

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ НВИМ НА ПРИМЕРЕ ЦЕРКВИ ИОАННА ПРЕДТЕЧИ В КАМЕН- НЫХ ПОЛЯНАХ

Царёва О.С., к.т.н., старший преподаватель
К.А. Кузенков, студент гр. 3150801/50102 V курс
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
г. Санкт-Петербург

Практически все памятники истории, архитектуры, градостроительства и искусства подвержены комбинированному воздействию как природных, так и антропогенных факторов. Сохранение памятников культурного наследия - одна из важнейших задач человечества. Одним из наиболее эффективных способов сохранения исторических зданий — это информационное моделирование объектов культурного наследия (НВИМ) [6, 7], которое автоматически создает полные инженерные чертежи для сохранения исторической структуры и окружающей среды. Сюда входят трехмерная документация, орфографические проекции, разрезы, детали и графики [5, 8]. Зачастую неизвестны особенности строения объектов культурного наследия и свойства материалов, из которых они изготовлены, что предполагает индивидуальный подход к оценке распространения и накопления в них деформаций. В связи с этим необходимо создать систему геодезического контроля изменений процесса деформирования во времени, которая будет давать количественную информацию о состоянии объекта и обеспечивать возможность заблаговременного применения действий по обеспечению их сохранности. В настоящее время существуют различные методы оценки деформаций, достоинства и недостатки которых описаны в [3], и выбор был сделан в пользу использования полярной пространственной засечки, реализация которой возможна, в частности, с использованием тахеометров (в том числе и роботизированных), поскольку эти приборы позволяют оперативно оценить деформацию здания или конструкции.

Подробно методика наблюдений с помощью тахеометра описана в работах [2, 4, 10]. Основная идея заключается в том, что при наблюдениях точки стояния прибора не закрепляют, выполняя наблюдения по методу «свободных станций». Это связано с тем, что в условиях реставрационных работ не всегда удается сохранить постоянство схемы наблюдений.

Полярная пространственная засечка может быть реализована, в частности, с использованием наземных лазерных сканеров. Рассмотрим технологию лазерного сканирования для НВИМ на примере церкви Иоана Предтечи в Каменных Полянах.

Лазерное сканирование представляет собой процесс дистанционного сбора информации об объектах местности с помощью лазерных сканеров.

Принцип действия сканеров основан на пространственной полярной засечке: в результате измерения расстояний и углов до точек поверхности объекта (точек лазерных отражений) вычисляются пространственные координаты этих точек. В отличие от традиционных геодезических измерений, лазерное сканирование позволяет выполнить с высокой детальностью цифровую модель как всего объекта, так и его отдельных частей [9, 11].

Объект исследования представляет собой двухэтажное кирпичное здание, возведенное в 1552-1563 годах. Церковь состоит из притвора с колокольной, наоса (средней части) и алтарной части. Справа и слева от алтаря находятся небольшие помещения ризницы. Крыши обеих ризниц и средней части храма увенчаны купольными постройками. На момент проведения работ здание находилось в аварийном состоянии. Соединение между притвором и наосом разрушено полностью. Местами разрушена кирпичная кладка – в стенах присутствуют значительные пробоины (рисунок 1, а). Перекрытие между первым и вторым этажами частично обвалилось (рисунок 1, b). Из трех куполов лучше всего сохранился купол над левой ризницей, от остальных остались только барабаны (рисунок 1, d – остатки купола над наосом). Частично обрушено потолочное перекрытие второго этажа (рисунок 1, e). Храм заброшен, территория вокруг него занята борщевиком Сосновского, из-за чего затруднен подход к зданию (рисунок 1, c).

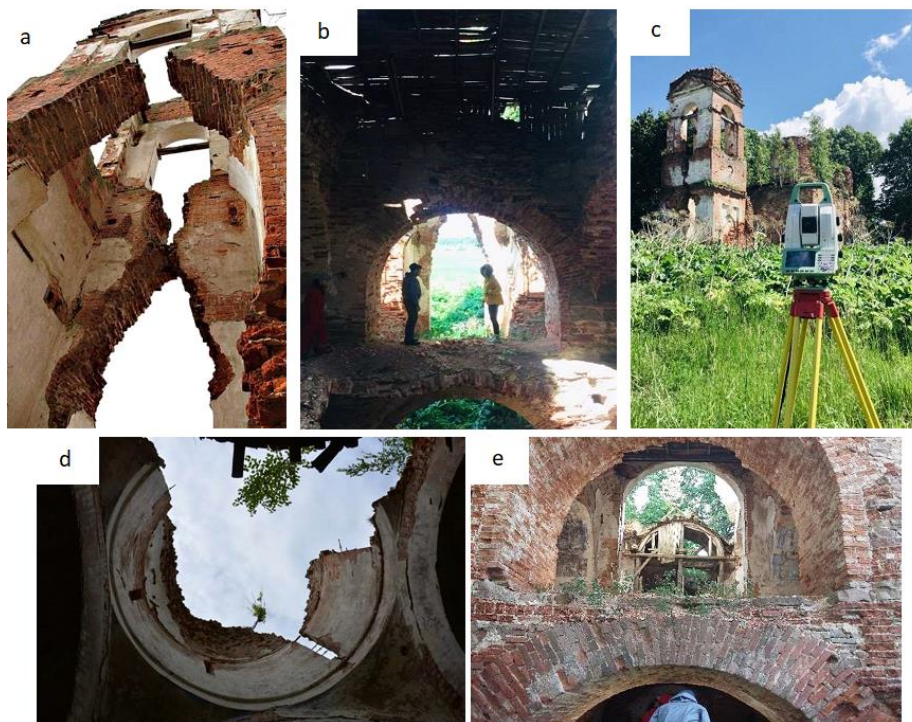


Рисунок 1 – Состояние объекта изысканий на июнь 2018 г.

Для создания 3D-модели была выбрана технология лазерного сканирования, позволяющая в сжатые сроки получить большой объем данных, в том числе о труднодоступных небезопасных зонах. Это особенно актуально при аварийном состоянии исследуемого объекта.

В рамках исследования поставлена задача получить идеализированную цифровую модель церкви Иоана Предтечи на основе лазерного 3D сканирования.

Для проведения полевых работ были использованы следующие приборы и оборудование: лазерный сканер Surphaser 25HSX IR_X (рисунок 2), роботизированный тахеометр Leica MS60, визирные марки, два штатива. Управление сканером выполнялось с ноутбука через программу SurphExpress Standard.



Рисунок 2 – Лазерный сканер Surphaser 25HSX IR_X в рабочем положении

Полевые работы включали в себя рекогносцировку местности и выполнение сканирования.

В результате рекогносцировки местности были определены пункты установки прибора. Пункты выбирались таким образом, чтобы получить максимально полный объем данных и исключить «мертвые зоны».

В результате было получено:

- 9 сканов второго этажа;
- 3 скана первого этажа;
- 9 наружных сканов;
- 1 скан колокольни.

Камеральная обработка результатов сканирования заключалась в сведении всех сканов в единую систему координат и последующем экспорте полученного облака точек в удобном формате.

Увязка сканов была выполнена при помощи ПО JRC 3D Reconstructor с использованием встроенного модуля уравнивания Line Up Pro.

Перед загрузкой данных в программу необходимо было выполнить конвертацию сканов в поддерживаемый программой формат структурированного облака точек *.ptx. Файлы со сканера Surphaser 25HSX IR_X и роботизированного тахеометра Leica MS60 были сконвертированы в программе SurfExpress Standard, затем сканы в формате *.ptx были подгружены в ПО JRC 3D Reconstructor.

Уравнивание сканов в модуле Line Up Pro выполнялось в следующем порядке:

- 1) облака точек разбиты на три группы: сканы первого этажа церкви, сканы второго этажа церкви и внешние сканы;
- 2) уравнены сканы внутри групп;
- 3) уравнены между собой группы сканов.

Средние квадратические ошибки уравнивания по группам приведены в таблице 1.

Таблица 1- Средние квадратические ошибки уравнивания по группам сканов:

Группа сканов	СКО, мм
Первый этаж	20,58
Второй этаж	2,20
Внешние сканы	4,46

Средняя квадратичная ошибка уравнивания групп сканов между собой составила 3.87 мм.

Построенная 3D-модель, представляющая собой единое облако точек, была экспортирована в ПО Autodesk ReCap (рисунок 3). Полученная модель не готова к экспорту для построения НВИМ модели, так как содержит точки, принадлежащие деревьям и кустарникам, которые могут затруднить ее построение. В программе была произведена очистка скана от лишних элементов.



Рисунок 3 – Лишние элементы на 3д скане

Когда скан был подготовлен, его экспортировали в ПО Autodesk Revit 2020 для построения BIM модели (рисунок 4):



Рисунок 4 – Облако точек цифровой модели

При анализе трехмерного объема здания на первом этапе использовали старые обмерные планы [1]. Эти 2D-чертежи были существенно уточнены и дополнены за счет облаков точек. Построение идеализированной (без учета деформаций) модели производилось с первого этажа, повторяя формы конструктивных элементов в плане (рисунок 5):

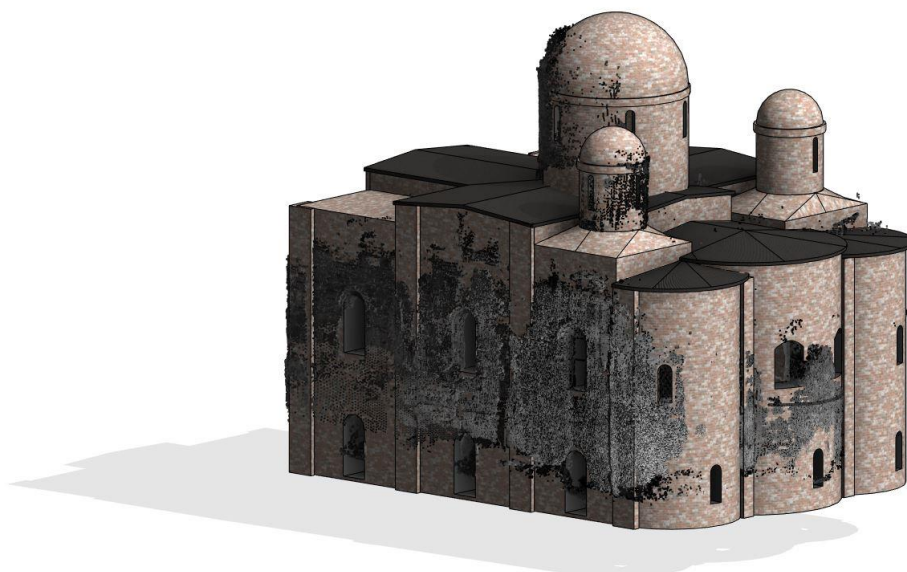


Рисунок 5 – Совместная НВИМ модель

При построении BIM модели на основе 3D-скана сооружения в аварийном и сильно деформируемом состоянии были выявлены определенные трудности и особенности построения. Основные расхождения со старыми чертежами стали очевидны с самого начала, при этом дополнительные сложности возникли и при сопоставлении многоуровневых планов этажей. Сложно было выполнить переход от центральной башни (круглого сечения) к аркам (квадратного сечения в плане), на которые она опирается. Такой прямой подход к решению данной задачи привел к невозможности корректного продолжения

работы, начиная со второго этажа. Это связано с большим креном и деформациями сооружения, в следствие чего конструктивные элементы логически не связывались между собой, (колонны второго этажа приходили не в колонны, а перекрытие). Также построение модели затрудняло разрушенное состояние многих элементов церкви.

Исследователями были выполнены обмеры здания Церкви Иоанна Предтечи и создана по ним детализированная компьютерная модель.

Проанализирована конструкция церкви, найдены дополнительные источники по ее обследованию, фото-референсы и примеры сооружений подобной архитектуры для приблизительного восстановления информации по разрушенным частям церкви.

По результатам исследований предложена классификация объектов по степени сложности их конструкций для моделирования и в зависимости от наличия исходных данных:

Простые объекты (линейные стены, прямые углы), Средней сложности (объекты можно при помощи примитивов с прямыми углами, сферами, цилиндрами и другими линейными формами, типовые металлические конструкции) и Сложные (например, Церковь, множество криволинейных форм и форм переменного сечения, не параметрические искривления, не типовые конструкции). По исходным данным: фотографии, чертежи, Модель облака точек (таблица 2).

Таблица 2 – Категории сложности объектов и исходные данные для построения BIM модели

	Простой сложности	Средней сложности	Сложные
Фотографии	+	+	+
Чертежи	+	+	+
Лазерное сканирование		+(при необходимости)	+(обязательно при отсутствии чертежей)

Так, для простых моделей не рационально использовать лазерное сканирование, если есть чертежи. Для сложных моделей лазерное сканирование может выполняться с целью проверки текущего состояния объекта. При отсутствии чертежей для сложных моделей лазерное сканирование может стать единственным источником для контроля динамики деформаций во времени.

Полученная таким образом модель может быть в дальнейшем использоваться для разработки проекта реконструкции памятника культурного наследия.

Список литературы

1. Булкин, В.А. Церковь Рождества Иоанна Предтечи в Каменных Полянах / В.А. Булкин, О.В. Боровицкая, И.П. Любарова, О.А. Прудников // Новгородские древности. Вып. VI. Общество историков архитектуры. Архив архитектуры XII. – М.: 2000. – 93 с.

2. Корнилов, Ю.Н. Совершенствование методики наблюдений за деформациями зданий и сооружений / Ю.Н. Корнилов, О.С. Царёва // Геодезия и картография. – 2020. – Т.81. – № 4 – С. 9-18. – ISSN 0016-7126.
3. Степанова, О.С. Анализ способов геодезических наблюдений за деформациями применительно к объектам культурного наследия / О.С. Степанова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва. – 2014. – №4. – С. 418-422. – ISSN 0236-1493.
4. Царёва, О.С. Новая методика наблюдений за деформациями памятников культурного наследия / О.С. Царёва, И.И. Дмитриев // Политехническая неделя в Санкт-Петербурге : материалы научного форума с международным участием. Кафедра водохозяйственного и гидротехнического строительства. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – С. 151-154.
5. Dore, C. Integration of historic building information modeling and 3D GIS for recording and managing cultural heritage sites / C. Dore, M. Murphy // 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia: “Virtual Systems in the Information Society”. – 2012. – Pp. 369-376.2.
6. Khodeir, L.M. Integrating HBIM (heritage building information modeling) tools in the application of sustainable retrofitting of heritage buildings in Egypt / L.M. Khodeir, D. Aly, S. Tarek // Procedia Environmental Sciences. – 2016. – Vol. 34.– Pp. 258-270.
7. Murphy, M. Historic building information modeling (HBIM) / M. Murphy, E. McGovern, S. Pavia // Structural Survey. – 2009. – Vol. 27. – Issue 4. – Pp. 311-327.
8. Murphy, M. Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture / M. Murphy, E. McGovern, S. Pavia // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2013. – Vol. 76.– Pp. 89-102.
9. Sherstobitova, P. Monolithic Constructions Quality Assessment with Laser Scanning / P. Sherstobitova, M. Petrochenko, S. Nasypajko, I. Prohorova, R.M. de Andrade, M. Matskina // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2020. – Vol. 70.– Pp. 705-713.
10. Tsareva, O. Improving the methodology for observing deformations of buildings and structures / O. Tsareva, F. Portnov // E3S Web of Conferences. – 2019. – №110, 01056. – 8 p. – ISSN 25550403.
11. Wu, Y. Three-dimensional laser scanning for the bridge deformation of shanghai maglev train / Y. Wu, L. Zhang, V. Badenko, R.D. Garg // Lecture Notes in Electrical Engineering. – 2020. – Vol. 517.– Pp. 315-329.