

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОСНОВЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ИСТОРИЧЕСКОГО ЗДАНИЯ

**А.Е. Сапронов, И.Ф. Сибгатуллин, Р.Р. Нуриахметов,
О.Д. Кушнир,**

А.В. Старовойтов, Б.М. Усманов

Казанский (Приволжский) федеральный университет

В последнее время при проектировании и строительстве зданий и сооружений применяется технология информационного моделирования, которая позволяет создать виртуальную копию здания или сооружения на всех этапах его жизненного цикла, от проектирования до консервации и сноса. Информационные модели создаются как для проектируемых зданий, так и для уже построенных. Во втором случае важной частью процесса моделирования является получение информации о пространственных характеристиках объекта: его форме, размерах, геометрических свойствах отдельных элементов.

Информационное моделирование здания (за рубежом данная технология известна, как Building Information Modeling - BIM) – это процесс создания и использования информации о сооружении, формирующей основу для всех планово-архитектурных решений на протяжении жизненного цикла объекта (от планирования и выпуска рабочей документации, до эксплуатации), в основе которого лежит создание трехмерной информационной модели сооружения.

При информационном моделировании различных объектов стоит отдельно отметить создание моделей зданий, которые являются памятниками архитектуры и имеют важное культурно-историческое значение, но при этом активно эксплуатируются в настоящее время. Таких зданий много в деловых культурно-исторических центрах старых городов. В качестве яркого примера можно привести Казань. Город имеет тысячелетнюю историю, в нем переплетаются западная и восточная культуры. При этом современная инфраструктура Казани активно развивается с применением передовых технологий. Важно динамически включить старые здания в современную инфраструктуру города, сохранив при этом их исторический архитектурный облик.

Весной 2017 года выпускниками и сотрудниками кафедры астрономии и космической геодезии Института физики, при содействии специалистов кафедры ландшафтной экологии Института экологии и природопользования и кафедры геофизики и геоинформационных технологий Института

геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета были выполнены исследования по применению различных методов получения пространственных данных для создания информационной модели.

В качестве объекта для изучения была выбрана часть здания Городской астрономической обсерватории (здание кафедры астрономии и космической геодезии КФУ), также именуемая как «Спутник» (рис. 1). Здание расположено в центральной части г. Казани и находится на территории двора Главного здания Казанского федерального университета.

Здание кафедры, построенное по проекту архитектора М.П. Коринфского в стиле классицизма в 1838 году, является памятником архитектуры и поэтому для сохранения его



Рис. 1 Здание Городской астрономической обсерватории. Красной рамкой выделен моделируемый объект – «Спутник»

облика, в случае реконструкции, ремонта, добавления элементов в его архитектуру необходимо создать трёхмерную пространственную основу для информационной модели.

В работе рассмотрены и практически реализованы два основных метода получения пространственных характеристик объекта:

Метод лазерного сканирования.

Фотограмметрический метод.

На основе полученных двумя этими способами пространственных данных, линейных обмеров и собранной информации об исследуемом объекте в программном обеспечении Autodesk Revit построена информационная модель здания в первом приближении.

1. Метод лазерного сканирования – технология, позволяющая создать цифровую трехмерную модель объекта. Технология основана на использовании новых геодезических приборов – лазерных сканеров, измеряющих координаты точек поверхности объекта с высокой скоростью порядка нескольких десятков тысяч точек в секунду. Полученный набор точек называется «облаком точек». В процессе съемки для каждой из них записываются три координаты (XYZ) и численный показатель интенсивности отраженного сигнала. Он определяется свойствами поверхности, на которую падает лазерный луч. Облако точек раскрашивается в зависимости от степени интенсивности и после сканирования выглядит как трехмерное цифровое фото.

Натурные измерения были выполнены в период с 23.02 по 17.03.2017 года. Общее количество станций сканирования составило 14 станций. Всего получено 879 151 точка сканирования. Был использован сканирующий тахеометр Trimble VX. Сканирование объекта выполнялось как снаружи, так и во внутренних помещениях. Для объединения, полученных с разных станций облаков точек в единое целое, перед началом проведения работ было создано геодезическое обоснование в виде замкнутого хода в условной системе координат. Проложение хода выполнялось согласно трехштативной системе с помощью комплекта призм и прецизионного роботизированного электронного тахеометра (ПЭТ) Trimble S8. Камеральная обработка выполнена в программном пакете Credo DAT v. 4.1.

Для импорта и объединения облаков точек в единый файл использовано программное обеспечение Trimble Business Center. Трехмерная пространственная модель построена в ПО SketchUp с модулем Undet. Модель создавалась в два этапа.

Сначала по облаку точек создавались отдельно взятые элементы здания: окна, двери и т.д. Благодаря возможности SketchUp данные элементы были сформированы в отдельно взятые компоненты, что позволило в дальнейшем редактировать эти объекты и переносить их по местоположению в облаке точек. Так же, на некоторые элементы здания были наложены цвета и заданы типы структур.

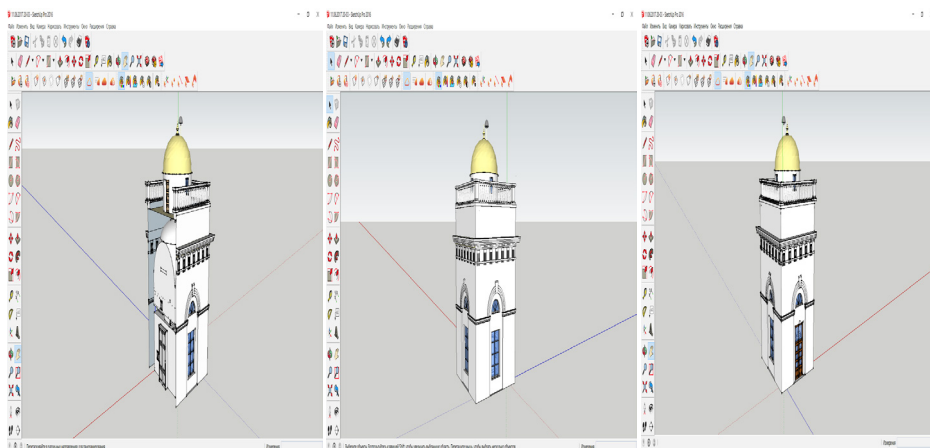


Рис. 2 Трёхмерная модель фасада здания

На втором этапе из созданных элементов собрана трёхмерная модель объекта «Спутник» (рис. 2,3). В модели было создано 257 различных элементов и 49 компонентов. Трёхмерная модель имеет 486654 грани, так как обладает высокой детальностью построений.

Для дальнейшего улучшения модели и создания на ее основе BIM можно выполнить экспорт в различных форматах: *.3ds, *.dwg, *.dxf, *.kmz, *.obj и т.д. В результате с полученной моделью можно работать в таких программах, как AutoCad, Revit, Google Планета Земля и многих других.

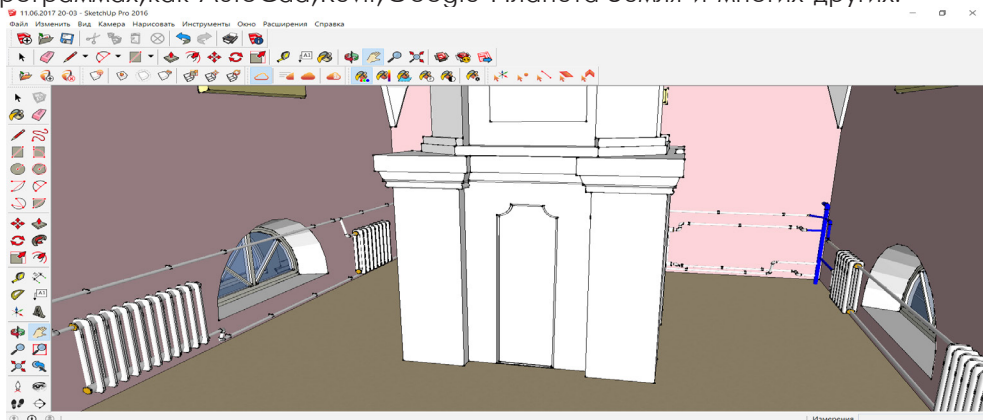


Рис. 3. Трёхмерная модель интерьера второго этажа

2. Фотограмметрический метод. Альтернативный способ получения облака точек моделируемого объекта – фотограмметрический метод. Данная технология основана на обработке перекрывающихся цифровых снимков, полученных с различных станций.

Цифровая фотосъемка исследуемого объекта производилась в марте, апреле 2017 г. Фотосъемка фасада и крыши «Спутника» выполнялась с помощью цифрового зеркального фотоаппарата Canon EOS 5D Mark II и экшн-камеры GoPro HERO 4 Silver, закрепленной на беспилотном летательном аппарате – квадрокоптере DJI Phantom 2.

При фотосъемке интерьера первого и второго этажа «Спутника» использовался цифровой зеркальный фотоаппарат Nikon D3100 с объективом Samyang 8mm 1:3.5 UMC FISH-EYE CS II Aspherical NI. Тип данного объектива - FISH-EYE (рыбий глаз) с неисправленной дисторсией и большим углом обзора. Такой объектив был выбран из-за особенностей строения исследуемой части здания – ограниченного пространства внутри фотографируемых помещений.

В таблице 1 приведен общий объем отснятого материала.

Таблица 1. Объем отснятого материала

| Фотографируемый элемент | Модель цифровой фотокамеры | Количество снимков | Объем одного снимка, Мб | Формат снимка |
|-------------------------|---|--------------------|-------------------------|---------------|
| Фасад и крыша | GoPro HERO 4 | 199 | 6 | JPEG |
| | Canon EOS 5D Mark II | 168 | 27 | RAW |
| Интерьер первого этажа | Nikon D3100 (объектив Samyang - «рыбий-глаз») | 193 | 11 | RAW |
| Интерьер второго этажа | Nikon D3100 (объектив Samyang - «рыбий-глаз») | 220 | 11 | RAW |

Для определения масштаба модели и привязки ее к заданной системе координат использовались кодированные маркеры. На одном листе помещалось два маркера с фиксированным расстоянием между их центрами для более точного определения масштаба модели. Для координатной привязки с помощью РЭТ Trimble S8 определялось положение центров маркеров в заданной системе координат. Было использовано, построенное ранее геодезическое обоснование лазерного сканирования.

Предобработка, полученных снимков выполнялась в ПО Adobe Lightroom, с целью улучшения качества снимков для дальнейшего построения облака точек. Последующая камеральная обработка производилась в

ПО Agisoft Photoscan и включала следующие шаги:

- загрузка фотографий в PhotoScan;
- выравнивание фотографий;
- построение плотного облака точек;
- построение трехмерной полигональной модели;
- текстурирование объекта;
- экспорт результатов.

В результате было получено плотное облако точек для всего объекта (рис. 4) и построена текстурированная модель фасада «Спутника» (рис. 5).

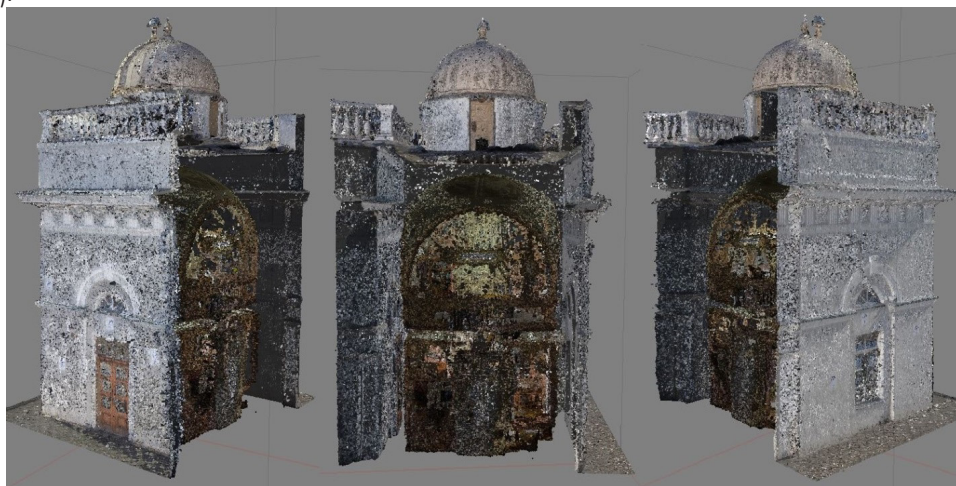


Рис. 4 Единое плотное облако точек части здания

Из ПО Agisoft Photoscan был выполнен экспорт плотного облака точек в формате *.las (объем файла ~ 5 Гб). Использование этого формата позволит в дальнейшем построить информационную модель здания в предназначенном для этого программном обеспечении.



Рис. 5 Текстурированная 3D модель фасада

3. Построение информационной модели части здания.

В результате выполненных работ были получены два облака точек: фотограмметрическим методом и с помощью лазерного сканирования. На основе этих данных и линейных обмеров в ПО Autodesk Revit создана информационная модель части здания кафедры астрономии и космической геодезии – «Спутник». Информация о свойствах объекта собрана на основе архивных документов и внешнего осмотра здания.

Построение BIM модели в программе Revit можно разделить на три основных этапа:

Создание отдельных структурных элементов объекта по обмерам, в т.ч. по данным фотограмметрии и лазерного сканирования (окна, двери, отдельные детали фасада и т.д.);

Конструирование единого объекта из полученных структурных элементов;

Наполнение элементов информацией о физических и других свойствах.

Общий вид, построенной в программе Autodesk Revit модели показан на рисунке 6.

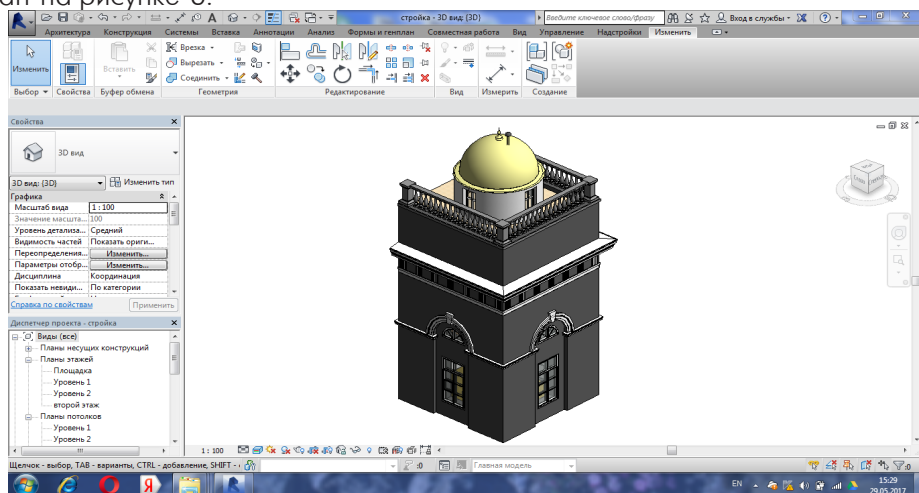


Рис. 6 Общий вид информационной модели в ПО Autodesk Revit



Рис. 7 Визуализация трехмерного вида интерьера

Созданная модель позволяет получить информацию разного характера об объекте: от трехмерной визуализации (рис. 7) до отдельных чертежей и разрезов различных частей объекта для проектирования, строительства, реконструкции, составления смет и т.д.

Для определения достоверности модели и оценки точности выполненных работ был произведен ряд контрольных промеров. Расхождения между размерами, определенными разными методами показаны в таблице 2. Цифрами в таблице обозначены: (1) – контрольные промеры, (2) – метод лазерного сканирования, (3) – фотограмметрический метод.

Таблица 2. Сравнение и контроль методов построения пространственной основы

| Элементы | Длина элемента (мм) | (1)-(2) (мм) | (1)-(3) (мм) |
|------------------|---------------------|--------------|--------------|
| Фасад | | | |
| Стойка на крыше | 520 | 10 | 3 |
| Элемент стены | 2171 | 9 | 9 |
| Стена у крыши | 6740 | 5 | 0 |
| Первый этаж | | | |
| Окно | 1486 | 4 | 6 |
| Демпферный столб | 2335 | 10 | 5 |
| Входная дверь | 1590 | 0 | 0 |
| Второй этаж | | | |
| Окно | 1595 | 5 | 5 |
| Стена | 4720 | 5 | 5 |
| Лампа | 1275 | 5 | 5 |

Графическое представление разности контрольных измерений и измерений, полученных на основе облаков точек, созданных методами фотограмметрическим и лазерного сканирования показано на рисунке 8.



Рисунок 8 График разности контрольных измерений и измерений, полученных на основе облаков точек, созданных методами фотограмметрическим и лазерного сканирования

Анализ полученных разностей показывает, что расхождение данных облаков точек и контрольных измерений не превышают 10 мм, что говорит о высокой достоверности созданной модели. Восстановленная с такой точностью модель при некоторой доработке может быть использована в дальнейшем для виртуальной консервации архитектурного облика здания и для проектирования новых элементов при его возможной дальнейшей реконструкции.

В заключение стоит сказать несколько слов о достоинствах и недостатках каждого рассмотренного метода сбора пространственных данных. Метод лазерного сканирования является наиболее надежным и точным, но при этом наиболее трудоемким и дорогим. Чтобы повысить его производительность необходимо использовать лазерные сканеры высокой частоты (порядка 1 млн. точек в секунду). Стоимость таких инструментов весьма высока. Также возникает ряд трудностей в ограниченных пространствах небольших помещений.

Себестоимость фотограмметрического метода сравнительно ниже затрат на лазерное сканирование. В данной технологии используются профессиональные цифровые фотокамеры и бытовые беспилотные летательные аппараты. Получение измерительной информации менее трудоемкое, чем во время лазерного сканирования. Однако для того чтобы получить

точность облака точек сопоставимую со сканированием, необходимо получить большой объем измерительной информации (цифровых фотоснимков). Для их корректной обработки необходимы большие вычислительные мощности. Также метод испытывает ряд трудностей в закрытых ограниченных пространствах, связанных с плохой освещенностью, и необходимостью использовать специальные широкоугольные объективы («рыбий глаз»). При использовании ПО Agisoft Photoscan возникают трудности при моделировании слабо текстурированных поверхностей.

Обмерные чертежи являются наиболее простым и дешевым способом, но не позволяют получить детальную информацию о геометрии объекта. Они могут быть использованы как дополнение к перечисленным выше методам или в тех случаях, когда полученной по ним информации достаточно для решения поставленных задач.

Следует отметить, что моделирование на основе лазерного сканирования и фотограмметрии требует высоких аппаратных ресурсов.

Построенная в работе информационная модель является лишь первым приближением к полноценной BIM модели. Основной акцент был сделан на изучение методов сбора пространственных данных об объекте. В то время как BIM это в первую очередь информационная модель, которая должна позволять согласованно работать со всей возможной информацией об объекте различным специалистам. Тем не менее, выполненные исследования могут быть продолжены, а полученная модель может быть дополнена и усовершенствована, поскольку технологии BIM являются перспективным направлением организации и управления создаваемой человеком бытовой и промышленной инфраструктуры.

Литература

Сибгатуллин И.Ф. Выпускная квалификационная работа: Создание пространственной основы информационной модели здания методом лазерного сканирования. КФУ, Казань 2017г.

Нуриахметов Р.Р. Выпускная квалификационная работа: Фотограмметрический метод построения пространственной основы информационной модели здания. КФУ, Казань 2017г.

Кушнир О.Д. Выпускная квалификационная работа: Создание информационной модели части здания кафедры астрономии и космической геодезии. КФУ, Казань 2017г.

Середович В.А., Комиссаров А.В., Комиссаров Д.В., Широкова Т.А. Наземное лазерное сканирование: монография. – Новосибирск: СГГА, 2009. – 261 с.

Батишев. В. Bim Технологии – Журнал «Sport Build», 2015. – 53с.

Наземное и воздушное лазерное сканирование. [Электронный ресурс]. 2010-2017. URL: <http://www.sibgeomap.com>. (Дата обращения 19.04.2017).

Назаров А. С. Фотограмметрия: учеб. пособие для студентов вузов. – Мн. : ТетраСистемс, 2006. – 368с.

Старовойтов А.В., Чернова И.Ю. Создание локальной инфраструктуры пространственных данных для ведения археологических исследований на базе современных геодезических и ГИС-технологий. – Казанский федеральный университет, - 12 с.

Джарроуш Д. Обычная цифровая камера как практический геодезический измерительный инструмент: проблемы и решения. - Журнал «Геопрофи», 2013. – 17 с.

Выграненко К.Н. Применение современных методик фотограмметрического анализа в реалиях архитектурно-градостроительного проектирования. – Сибирский федеральный университет, 6 с.

Талапов В.В. «Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий». 2011.

Петелин А. SketchUp просто 3D. Версия 2: Google/Trimble SketchUp Pro 8. – Учебник справочник, 2013. – 143 с.

Модуль Undet для SketchUp. [Электронный ресурс]. 2015-2017. URL: <http://www.undet.com>. (Дата обращения 12.05.2017).

Характеристики и описание приборов Trimble. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.trimble.com>. (Дата обращения 28.04.2017).

Руководство пользователя Agisoft PhotoScan: [Электронный ресурс]. 2017. URL: <http://agisoft.com>. (Дата обращения 24.11.2016)

Пособие Autodesk “Информационное моделирование объектов промышленного и гражданского строительства”.