

О первых результатах лазерного сканирования и 3D-моделирования Шуховской башни на Шаболовке

М.Н.Аникушкин, А.В.Иванов, А.В.Леонов

Радиобашня на Шаболовке – символ советского радио- и телевидения, всемирно известный памятник архитектуры русского авангарда [1]. Сегодня её чаще называют Шуховской башней, по имени её создателя – выдающегося русского инженера, члена-корреспондента и почётного члена Академии наук СССР Владимира Григорьевича Шухова (1853–1939). Башня была построена в 1919–1922 годах, трансляция радиопередач началась 19 марта 1922 года. В 1937–1967 годах башня использовалась также для телевидения.

Капитальный ремонт башни не проводился ни разу за 90 лет. «Шуховская» несущая конструкция (шесть гиперболоидных секций) сохранилась практически в первоначальном виде. В разные годы на ней был установлен ряд дополнительных элементов: технологические платформы на разных уровнях и ферма для подводки фидеров (1937), промежуточные кольца жёсткости (1973), новая надстройка для крепления антенн УКВ-ЧМ (1991), грузопассажирский электрический лифт, антенны сотовой связи и др.

Коррозия стальных конструкций башни достигла угрожающего уровня уже в 1991 году [8], но государственные средства на реставрацию были выделены только в 2011 году. Существует несколько проектов реставрации башни [2]. В настоящее время проводится государственная экспертиза проектной документации, подготовленной ООО «Качество и надёжность» в 2011 году, которая подразумевает приведение башни к первоначальному виду 1922 года. По этому проекту, в частности, планируется демонтировать и спустить на землю для реставрации две верхние гиперболоидные секции башни, а затем смонтировать их заново.

В связи с масштабными реставрационными работами, запланированными на 2012 год, а также в связи с 90-летним юбилеем башни в 2012 году и 160-летним юбилеем В.Г.Шухова в 2013 году, в ИИЕТ РАН в конце 2011 года было принято решение о создании точной цифровой 3D-модели башни. Цель проекта – сохранить точную и детальную информацию о «шуховской» конструкции до её демонтажа и реставрации, обеспечить доступ к этим данным широкой публике. Проект выполняется Центром виртуальной истории науки и техники ИИЕТ РАН при поддержке ООО «Триметари», г. Санкт-Петербург.

Источники данных

Проектная и рабочая документация по башне практически не сохранилась, в Архиве РАН и РГАНТД находятся четыре разрозненных чертежа [3–5].

В 1947 году был выполнен подробный обмер конструкции башни [6]. В пояснительной записке отмечается: *«Техническая документация (технический проект, рабочие чертежи и расчёты) по башне не сохранились. В 1937 году, для установки антенны телевизионного центра и подводки фидера по высоте башни до вышки, была установлена металлическая двухстенчатая ферма и выполнены три площадки (на отметке 141,768; 144,3 и 148,378 м.) На все металлоконструкции выполненные по реконструкции имеются рабочие чертежи»* [6, черт. 281-3]. Однако уже в 1971 году документация 1937 года считалась утерянной: *«В 1937 году трестом “Радиострой” была выполнена реконструкция башни: установлена металлическая двухстенчатая ферма и выполнены три площадки*

на отметке 141,768; 144,3 и 148,378 м. Техническая документация на строительство и реконструкцию башни не сохранилась» [7, черт. 569-4].

В 1971 году было выполнено определение несущей способности металлоконструкций башни и составлено заключение о возможности её дальнейшей эксплуатации [7]. В пояснительной записке отмечено: «Основные геометрические размеры башни, отметки и диаметры опорных колец приняты в соответствии с выпуском № 281 Проектстальконструкции 1947 г. Сечения элементов башни приняты на основании выпуска № 281 Проектстальконструкции 1947 года и материалов обследования ОРПС Министерства связи СССР 1971 г.» [7, 569-5].

В 1991 году был подготовлен проект надстройки для крепления антенн УКВ-ЧМ [8]. Общая схема башни, приведённая в этом проекте, повторяет схему 1947 года [8, лист 2]. В частности, на ней не указаны дополнительные промежуточные кольца жёсткости, установленные в 1973 году, технологические площадки на уровнях 50, 75, 100, 125 м и др.

Таким образом, общие сведения о геометрии башни, приведённые в доступной документации, основаны на обмере 1947 года и не отражают современного состояния башни. Поэтому основным источником данных для создания 3D-модели стали результаты лазерного сканирования башни, которое было выполнено нами в конце 2011 года. Документация 1947 года, любезно предоставленная ЦНИИПСК им. Мельникова, используется как вспомогательный материал для моделирования мелких элементов, а также для контроля создаваемой модели.

Аналогичные работы

В 2011 году были созданы, по меньшей мере, две 3D-модели башни, помимо того проекта, который представлен в настоящей работе.

Детальная 3D-модель башни на основе линейных обмеров и фотографий была создана в 2011 году в Математическом институте им. В.А.Стеклова РАН. В начале 2012 года на основе этой модели был создан научно-популярный фильм с компьютерной анимацией процесса постройки башни. Руководитель проекта – к.ф.-м.н. Н.Н.Андреев, заведующий Лабораторией популяризации и пропаганды математики.

Также в 2011 году ООО «НПП “Бента”» выполнила лазерное сканирование и 3D-моделирование несущей конструкции башни [9]. Работы были выполнены по заказу ООО «Качество и надёжность» и использовались при разработке проектной документации по реставрации башни. Лазерное сканирование производилось импульсным сканером Riegl VZ-400 в режиме LongRange. Полевой этап длился три дня, было сделано семь сканерных станций на расстоянии 100–200 м от башни (три на поверхности земли и четыре на близлежащих зданиях). Взаимное ориентирование сканов выполнялось по 6 сканерным маркам, расположенным на первом ярусе башни. Итоговая модель содержит около 50 млн. точек, точность взаимного ориентирования сканов авторы оценивают в 3–4 см. По результатам сканирования была создана каркасная модель башни, которая использовалась в дальнейшем для инженерных расчетов, а также трехмерная модель [9].

Описание выполненных работ

В декабре 2011 года нами было выполнено лазерное сканирование башни с использованием сканеров Leica ScanStation 2 и FARO Focus3D. Полевой этап длился три дня, было сделано семь сканерных станций (три на поверхности земли в 5–10 м от башни, одна на поверхности земли в центре башни, и три на технологических площадках, расположенных на разных уровнях башни – 100, 125 и 141 м). Точность взаимного ориентирования сканов со-

ставила 7 мм, итоговая модель содержит около 100 млн. точек. Модель была привязана к реперам в основании башни, а также к пунктам опорной геодезической сети Москвы.

В настоящее время ведётся 3D-моделирование башни в среде AutoCAD на основе результатов лазерного сканирования, а также доступной документации [3–8].

Для точного вписывания трёхмерных моделей в облако точек применяется следующий метод. Из облака точек выделяется часть, соответствующая отдельному элементу (например, швеллеру). Определяются края элемента, и проводится средняя линия. Перпендикулярно ей через каждые 2–3 м строятся секущие слои толщиной 1 см. По точкам, попавшим в секущий слой, вручную вписывается заранее известное сечение элемента (например, сечение швеллера N 14). Таким образом, получается набор из 10–12 сечений, по которым затем интерполируется профиль. Средняя точность «вписывания» трёхмерной модели элемента в облако точек, достигаемая таким методом, составляет 4–8 мм.

Таким образом, средняя точность построенной 3D-модели башни, по предварительным оценкам, составляет около 1 см в единой системе координат.

Предварительные результаты и их обсуждение

Лазерное сканирование башни, выполненное в ходе работ, позволило зафиксировать общую геометрию конструкции с высокой точностью и пространственным разрешением. Полученное облако точек является наиболее полной первичной 3D-документацией геометрии башни. Цифровая 3D-модель башни, созданная в результате проекта, вероятно, станет наиболее точной и детальной из существующих моделей.

Цифровая модель существенно упрощает доступ к данным о конструкции башни и позволяет привлечь широкий круг исследователей, в том числе зарубежных, к историческому и техническому анализу. В частности, 3D-модель позволяет выделить все элементы башни, не отражённые в доступной архивной документации, и таким образом поставить ряд вопросов для дальнейшего исторического исследования.

Заключение

Во всём мире сегодня активно ведётся создание цифровых 3D-моделей выдающихся памятников архитектуры, произведений искусства, образцов техники – «виртуального наследия» (Virtual Heritage). Ярким примером отечественных разработок в этой сфере является 3D-модель Шуховской башни на Шаболовке, представленная в данной статье.

Авторы благодарят за помощь директора ИИЕТ РАН Ю.М.Батурина, генерального директора МРЦ РТРС К.Т.Кудрявцева, директора ВГТРК О.Б.Добродеева, а также С.Александрова, Е.Н.Ашарина, П.А.Иваницкого, Л.Б.Ковалёву, В.А.Коньшева, Д.В.Линовского, И.А.Петропавловскую, Г.Р.Шеляпину.

Литература

1. *Петропавловская И.А.* Башня радиостанции на Шаболовке // В.Г.Шухов (1853–1939). Искусство конструкции / Пер. с нем. М.: Мир, 1994, с. 92–103.
2. *Петропавловская И.А.* Шаболовская башня в Москве (1919–2013). (Проекты реконструкции) // Годичная научная конференция, посвященная 120-летию со дня рождения С.И.Вавилова ИИЕТ им. С.И.Вавилова РАН (2011). М.: Изд-во «Янус-К», 2011, с. 560–563.
3. Шабловская радио-башня системы инж. Шухова. Высота 150 мт. Проект 1919 г. // Архив РАН. Ф. 1508. Оп. 1. Д. 85. Л. 1.
4. Сетчатая башня системы Инженера В.Г.Шухова. Высота башни = 150 metr. для безпроволочного телеграфа. Фундамент. 1921 г. // РГАНТД. Ф. 166. Оп. 1. Д. 36. Л. 1.

5. Верхнее кольцо 2-й секции радио-башни. 1921 г. // РГАНТД. Ф. 166. Оп. 1. Д. 36. Л. 2.
6. Обследование металлоконструкций башни системы Шухова Московского телевизионного центра. 1947 г. // Архив ЦНИИПСК им. Мельникова. Шифр 281.
7. Определение несущей способности металлоконструкций телебашни системы Шухова и составление заключения о возможности её дальнейшей эксплуатации. 1971 г. // Архив ЦНИИПСК им. Мельникова. Шифр ОРИС-569.
8. Металлоконструкции надстройки башни Шухова для крепления антенн УКВ-ЧМ. 1991 г. // Архив ЦНИИПСК им. Мельникова. Шифр 20-Ф 5720-1-КМ.
9. *Виноградов К., Степанов Д.* «3D-портрет» Шуховской башни // *Архитектура, реставрация, дизайн и строительство.* 2011. № 3 (49). С. 74–75.

Восприятие объектов в виртуальной истории науки и техники

Ю.М.Батурин

Виртуальное наследие – новое, бурно развивающееся в мире направление, которое с помощью трехмерного (3D) моделирования в виртуальном окружении позволяет точно воспроизводить, иногда воссоздавать утраченные объекты и сохранять их для последующих поколений. Первыми появились работы по культурному виртуальному наследию (виртуальные музеи, экскурсии и т.п.), затем по природному наследию (что очень важно, ибо, например, извержение вулкана может совершенно изменить ландшафт природного заповедника). Виртуальное наследие в области истории науки и техники – самая молодая область в этом ряду. И в ней ИИЕТ РАН, безусловно, занял лидирующие позиции, в том числе, и на международном уровне.

Суть виртуальной истории науки и техники – в создании 3D-документов (виртуальные модели памятников техники, трехмерная визуализация абстрактных математических и физических объектов, интерактивные 3D-модели, используемые учеными в своей научно-исследовательской работе, галерея 3D-портретов выдающихся ученых и др.), которые образуют различные виртуальные коллекции.

По сути, 3D-документ – форма организации информации, предназначенная для представления пользователю визуального образа (3D-модели) объекта или процесса в стереорежиме. Восприятие 3D-документа пользователем происходит через «погружение» в виртуальное 3D-пространство модели и взаимодействие с ней.

3D-документы продолжают ряд используемых в истории науки и техники способов визуализации, начиная с рисунков экспедиционных художников [1, с. 8], проходивших специальное обучение, включая карты-чертежи [2], географические карты, чертежи и схемы, до фото- и видеосъемок. Важно подчеркнуть, что ни один из этих способов фиксации объектов истории науки и техники не отменяет предыдущие, а дополняет их. Действительно, каждый из перечисленных способов имеет свои преимущества перед другими, но и свои недостатки. Поэтому на практике необходимо применять все доступные способы закрепления информации об объекте.

Восприятие объектов истории науки и техники в виртуальных моделях пока не изучено. В докладе предлагается подход, основанный на анализе работы мозга человека, в первую очередь его зрительной системы. Именно мозг создает (или воссоздает) внешний мир (объективную реальность) в виде некоторого представления о нем, причем отсутст-