

УДК 72.026.004.925.8

3D-моделирование Шуховской радиобашни на основе лазерного сканирования

Михаил Николаевич АНИКУШКИН, генеральный директор, e-mail: amn@trimetari.com

ООО «Триметари», 197101 Санкт-Петербург, Кронверкская ул., 5, БЦ «Студия», оф. 203

Андрей Владимирович ЛЕОНОВ, кандидат физико-математических наук, руководитель Центра виртуальной истории науки и техники ИИЕТ РАН, e-mail: a.leonov@ihst.ru

Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова (ИИЕТ) РАН, 109012 Москва, Старопанский пер., 1/5

Аннотация. Обоснована актуальность задачи 3D-документирования Шуховской башни. Описаны результаты лазерного сканирования башни. Предложена оригинальная методика 3D-моделирования гиперболических конструкций со скрученными стержнями на основе «облака точек» лазерного сканирования. Представлена разработанная 3D-модель башни. Даны оценки точности моделирования.

Ключевые слова: лазерное сканирование, 3D-моделирование, «Шуховская башня», виртуальное наследие.

3D-MODELING OF THE SHUKHOV TOWER ON SHABOLOVKA ON THE BASIS OF LASER SCANNING

Mikhail N. ANIKUSHKIN, Andrey V. LEONOV

Abstract. The actuality of the task of 3D-documentation of the Shukhov tower is substantiated. Results of the laser scanning of the tower are described. An original method of 3D-modeling of hyperboloid structures with twisted rods on the basis of a «point cloud» of laser scanning is proposed. The developed 3D-model of the tower is presented. The accuracy of modeling is evaluated.

Key words: laser scanning, 3D modeling, Shukhov tower, virtual heritage.

Радиобашня на Шаболовке, созданная В. Г. Шуховым в 1919–1922 гг., — символ советского радио- и телевидения, всемирно известный памятник архитектуры русского авангарда [1]. Сегодня ее чаще называют «Шуховской башней», по имени ее автора. Капитальный ремонт башни за все время ее существования не проводился. «Шуховская» несущая конструкция (шесть гиперболических секций) сохранилась практически в первоначальном виде. В разные годы на ней установили ряд дополнительных элементов (технологические платформы, промежуточные кольца жесткости и др.).

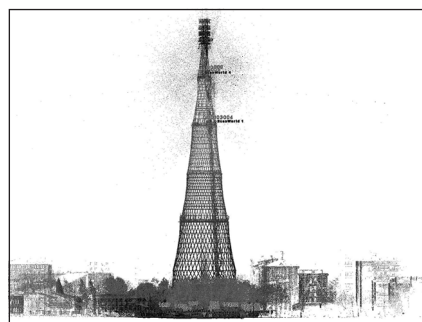
Техническое состояние несущих конструкций башни в настоящее время характеризуется как недопустимое, которое в любой момент может перейти в аварийное [2]. Коррозия стальных конструкций башни достигла угрожающего уровня еще в 1991 г. [3], но государственные средства на реставрацию выделили только в 2011 г. Существует несколько проектов реставрации башни [4]. В 2012 г. на государственную экспертизу направили проектную документацию, подготовленную ООО «ПСР «Качество и надежность». В соответствии с

ней планируют привести башню к первоначальному виду 1922 г. В частности, по этому проекту будут демонтированы и спущены на землю для

Рис. 1. Лазерное сканирование Шуховской башни, отм. 100 м



Рис. 2. «Облако точек» — первичный результат лазерного сканирования



реставрации две верхние гиперболические секции башни, а затем их смонтируют заново.

В связи с информацией о предстоящих масштабных реставрационных работах в Институте истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова (ИИЕТ) РАН в конце 2011 г. приняли решение о создании цифровой 3D-модели башни.

Цель проекта — сохранить точную и детальную информацию об уникальной конструкции до ее демонтажа и реставрации, обеспечить доступ к этим данным широкой публике. Проект выполнил Центр виртуальной истории науки и техники ИИЕТ РАН при поддержке ООО «Триметари».

Проектной и рабочей документации по башне практически не сохранилось, в архиве РАН и РГАНТД находятся три разрозненных чертежа [5–7].

В 1947 г. провели подробный обмер конструкции башни [8]. В пояснительной записке отмечается: «Техническая документация (технический проект, рабочие чертежи и расчеты) по башне не сохранились. В 1937 г. для установки антенны телевизионного центра и подводки фидера по высоте баш-

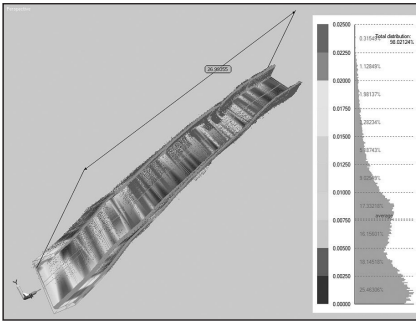


Рис. 3. Средняя точность вписывания трехмерной модели элемента в «облако точек»

ни 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» [8, черт. 281-3]. Однако уже в 1971 г. документация 1937 г. считалась утерянной. Во всех последующих проектах (1969, 1971, 1991 гг. и др.) схемы башни основаны на документации 1947 г. [9, 10, 3].

Таким образом, общие сведения о геометрии башни, приведенные в доступной архивной документации, основаны на обмере 1947 г. и не отражают современного состояния башни. В частности, не задокументированы индивидуальные деформации элементов, лишь частично указаны дополнительные элементы, установленные после 1947 г., плохо описано расположение стыков на скрученных стержнях гиперболических секций.

Поскольку доступной архивной документации оказалось недостаточно для точного 3D-моделирования

Рис. 4. Трехмерная модель башни, построенная по данным 3D-сканирования

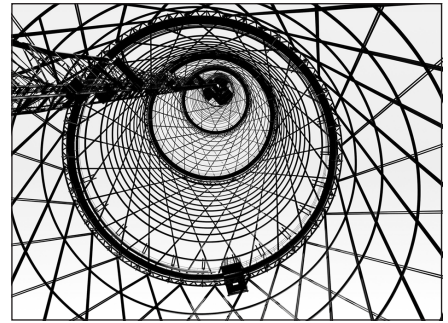
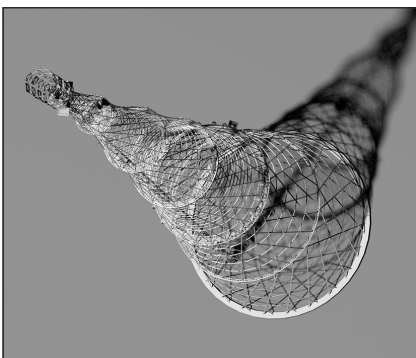


Рис. 5. Фрагменты твердотельной модели башни

современного состояния башни, в декабре 2011 г. авторы статьи выполнили лазерное сканирование башни с использованием сканеров «Leica ScanStation 2» и «FARO Focus3D». Полевой этап длился три дня, установлено семь сканерных станций. Четыре станции располагались на поверхности земли в непосредственной близости от башни (одна внутри и три снаружи) и еще три станции — на технологических площадках на разных уровнях: 100, 125 и 141 м (рис. 1).

Обработку результатов сканирования и сшивку сканов выполняли в программе «Leica Cyclone». Точность взаимного ориентирования сканов составила 7 мм, итоговая модель содержит порядка 100 млн точек (рис. 2).

На основе результатов лазерного сканирования осуществлено 3D-моделирование башни. Конечный результат представлен в САПР «Autodesk AutoCAD». При моделировании поставили задачу добиться точности вписывания (среднего отклонения твердотельной модели от «облака точек») порядка точности взаимного ориентирования сканов.

Наибольшую сложность представляло собой моделирование скрученных стержней (швеллеры, уголки), из которых составлены гиперболические секции башни. Для достижения требуемой точности применялся метод, состоящий из следующих шагов. Из «облака точек» выделяется часть, соответствующая отдельному элементу, например швеллеру. Определяются края элемента, проводится средняя линия. Перпендикулярно средней линии через каждые 2–3 м строятся секущие слои толщиной 1 см. По точкам, попав-

шим в секущий слой, вручную вписывается заранее известное сечение элемента (например, сечение швеллера № 14). Таким образом, для стержня длиной около 30 м получается набор из 10–12 сечений, по которым затем интерполируется профиль. Средняя точность вписывания трехмерной модели элемента в «облако точек» с помощью этого метода достигает 4–8 мм (рис. 3).

Таким образом, средняя точность построенной 3D-модели башни составляет около 1 см в единой системе координат. При этом твердотельные модели скрученных стержней достоверно отражают их индивидуальные деформации.

Для моделирования соединительных узлов и мелких элементов конструкции, плохо читаемых в «облаке точек» лазерного сканирования, а также для контроля использовали документацию 1947 г. [8], любезно предоставленную ЦНИИПСК им. Мельникова.

В 2011 г. сотрудники НПП «Бента» (Санкт-Петербург) также провели лазерное сканирование и 3D-моделирование несущей конструкции башни [11]. Работы выполнили по заказу ПСП «Качество и надежность» для разработки проектной документации по реставрации башни [2]. Лазерное сканирование осуществляли импульсным сканером «Riegl VZ-400» в режиме LongRange. Полевой этап провели за три дня, семь сканерных станций установили на расстоянии 100–200 м от башни. Точность взаимного ориентирования сканов составила 3–4 см. По результатам сканирования создали каркасную 3D-модель башни, которую использовали в дальнейшем для инженерных расчетов, а также твердотельную

3D-модель. Сравнение двух твердотельных моделей, построенных полностью независимо по результатам лазерного сканирования, показало хорошее соответствие между ними [12].

Выводы

Полученное «облако точек» и созданная на его основе трехмерная модель в настоящее время, вероятно, — наиболее полная и точная 3D-документация геометрии башни. С высокой точностью и детализацией смоделированы все основные конструктивные элементы шести гиперболических секций (скрученные стержни, опорные кольца, промежуточные кольца жесткости) и соединительные узлы. Также смоделированы дополнительные элементы — технологические платформы, лифт и др. (рис. 4–6).

Геометрическая точность моделирования, достигнутая в ходе реализации проекта, избыточна с точки зрения практических задач сегодняшнего дня. Как показывает опыт аналогичных работ, инженерные расчеты могут выполняться с использованием

более простых 3D-моделей. Поэтому представленный проект должен рассматриваться прежде всего как цифровая фиксация (3D-документирование) памятника техники и архитектуры, создание «виртуального наследия» (Virtual Heritage) в интересах общества.

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. Техническое состояние несущих конструкций радиобашни В. Г. Шухова / В. В. Гранёв, А. Н. Мамин, Э. Н. Кодыш [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 12. С. 90–92.
3. Металлоконструкции надстройки башни Шухова для крепления антенн УКВ-ЧМ. 1991 г. // Архив ЦНИИПСК им. Мельникова. Шифр 20-Ф 5720-1-КМ.
4. Петропавловская И. А. Шаболовская башня в Москве (1919–2013). (Проекты реконструкции): сб. тр. Годичной научной конф. ИИЕТ РАН 2011 г., посвященной 120-летию со дня рождения С. И. Вавилова. М.: Янус-К, 2011. С. 560–563.

5. Шабловская радиобашня системы инж. Шухова. Высота 150 м. Проект 1919 г. // Архив РАН. Ф. 1508. Оп. 1. Д. 85. Л. 1.
6. Сетчатая башня системы инженера В. Г. Шухова. Высота башни = 150 metr. для беспроводного телеграфа. Фундамент. 1921 г. // РГАНД. Ф. 166. Оп. 1. Д. 36. Л. 1.
7. Верхнее кольцо 2-й секции радиобашни. 1921 г. // РГАНД. Ф. 166. Оп. 1. Д. 36. Л. 2.
8. Обследование металлоконструкций башни системы Шухова Московского телевизионного центра. 1947 г. // Архив ЦНИИПСК им. Мельникова. Шифр 281.
9. Заказ № 4138. Реконструкция оконечной аппаратной РРЛ. МТЦ (Шаболовка). ГСПИ Минсвязи СССР. Москва, 1969 г. // Архив ГСПИ РТВ.
10. Определение несущей способности металлоконструкций телебашни системы Шухова и составление заключения о возможности ее дальнейшей эксплуатации. 1971 г. // Архив ЦНИИПСК им. Мельникова. Шифр ОРИС-569.
11. Виноградов К., Степанов Д. «3D-портрет» Шуховской башни // Архитектура, реставрация, дизайн и строительство. 2011. № 3 (49). С. 74–75. ■

УДК 666.982.2

Прогрессивные конструкции подъемных петель для железобетонных изделий

Виктор Анатольевич НОВОСЁЛОВ, президент Союза проектировщиков России, генеральный директор
Александр Федорович ШАШИН, главный специалист
Михаил Юрьевич ОЛЕЙНИК, главный специалист, e-mail: jtrta666@yandex.ru
 ООО «Второй проектный институт», 125993 Москва, А-80, Волоколамское ш., 1

Аннотация. Рассмотрены типы подъемных замкнутых петель, применяемых при производстве бетонных и железобетонных изделий. Для изготовления треугольных замкнутых петель используется отечественный простой гибочный станок Ш-13, который может работать в паре с одноточечной сварочной машиной. Показано решение проблемы установки монтажных петель в плиты пустотного настила.

Ключевые слова: треугольные замкнутые монтажные петли, железобетонные изделия, плиты пустотного настила, гибочный станок.

PROGRESSIVE DESIGNS OF LIFTING EYES FOR REINFORCED CONCRETE PRODUCTS

Viktor A. NOVOSELOV, Aleksandr F. SHASHIN, Mikhail Yu. OLEJNIK

Abstract. Types of closed lifting eyes applied in manufacturing concrete and reinforced concrete products are considered. For manufacturing triangular closed eyes a domestic simple bending machine Sh-13 which can operate together with a one-point welding machine is used. A solution of the problem of installation of assembly loops in slabs of hollow slab decking is shown.

Key words: closed three-angled assembling loops, reinforced concrete products, hollow flooring plates, bending machine.