http://www.n-jerusalem.ru)

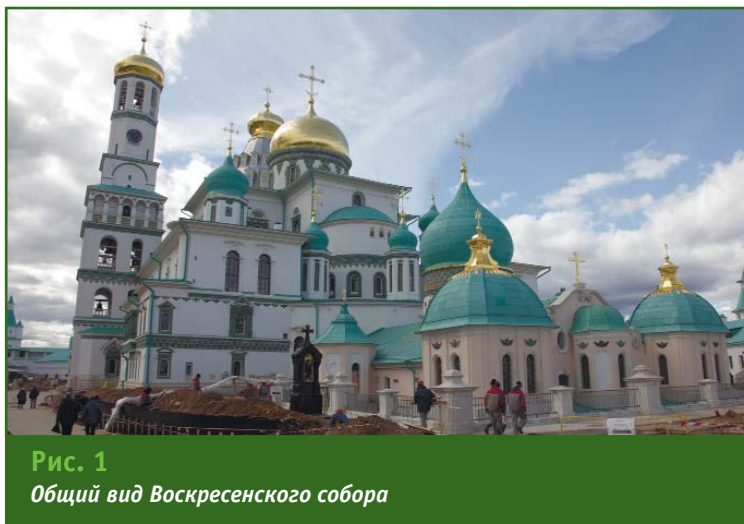


Рис. 1  
Общий вид Воскресенского собора

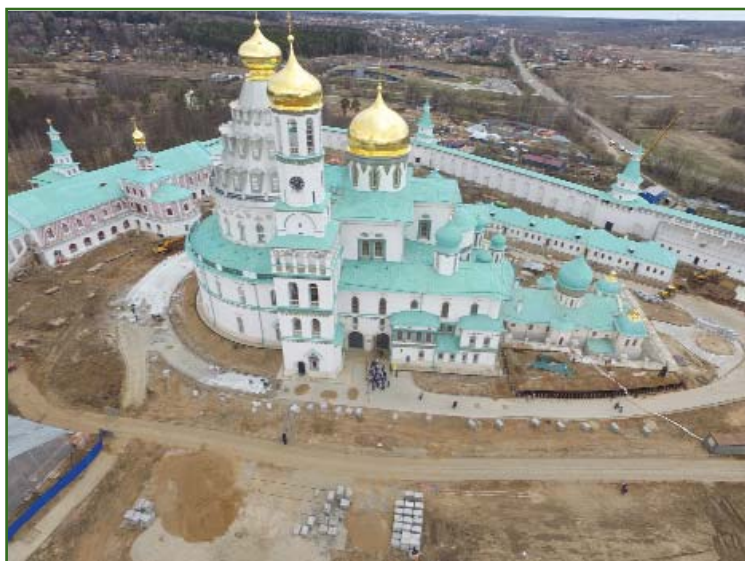


Рис. 2  
Фотоснимок с БЛА

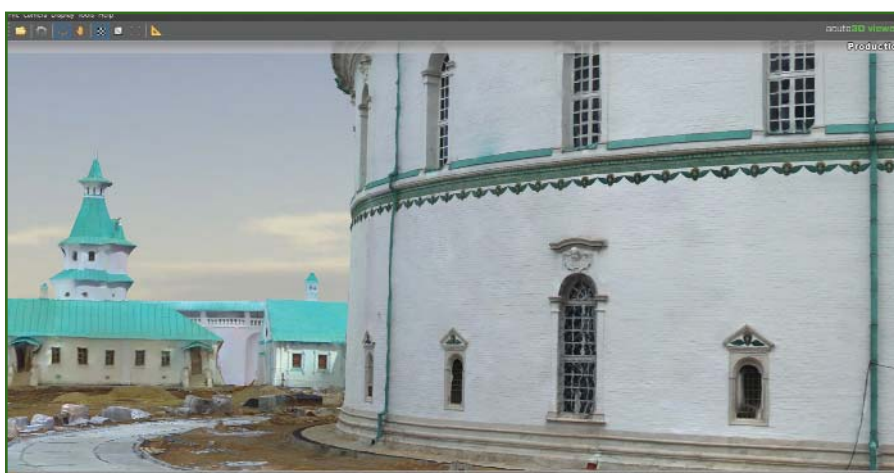


Рис. 3  
Фотоснимок фасада здания

Тем не менее, отсутствовала реалистичная трехмерная модель всего монастырского комплекса, которая требовалась ЦНРПМ для оценки существующего генплана с целью выявления изменений, произошедших в ходе уже проведенных реставрационных работ. Кроме того, трехмерную модель в цифровом формате можно было разместить на сайте в сети Интернет, чтобы ее использовала широкая аудитория посетителей при планировании своих поездок в Воскресенский Ново-Иерусалимский монастырь.

Для получения трехмерной модели было принято решение использовать аэрофотосъемку и фотограмметрические методы как альтернативу технологии лазерного сканирования. Эта амбициозная задача по созданию закоординированной реалистичной трехмерной модели существующего объекта культурного наследия общей площадью 1 км<sup>2</sup> была поставлена перед компанией «Фотометр». Причем модель должна была соответствовать по точности крупномасштабному топографическому плану (предельная

погрешность не превышает 5 см в плане и 6 см по высоте) и иметь высокую степень детализации архитектурных и декоративных элементов фасадов Воскресенского собора. Работу необходимо было выполнить с минимальными затратами и в кратчайшие сроки.

#### ▼ Наземная и воздушная съемка

Учитывая высокие требования к точности модели и жесткие ограничения по срокам и объему издержек, руководство компании «Фотометр» приняло решение выполнить поставленную задачу методом наземной цифровой фотосъемки и аэрофотосъемки с помощью беспилотного летательного аппарата (БЛА).

Аэрофотосъемка территории монастыря проводилась цифровой камерой Canon EOS 5D Mark, установленной на БЛА DJI Phantom 3 Pro (рис. 2). Эта же камера использовалась при наземной съемке фасадов зданий (рис. 3). Плановая и высотная привязка опорных наземных точек и центров фотографирования снимков осуществлялась высокоточным приемником ГНСС Geosun eFix R1 в режиме RTK. Было получено 3300 цифровых снимков общим объемом 16 Гбайт. Весь объем полевых работ по наземной и воздушной съемке был выполнен за 6 часов.

#### ▼ Построение трехмерной модели

Создание трехмерной модели всего комплекса монастыря выполнялось на обычном офисном компьютере с помощью ПО ContextCapture, которое состоит из двух основных модулей: управления и обработки данных.

Модуль управления представляет собой графический пользовательский интерфейс для ввода исходных данных, выбора настроек, создания заданий на обработку. Он также позволяет осуществлять контроль

процесса обработки и визуализации результатов.

Модуль обработки данных работает на компьютере в фоновом режиме без взаимодействия с пользователем и выполняет алгоритмы со сложными вычислениями.

Благодаря разделению модулей управления и обработки данных ПО ContextCapture поддерживает функцию сетевых компьютерных вычислений, что позволяет задействовать одновременно несколько модулей обработки данных на отдельных компьютерах, которые работают по принципу общей очереди заданий, и значительно снизить время вычислений.

Для построения трехмерной модели в заданной системе координат в качестве исходных данных использовались цифровые фотоснимки, координаты центров фотографирования снимков и наземных опорных точек. В ПО ContextCapture содержится более 4000 систем координат, и пользователи могут добавлять новые системы координат.

Геометрическая точность модели, в первую очередь, зависит от пространственного разрешения цифрового фотоснимка (размера пикселя на местности) и точности пространственной привязки отдельного фотоснимка. Обычно геометрическая точность модели составляет примерно 2–3 пикселя.

Используя модуль управления, в ПО ContextCapture загружались фотоснимки, полученные с БЛА и при наземной съемке, а также координаты опорных точек в виде текстового файла, содержащего название точек и их пространственные координаты.

Раскадровка снимков происходила непосредственно в ПО ContextCapture с необходимой частотой кадров. Координаты центров фотографирования распознавались автоматически, а положение опорных точек на

наземных фотоснимках указывалось вручную.

В модуле обработки данных запускался процесс аэротриангуляции, в ходе которого система автоматически вычисляла положение и ориентацию фотоснимков, используя одноименные связующие точки на нескольких снимках, трансформировала их и размещала в пространстве в заданной системе координат объекта (рис. 4).

После завершения этапа аэротриангуляции начинался следующий этап — создание модели. Сначала система анализировала все фотоснимки и создавала черновую модель. Затем в автоматическом режиме модель оптимизировалась и текстурировалась, благодаря цветным изображениям на фотоснимках.

Поскольку при построении трехмерной модели использовались координаты центров фотографирования и наземных опорных точек, то с ее помощью можно было измерять размеры, площади, координаты точек и объемы непосредственно в программе.

После завершения этого этапа обработки вручную выбирался необходимый тип и формат выходных данных, и запускался процесс воссоздания модели. Следует отметить, что модуль обработки данных ПО

ContextCapture позволяет создавать модель в различных форматах, в том числе в виде раскрашенного по фотоснимкам облака точек с необходимой плотностью в форматах LAS и POD. Кроме того, можно создавать ортофотопланы в форматах TIFF/GEOTIFF, JPEG, KML-Superoverlay и трехмерные полигональные модели в форматах 3MX, OSGB, OBJ, FBX, DAE, STL, ESRI i3s, LOD, Google Earth KML.

Таким образом, по цифровым фотоснимкам, полученным в результате полевых работ, в программе ContextCapture была построена высокодетализированная закоординированная текстурированная трехмерная модель, пригодная для проведения точных измерений, и ортофотоплан всего монастырского комплекса (рис. 5). Созданную трехмерную модель также можно разместить на сайте в сети Интернет для общего доступа.

Весь процесс построения трехмерной модели и ортофотоплана Воскресенского Ново-Иерусалимского монастыря занял 36 часов. Предельная погрешность координат трехмерной модели составила 5 см, что соответствует точности топографического плана в масштабе 1:500.

Фотограмметрические методы и ПО ContextCapture позволили:

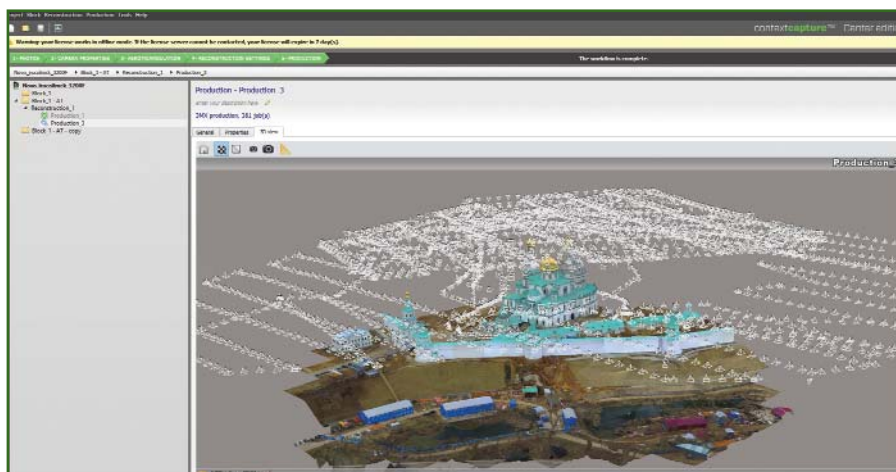


Рис. 4  
Процесс аэротриангуляции в ПО ContextCapture



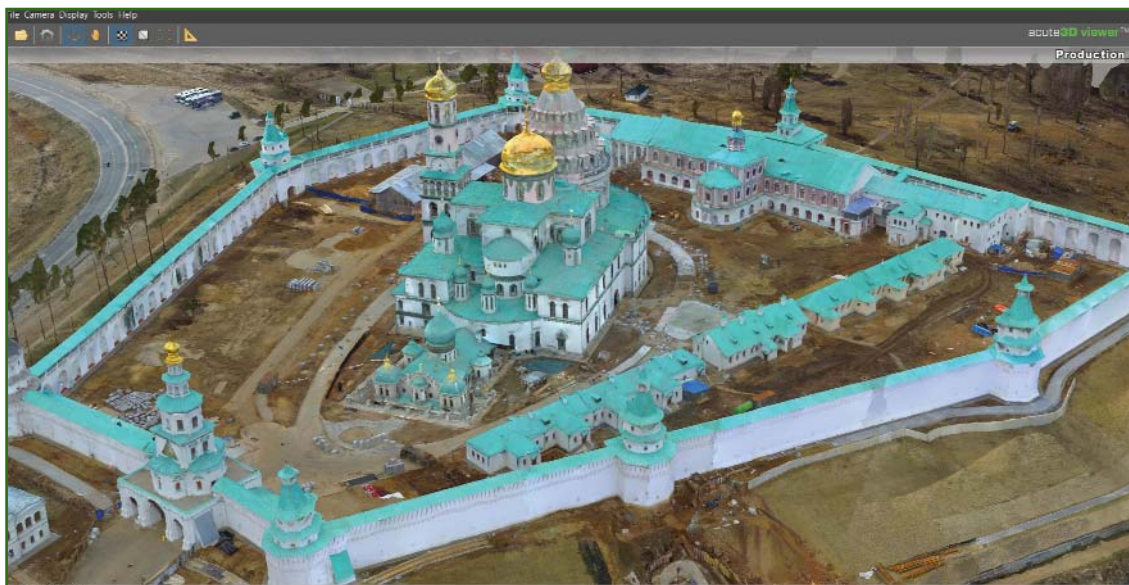


Рис. 5

Трехмерная модель Воскресенского Ново-Иерусалимского монастыря

— ощутимо сократить расходы на сбор пространственной информации об объекте, по сравнению с классическими методами;

— оперативно провести воздушную и наземную съемку на объекте без потери точности;

— автоматизировать цифровую фотограмметрическую обработку данных;

— сформировать трехмерные и двухмерные материалы в различных форматах без привлечения дополнительного программного обеспечения.

Таким образом, с помощью описанной выше технологии моделирования реальности компании Bentley Systems можно создавать ортофотопланы и трехмерные модели в заданной системе координат, используя обычные фотографии, полученные в результате наземной и воздушной съемок.

#### ▼ Практическое использование трехмерной модели

По итогам выполненных работ ЦНРПМ был предоставлен ортофотоплан территории монастыря, а также реалистичная, с возможностью визуализации, трехмерная модель всего мо-

настырского комплекса в заданной системе координат.

Благодаря трехмерной модели и ортофотоплану Воскресенского Ново-Иерусалимского монастыря специалистам ЦНРПМ в ходе проведения реставрационных работ удалось:

— выявить изменения в существующем генплане;

— ускорить процесс согласования ремонтно-реставрационных работ на объекте;

— осуществлять оперативный автоматизированный мониторинг текущего состояния памятника архитектуры;

— обеспечить простой и удобный онлайн-доступ к трехмерной модели существующего объекта для пользователей из любых уголков мира.

Кроме того, трехмерная модель всего монастырского комплекса предоставила возможность руководству проекта контролировать график работ по фактическим изменениям на реставрируемых зданиях.

С помощью использованной на объекте технологии моделирования реальности компании Bentley Systems можно фиксировать изменения облика отдельных зданий монасты-

ря и прилегающей территории не только в ходе реставрации, но и при их дальнейшей эксплуатации. Данная технология позволяет организовать автоматизированный мониторинг текущего состояния Воскресенского собора и прилегающей территории, проводя с заданной цикличность построение трехмерной модели всего монастырского комплекса. Это даст возможность легко отслеживать и оперативно устранять проблемы, связанные с просадкой грунта и осыпанием склонов насыпи, а также измерять площадь затопления территории в случае разлива реки Истры.

В заключение следует отметить, что полученная трехмерная модель Воскресенского Ново-Иерусалимского монастыря в Истре может быть дополнена атрибутивной информацией и положена в основу формирования полноценной, насыщенной информацией, BIM-модели объекта культурного наследия, а значит, памятник архитектуры будет сохранен для будущих поколений.

**Е.А. Санкина**  
(Bentley Systems)