

2. Российский государственный военно-исторический архив (РГВИА). Ф. 35. Оп. 4. Д. 108. О построении в Москве Экзерциргауза, 1817–1818 гг.
3. *Егорова О.В.* Московский Манеж. Прошлое и настоящее. М., 2006. 70 с.: ил.
4. *Егорова О.В.* Августин де Бетанкур – выдающийся инженер, ученый, создатель Московского Манежа // Новая и новейшая история. Наука, 2009. № 6. С. 176–193.
5. *Егорова О.В.* Бетанкур в Москве // Испанский Альманах. Вып. 2: История и современность / Отв. ред. *С.П. Пожарская*. М.: Наука. 2010. С. 290–300.
6. *Егорова О.В.* Тайна старинного портрета // ВИЕТ. 2010. № 3. С. 191–195.
7. *Егорова О.В., Тимофеев Г.А.* Манеж инженера Бетанкура // Вестник МГСУ. 2012. № 4. С. 6–17
8. *Betancourt A.* Description de la Salle d'exercice de Moscou: St. Petersburg. 1819 (*Бетанкур А.* Описание Московского Дома для Упражнений: СПб, 1819)
9. *Егорова О.В., Моисеев А.Н.* По следам «русского испанца» // Международная жизнь. 2011. № 10. С. 120–140.
10. *Shcherbinin D.Yu.* 3D Historical Reconstruction of Aircrafts and Spacecrafts // *fPET-2012. 2012 Forum on Philosophy, Engineering & Technology, November 2–4, University of Chinese Academy of Sciences, 2012. P. 103–104.*

Анализ проектной документации Шуховской башни на Шаболовке и ее сравнение с современной 3D-моделью

А.В. Леонов

В ИИЕТ РАН в 2011–2013 гг. была создана 3D-модель Шуховской башни на Шаболовке [1]. В ходе выполнения этого проекта, был проведен анализ доступной исторической документации по конструкции башни. Результаты анализа представлены в статье.

Сохранившаяся проектная документация представлена расчетами в рабочей тетради В.Г. Шухова за январь–февраль 1919 г. [2, л. 25–30] и двумя чертежами 1919 г. [3; 4], которые хранятся в Архиве РАН. Сохранившаяся рабочая документация представлена двумя чертежами 1921 г., которые хранятся в РГАНТД [5; 6]. Нами был выполнен анализ внешнего обвода контура башни, конструкции секций башни и конструкции соединительных узлов (по документации и фактически). Показано, что фактическая конструкция башни имеет существенные отличия от сохранившейся проектной и рабочей документации 1919–1921 гг.

В 1947 г. был проведен подробный обмер башни, его результаты хранятся в архиве ЦНИИПСК им. Мельникова [7]. В последующих проектах реконструкции башни 1969, 1971, 1991 гг. [8–10] и др. общие схемы башни и ее отдельных узлов основаны на обмере 1947 г. Анализ показал, что обмерная документация 1947 г. и более поздняя соответствует фактической конструкции башни на момент выполнения обмеров.

1. Внешний обвод контура башни

Первый расчет массы башни высотой 250 м сделан в рабочей тетради В.Г. Шухова 27.01.1919 [2, л. 25]. 1.02.1919 выполнен расчет массы башни высотой 320 м из девяти секций (две секции высотой по 20 м, и семь секций высотой по 40 м) [2, л. 26, 26 об.]. В тот же день начинается подробный расчет массы и конст-

рукции башни произвольной высоты из секций высотой 25 м [2, л. 26 об.–28]. Секции нумеруются сверху вниз римскими цифрами. Расчет прерван на XV секции, таким образом, полностью рассчитана башня высотой 350 м (14 секций по 25 м). Все ноги предполагаются из сдвоенного швеллера (от № 10 для I секции до № 18 для XIV секции). Диаметр опорных колец растет линейно: от 5 м для I секции до 70 м для XIV секции. 12.02.1919 продолжается расчет башни высотой 350 м из 14 секций: для каждой секции указано количество ног, их конструкция и общая масса [2, л. 28 об., 29]. Выполнены краткие расчеты массы башен высотой 75 м, 100 м, 150 м [2, л. 29 об.].

28.02.1919 в тетради выполнен расчет башни высотой 150 м из шести секций по 25 м. Для каждой секции указан радиус опорного кольца, количество и конструкция ног [2, л. 30]. На отдельной странице поясняется способ расчета радиуса опорных колец, включающий линейную и квадратичную компоненты зависимости от номера секции:

*«Внешний обвод контура башни. Основной размер. Конус с переменным r набегающим постоянное приращение; в нашем случае $r, 2r, 3r, 4r...$ или вообще $r, r+f, r+2f, r+3f$ и т.д. и переменное приращение с непрерывным увеличением уклона от вертикали α . т.е. приращение уклона выражается формулой $\alpha * n * (n-1)/2$, где n номер этажа башни считая его от верха. Таким образом получается следующий ряд: 1) f , 2) $2f+\alpha$, 3) $3f+3\alpha$, 4) $4f+6\alpha$, 5) $5f+10\alpha$, 6) $6f+15\alpha$, 7) $7f+21\alpha$, 8) $8f+28\alpha$ и т.д. причем задаются размеры r, f и α . В данном случае $r = 2,75$ м, $f = 2,75$ м = r , $\alpha = 0,25$ м и потому радиусы получаются 2.75, 5.75, 9, 12.5, 16.25, 20.25 (уклоны $3 \rightarrow 3,25 \rightarrow 3,5 \rightarrow 3,75 \rightarrow 4$)».* [2, л. 30 об.].

При высоте секции 25 м, расстояние от верха башни до опорного кольца n -й секции выражается формулой $H = 25 * n$. Радиус опорного кольца n -й секции, согласно предложенному выше способу расчета, выражается формулой

$$R = 2,75 * n + 0,25 * n * (n-1)/2.$$

Выразив n через H в первой формуле и подставив во вторую, получаем зависимость R от H : $R = H * H / 5000 + H * 21 / 200$. Таким образом, внешний обвод контура 150-метровой башни, предложенный в рабочей тетради В.Г. Шухова 28.02.1919, является параболой.

Фактические радиусы опорных колец Шуховской башни на Шаболовке совпадают с расчетом в тетради для четырех нижних секций. Для II секции (5 снизу) фактический радиус опорного кольца на 10% больше, чем расчетный, а для I секции (6 снизу) – на 29%. Таким образом, внешний контур обвода верхней половины башни расходится с расчетным. На чертеже 1919 г. [3] внешний обвод контура башни совпадает с фактическим.

Чертеж 350-метровой башни [4] не соответствует расчетам в тетради как по количеству и высоте секций, так и по зависимости радиуса опорных колец от высоты. Внешний обвод контура башни на этом чертеже визуально соответствует квадратичной зависимости, которая была предложена в тетради только для 150-метровой башни.

2. Конструкция секций башни

Фактическая конструкция секций башни (количество и конструкция ног) существенно расходится с расчетами в рабочей тетради [2, л. 30]. Количество промежуточных колец жесткости в четырех верхних секциях расходится с чертежом [3] (см. табл. 1).

Таблица 1

Номер секции	Конструкция, по тетради (1919)	Конструкция, по чертежу (1919)	Конструкция, фактическая
I (6 снизу)	Ноги: 12 сдвоенных швеллеров № 10. Кольца: не указано.	Ноги: сдвоенные линии. Кольца: 8 шт.	Ноги: 24 уголка 90 мм (внизу) и 80 мм (вверху). Кольца: 9 шт.
II (5 снизу)	Ноги: 16 сдвоенных швеллеров № 12. Кольца: не указано.	Ноги: сдвоенные линии. Кольца: 8 шт.	Ноги: 24 уголка 90 мм. Кольца: 9 шт.
III (4 снизу)	Ноги: 24 сдвоенных швеллера № 12. Кольца: не указано.	Ноги: сдвоенные линии. кольца: 6 шт.	Ноги: 48 уголков 90 мм. Кольца: 9 шт.
IV (3 снизу)	Ноги: 24 сдвоенных швеллера № 14. Кольца: не указано.	Ноги: сдвоенные линии. Кольца: 8 шт.	Ноги: 48 уголков 120 мм (внизу) и 100 мм (вверху). Кольца: 7 шт.
V (2 внизу)	Ноги: 30 сдвоенных швеллеров № 14 (или 36 сдвоенных швеллеров № 12). Кольца: не указано.	Ноги: сдвоенные линии. Кольца: 4 шт.	Ноги: 48 сдвоенных швеллеров № 14. Кольца: 4 шт.
VI (1 снизу)	Ноги: 36 сдвоенных швеллеров № 14. Кольца: не указано.	Ноги: сдвоенные линии. Кольца: 4 шт.	Ноги: 48 сдвоенных швеллеров № 14. Кольца: 4 шт.

3. Конструкция соединительных узлов

По проекту предполагалась единообразная конструкция ног всех секций (из сдвоенных швеллеров). Соответственно, предполагалась единообразная конструкция стыков ног разных секций, отраженная на чертеже [3]. В реальности, для четырех верхних секций использовались уголки, а не сдвоенные швеллера. Фактическая конструкция узла стыка ног разных секций индивидуальна для каждой секции.

Схемы узлов стыка ног, приведенные на чертеже 1919 г. [3], не соответствуют фактической конструкции. В частности, на обеих схемах показан стык ног из сдвоенного швеллера № 10 (в реальности таких ног на башне нет); на схеме «Соединение ног двух секций» фасонка расположена в радиальной плоскости (тогда как в реальности все фасонки на стыках ног расположены перпендикулярно радиальной плоскости и имеют другую форму); фактический способ крепления ног и фасонки к кольцевой ферме отличается от изображенного на схемах. Схема «Верхнее кольцо II секции» отдаленно напоминает фактическую конструкцию узла соединения ног первой и второй снизу секций, но форма и размер фасонки и расположение заклепок на этой схеме заметно отличаются от фактического.

Таким образом, фактическая конструкция узлов соединения ног разных секций не имеет практически ничего общего со схемами на чертеже [3]. Ссылка на схемы узлов соединения ног 1919 г. как на реальную конструкцию этих узлов (в том числе, в книге ученика и биографа В.Г. Шухова Г.М. Ковельмана 1961 г. [11, с. 157] и в книге «Шухов В.Г. (1853–1939). Искусство конструкции» 1995 г. [12, с. 92, 94]) – ошибка.

Схема узла соединения ног 2 и 3 секции [6] внешне похожа на фактическую конструкцию этого узла, однако при анализе обнаруживается ряд расхождений.

Уголки внутреннего и наружного колец на схеме изображены полками друг к другу и вверх (а швеллера обрешетки лежат на них сверху, полками вверх); фактически уголки внутреннего и наружного колец установлены полками друг к другу и вниз (а швеллера обрешетки приклепаны к ним снизу, полками вниз). Внутреннее кольцо на схеме выполнено из равнополочного уголка 100×100×10 мм, фактически – из неравнополочного уголка 150×100×12 мм. Наружное кольцо на схеме выполнено из уголка 100×100×16 мм, фактически – из уголка 100×100×12 мм. Длина коротышей из швеллера № 14 между фасонкой и опорными кольцами на схеме указана 356 мм, фактически – 240 мм; на схеме коротыши изображены полками вниз, фактически – полками вверх.

4. Обмерная документация

Обмерная документация 1947 г. [7] соответствует фактической конструкции башни. Однако необходимо отметить, что обмерная документация создавалась с целью расчета несущей способности конструкции и не отражает целого ряда деталей и элементов оригинальной конструкции, не имеющих отношения к ее несущей способности (расположение стыков составных частей на ногах и кольцах, клейма на металле, монтажные отметки и отверстия и др.). Кроме того, доступная обмерная документация и созданные на ее основе проекты реконструкции башни [7–10] не отражают ряда элементов, установленных на башне в 1973 г. и позже. В частности, нигде в доступной документации не отражены усиливающие накладки в нижней части II (5) секции и на некоторых местах отбора проб; дополнительные кольца, установленные в 1973 г.; технологические платформы на уровнях 50, 75, 100, 138 м.

Заключение

Выполненный анализ показал, что фактическая конструкция Шуховской башни на Шаболовке имеет существенные отличия от сохранившихся проектных и рабочих чертежей, а также расчетов в рабочей тетради В.Г. Шухова. 3D-моделирование конструкции позволило эффективно обнаружить и проанализировать расхождение исторической документации с фактической конструкцией, выявить ошибки в описании памятника техники.

Литература

1. Аникушкин М.Н., Леонов А.В. 3D-моделирование Шуховской башни на Шаболовке на основе лазерного сканирования // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 4. С. 57–59.
2. Рабочая тетрадь В.Г. Шухова (записи с 22.03.1918 по 10.10.1922) // Архив РАН. Ф. 1508. Оп. 1. Д. 61.
3. «Шабловская радио-башня системы инж. Шухова. Высота 150 м. Проект 1919 г.»: проект башни высотой 150 м из шести секций, со схемами нескольких соединительных узлов в сборе. 1919 г. // Архив РАН. Ф. 1508. Оп. 1. Д. 85. Л. 1.
4. Проект башни высотой 350 м из девяти секций. 1919 г. // Архив РАН. Ф. 1508. Оп. 1. Д. 84. Л. 2.
5. «Сетчатая башня системы Инженера В.Г. Шухова. Высота башни = 150 metr. для беспроволочного телеграфа. Фундамент»: схема фундамента. 1921 г. // РГАНТД. Ф. 166. Оп. 1. Д. 36. Л. 1.

6. «Верхнее кольцо 2-й секции радио-башни»: схема узла стыка ног 2 и 3 секций. 1921 г. // РГАНТД. Ф. 166. Оп. 1. Д. 36. Л. 2.

7. Обследование металлоконструкций башни системы Шухова Московского телевизионного центра. 1947 // Архив ЦНИИПСК им. Мельникова. Шифр 281.

8. Заказ № 4138. Реконструкция оконечной аппаратной РРЛ. МТЦ (Шаболовка). ГСПИ Минсвязи СССР. Москва. 1969 г. // Архив ГСПИ РТВ.

9. Определение несущей способности металлоконструкций телебашни системы Шухова и составление заключения о возможности ее дальнейшей эксплуатации. 1971 г. // Архив ЦНИИПСК им. Мельникова. Шифр ОРИС-569.

10. Металлоконструкции надстройки башни Шухова для крепления антенн УКВ-ЧМ. 1991 г. // Архив ЦНИИПСК им. Мельникова. Шифр 20-Ф 5720-1-КМ.

11. *Ковельман Г.М.* Творчество почетного академика инженера Владимира Григорьевича Шухова. М.: Госстройиздат, 1961. 363 с., ил.

12. Шухов В.Г. (1853–1939). Искусство конструкции / Пер. с нем. / Под. ред. *Р. Грефе, М. Ганноева, О. Перчи.* М.: Мир, 1995. 192 с., ил.

Распределенные методы моделирования робототехнических систем в режиме реального времени

М.В. Михайлюк, М.А. Торгашев

Целью моделирования робототехнических средств (РТС) является подготовка операторов к выполнению различных задач по управлению роботами и манипуляторами в сложной динамической обстановке. Эти задачи востребованы во многих областях промышленности, в космической отрасли, при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и так далее. Управление этими системами представляет сложный процесс, требующий достаточно высокой квалификации. Подготовка операторов нужного уровня очень важна и требует значительных усилий. В последнее время для построения обучающих систем все активнее применяются технологии дистанционного электронного обучения и виртуальной реальности. Тренировка операторов в таких системах осуществляется не на реальном оборудовании, а на виртуальных трехмерных моделях, имитирующих как визуальные параметры роботов и внешней окружающей обстановки, так и их динамические характеристики. Управление осуществляется с помощью виртуальных пультов, имитирующих реальные, при этом так же моделируется логика их систем управления.

Для построения тренажерных систем подготовки операторов в Центре визуализации и спутниковых информационных технологий (ЦВиСИТ) Научно-исследовательского института системных исследований Российской академии наук (НИИСИ РАН) была предложена и реализована модульная схема распределенного моделирования РТС [1]. Трехмерное представление модели и описание ее динамических характеристик создается в системе трехмерного моделирования; в данном случае использовалась широко распространенная система 3D Studio Max. Поскольку в базовой конфигурации система трехмерного моделирования не обеспечивает задание динамических характеристик объектов и создание специфических элементов робототехнических систем, то в нее интегрируется так называемый «конструктор» РТС – отдельный подключаемый модуль, написанный на скрипто-