

Academia. Архитектура и строительство, № 2, стр. 145–152.

Academia. Architecture and Construction, no. 2, pp. 145–152.

Исследования и теория

Научная статья

УДК 699.8+72.03

doi: 10.22337/2077-9038-2023-2-145-152

Радио-башня инженера Шухова – столетняя история и перспективы

Травуш Владимир Ильич (Москва). Доктор технических наук, профессор, академик РААСН Российская академия архитектуры и строительных наук (Россия, 127025, Москва, Новый Арбат, 19. РААСН); Горпроект (Россия, 105064, Москва, Нижний Сусальный переулок, 5, стр. 5 А. Горпроект). Эл. почта: travush@mail.ru

Белявский Станислав Александрович (Москва). Московский региональный центр РТРС – филиал Российской телевизионной и радиовещательной сети в Москве и Московской области (Россия, 127427, Москва, ул. Академика Королева, 15, к. 2. РТРС «МРЦ»). Эл. почта: SBelyavskiy@rtrn.ru.

Кодыш Эмиль Наумович (Москва). Доктор технических наук, профессор, почётный член РААСН. Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений (Россия, 127238, Москва, Дмитровское шоссе, 46, корп. 2. ЦНИИПромзданий). Эл. почта: otk@yandex.ru.

Мамин Александр Николаевич (Москва). Доктор технических наук, профессор, советник РААСН. Кафедра железобетонных и каменных конструкций Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26, НИУ МГСУ); Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений (Россия, 127238, Москва, Дмитровское шоссе, 46, корп. 2. ЦНИИПромзданий). Эл. почта: otozs@yandex.ru.

Авдеев Кирилл Владимирович (Москва). Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений (Россия, 127238, Москва, Дмитровское шоссе, 46, корп. 2. ЦНИИПромзданий). Эл. почта: 6136133@mail.ru.

Рэуцу Александр Викторович (Московская область). Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений (Россия, 127238, Москва, Дмитровское шоссе, 46, корп. 2. ЦНИИПромзданий). Эл. почта: a.reuzu@cniipz.com.

Симаков Владислав Сергеевич (Московская область). Магистр. Кафедра железобетонных и каменных конструкций Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ) (Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д.26).

Аннотация. Статья посвящена проблеме сохранения объекта культурного наследия федерального значения – московской Радио-башни. Отмечено, что предметом охраны памятника являются объёмно-пространственная композиция и уникальное конструктивное решение В.Г. Шухова. Приведены сведения о выполненных после возведения башни реконструкциях и обследованиях. За более чем столетнюю эксплуатацию в элементах и узлах образовались коррозионные повреждения, которые привели башню в аварийное состояние. В 2016 году для реализации противоаварийных мероприятий была возведена внутренняя дополнительная опора, предназначенная для недопущения необратимых деформаций башни в случае отказа отдельных элементов. Отмечено, что противоаварийная опора исключает возможность внезапного разрушения сооружения, но при этом металлические конструкции остаются в аварийном состоянии. Результаты обследования 2022 года подтвердили аварийность узлов и элементов Радио-башни, показали ускорение коррозионных процессов. Проведённые лабораторные исследования доказали несвариваемость и хладоломкость стали, неоднородность её химических и прочностных параметров. В

© Травуш В.И., Белявский С.А., Кодыш Э.Н., Мамин А.Н., Авдеев К.В., Рэуцу А.В., Симаков В.С., 2023.

2023 году начата разработка проектной документации по ликвидации аварийного состояния и воссозданию первоначального облика башни с максимально возможным сохранением оригинальных элементов. На основании анализа конструктивных особенностей башни и результатов обследований разработаны рекомендации для выполнения проектной документации по восстановлению сооружения.

Ключевые слова: Радио-башня Шухова, уникальные сооружения, реконструкция

Для цитирования. Травуш В.И., Белявский С.А., Кодыш Э.Н., Мамин А.Н., Авдеев К.В., Рэуцу А.В., Симаков В.С. Радио-башня инженера Шухова – столетняя история и перспективы / Academia. Архитектура и строительство. – 2023. – № 2. – С. 142–152. doi: 10.22337/2077-9038-2023-2-145-152.

Radio Tower Engineer Shukhov – Century History and Prospects

Travush Vladimir I. (Moscow). Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of RAACS. Russian Academy of Architecture and Building Sciences (19 Noviy Arbat str., Moscow, 127025, Russia. RAACS); Gorproekt" (5 Nizhny Susalnylane, build. 5A, Moscow, 105064, Russia. ZAO "Gorproekt"). E-mail: travush@raasn.ru

Belyavskij Stanislav A. (Moscow). Московский региональный центр РТПС – филиал Российской телевизионной и радиовещательной сети в Москве и Московской области (15, build. 2, Akademika Koroleva str., Moscow, 127427, Russia). E-mail: SBelyavskiy@rtrn.ru

Kodysh Emil' N. (Moscow). Doctor of Technical Sciences, Professor, Honorary member of RAACS. Central Research and Design and Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures (46, building 2, Dmitrovskoe shosse, Moscow, 127238, Russia. TsNIIPromzdaniy). E-mail: otk@yandex.ru

Mamin Aleksandr N. (Moskva). Doctor of Sciences in Technology, Professor, Adviser of RAACS. Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures of the National Research Moscow State University of Civil Engineering (Russia, 129337, 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, Russia. NRU MGSU); Central Research and Design and Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures (46, building 2, Dmitrovskoe shosse, Moscow, 127238, Russia. TsNIIPromzdaniy). E-mail: otozs@yandex.ru

Avdееv Kirill V. (Moskva). Central Research and Design and Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures (46, building 2, Dmitrovskoe shosse, Moscow, 127238, Russia. TsNIIPromzdaniy). E-mail: 6136133@mail.ru

Reucu Aleksandr V. (Krasnogorsk). Central Research and Design and Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures (46, building 2, Dmitrovskoe shosse, Moscow, 127238, Russia. TsNIIPromzdaniy). E-mail: a.reuzu@cniipz.com

Simakov Vladislav S. (Krasnogorsk). Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures of the National Research Moscow State University of Civil Engineering (Russia, 129337, 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, Russia. NRU MGSU)

Annotation. The article is devoted to the problem of preserving the object of cultural heritage of federal significance – the Moscow Radio Tower. It is noted that the object of protection of the monument is the volume-spatial composition and the unique constructive solution of V. G. Shukhov. Information about the reconstructions and examinations carried out after the tower was erected is given. For more than a century of operation, corrosion damage has formed in the elements and assemblies, which led the tower to an emergency state. In 2016, in order to implement emergency measures, an internal additional support was erected, designed to prevent irreversible deformations of the tower in the event of failure of individual elements. It is noted that the emergency support eliminates the possibility of sudden destruction of the structure, but the metal structures remain in an emergency state. The results of the survey in 2022 confirmed the accident rate of the components and elements of the Radio Tower, showed the acceleration of corrosion processes. The carried out laboratory researches proved the non-weldability and cold brittleness of steel, the heterogeneity of its chemical and strength parameters. In 2023, the development of project documentation for the liquidation of the emergency condition and the reconstruction of the original appearance of the tower with the maximum possible preservation of the original elements began. Based on the analysis of the design features

of the tower and the results of surveys, recommendations were developed for the implementation of project documentation for the restoration of the structure.

Keywords: Shukhov Radio Tower, unique buildings, reconstruction

For citation. Travush V.I., Belyavskij S.A., Kodysh E.N., Mamin A.N., Avdeev K.V., Reucu A.V., Simakov V.S. Radio Tower Engineer Shukhov – Century History and Prospects. In: *Academia. Architecture and construction*, 2023, no. 2, pp.142–152. doi: 10.22337/2077-9038-2023-2-145-152.

Среди огромного творческого наследия великого российского инженера Владимира Григорьевича Шухова особое место занимает московская Радио-башня, известная по всему миру как «Шуховская башня».

Радио-башня возведена в 1919–1922 годы по проекту и под руководством В.Г. Шухова. В марте 1987-го объект был отнесён к памятникам архитектуры местного значения. В 2002 году в соответствии с №73-ФЗ¹ памятник стал объектом культурного наследия (ОКН) регионального значения. С июля 2022 года, согласно приказу Минкультуры России от 08.07.23. № 1178 Радио-башня является ОКН федерального значения с утверждёнными предметами охраны:

«1. Объёмно-пространственная композиция башни (на 1922 г.): круглая в плане многоярусная конструкция, состоящая из шести решётчатых пространственных секций – гиперболоидов, постепенно уменьшающихся в диаметре.

¹ Федеральный закон от 25.06.2002 г. № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» (<http://www.kremlin.ru/acts/bank/18230>).

² Приказ Минкультуры России от 08.07.2022 № 1178 «Об утверждении предмета охраны объекта культурного наследия федерального значения “Радио-башня», 1922 г. (г. Москва)» (<https://legalacts.ru/doc/prikaz-minкультуры-rossii-ot-08072022-n-1178-ob-utverzhenii/>).



Фото из альбома «Россия Владимира Шухова. Личный фотоархив. Начало XX столетия»

2. Конструктивное решение (на 1922 г.): уникальное конструктивное решение инж. Шухова, представляющее собой шесть гиперболоидов вращения, состоящих из пересекающихся стержней, опирающихся концами в кольцо жёсткости. Высота каждого гиперболоида около 25 м.

3. Материал: металл².

Уникальность конструктивного решения сооружения заключается, прежде всего, в применении эффективной пространственной гиперболоидной конструкции, собранной из

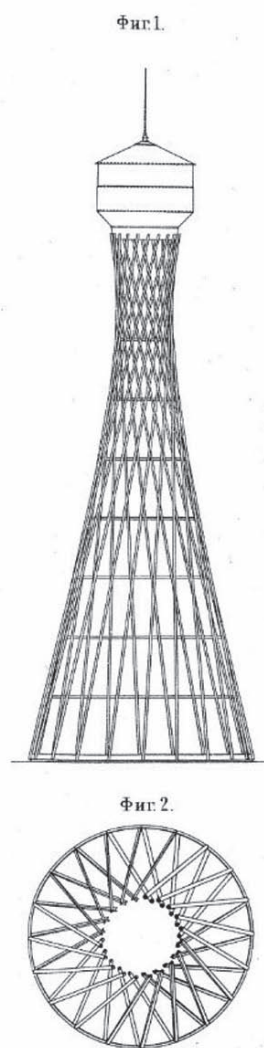


Рис. 1. Приложение к «Привилегии...» Шухова В.Г. – «Гиперболоидные конструкции (ажурная башня)» (источник: [4])

прямолинейных стержневых элементов. Прообразом такого решения для каждой секции является конструкция односекционных башен, первая из которых была представлена в 1896 году на Нижегородской Всероссийской промышленной и художественной выставке [1–3].

В.Г. Шухов запатентовал новое конструктивное решение «Гиперболоидные конструкции (ажурная башня)», о чём была запись в Государственном патентном фонде «Описания к привилегиям на изобретения Российской империи за период с 1814 по 1917 гг.» за № 1896 от 12.03.1899. Предметом изобретения является «ажурная башня, характеризующаяся тем, что остов её состоит из пересекающихся между собою прямолинейных деревянных брусьев, или железных труб, или уголков, расположенных по производящим тела вращения, форму которого имеет башня, склёпываемых между собой в точках пересечения и, кроме того, соединённых горизонтальными кольцами (фиг. 1, 2)» (рис. 1) [4].

В конце XIX и первой половине XX века гиперболоидные вертикальные конструкции по системе В.Г. Шухова получили широкое распространение, чаще всего – как одно- и двухсекционные опоры водонапорных башен высотой до 40 м, маяки и другие сооружения, включая сетчатые мачты русских и американских военных кораблей, в верхней части которых появилась возможность устройства полноценных наблюдательных рубок. Самое высокая односекционная гиперболоидная башня – Адзигольский маяк в Херсонской области – достигает 68 м [5; 6].

К сожалению, сегодня большинство сооружений утеряно, а сохранившиеся, за редкими исключениями, оставлены практически без ухода. Единственная известная авторам приспособленная для современного использования башня находится в Бухаре (Узбекистан), где в 2020 году после реставрации открыто кафе. В городе Выкса Нижегородской области, при научно-техническом сопровождении авторов, начаты строительные работы по переносу с территории металлургического комбината в центр города ОКН «Водонапорная башня и “Шуховский пролёт”» листопркатного цеха», их реставрации и приспособлению в качестве экспонатов индустриально-туристского парка-музея [7; 8].

Отметим, что башенные сооружения с применением сетчатых оболочек актуальны и в настоящее время. Так, на сегодняшний день возведены гиперболоидные башни в Японии (порт города Кобе), Швейцарии (Цюрих), Испании (аэропорт Барселоны), Австралии (Сидней), Китае (Гуанчжоу) и др.

Московская Радио-башня – самое высокое сооружение В.Г. Шухова, её высота на момент возведения вместе с траверсой и флагштоком составляла 160 м.

Несущая часть башни состоит из шести секций. Каждая секция высотой около 25 м представляет собой гиперболо-

идную конструкцию, по торцам которой устроены горизонтальные кольца жёсткости. В отличие от большинства ранее возведённых сооружений, собранных главным образом из уголков, стойки нижних секции московской Радио-башни выполнены из спаренных двутавров. Отличаются и способы соединения элементов и деталей в узлах сопряжения стоек между собой и с кольцами: в пределах нижних двух секций выполнены заклёпочные соединения, а выше – заклёпочные и болтовые. Детально конструктивное решение неоднократно описано в литературе (см., например, технические отчёты институтов «ЭНПИ» и «ЦНИИПромзданий»³)

Вследствие изменения условий эксплуатации и увеличения нагрузок на конструкции башни Шухова она несколько раз реконструировалась. По имеющимся данным были проведены следующие работы:

- 1937 год. Устроены вертикальные двухстенчатые фермы по высоте башни для прокладки фидера и три площадки на отметках ~142м, 144м и 148м.

- 1973 год. Установлены дополнительные промежуточные кольца усиления в третьей и пятой секциях и вертикальная кольцевая ферма в верхней части пятой секции;

- 1991 год. Надстроена дополнительная секция общей высотой около 10 м, замоноличены опорные узлы опирания стоек на фундамент и приварены накладки в узлах соединения стоек между первой и второй секциями.

В 2016 году в рамках реализации противоаварийных мероприятий была возведена внутренняя дополнительная опора, предназначенная для недопущения необратимых деформаций башни в случае отказа отдельных элементов [6].

Перед надстройкой башни участки опирания стоек первой секции были обетонированы на высоту 0,5–0,65 м, устроены дополнительные кольца и приварены накладки на узлы между первой и второй секциями.

До 2010 года, судя по сохранившимся материалам, различными специализированными организациями было выполнено шесть обследований технического состояния конструкций Радио-башни Шухова, подробный анализ результатов которых приведён в выполненном по заданию РТРС сводном отчёте⁴ [9]. На основании этого анализа сотрудниками института ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко разработаны «Технические условия для определения несущей способности металлоконструкций Радио-башни В.Г. Шухова».

В 2011, 2017, 2020 годы сотрудниками отдела обследований зданий и сооружений № 1 института «ЦНИИПромзданий» было выполнено ещё три обследования сооружения.

При обследовании 2011 года впервые за всю историю эксплуатации башни с учётом требований «Технических условий...» были выполнены обмерно-обследовательские

³ Технический отчёт «По результатам обследования строительных конструкций радиобашни Шухова, расположенной по адресу: г. Москва, ул. Шухова, 10, стр. 2». ОАО «ЦНИИПромзданий», 2011 – 100 с.

⁴ Травуш В.И., Савельев В.А. Технический отчёт «Обработка результатов обследований башни Шухова В.Г., выполненных в 1947–2008 годах (ОАО ЭНПИ, 2010. – 36 с.); «Технический отчёт по результатам обследования строительных конструкций Радиобашни Шухова, расположенной по адресу: г. Москва, ул. Шухова, 10, стр. 2» (ОАО «ЦНИИПромзданий», 2011. – 100 с.).

работы с фотофиксацией текущего состояния для всех несущих элементов и узлов. Также впервые напряжённо-деформированное состояние Радио-башни было определено с использованием расчётной модели, построенной на основе лазерного сканирования и отражающей фактическое расположение узлов и элементов.

По результатам и рекомендациям обследования 2017 года [9] был разработан и реализован проект противоаварийных мероприятий, предусматривающий частичную разгрузку Радио-башни.

На сегодняшний день на Шуховской башне выполнены следующие противоаварийные мероприятия: демонтирована седьмая секция, надстроенная по проекту 1991 года; внутри контура Радио-башни возведена металлическая опорная конструкция, к которой поярусно подвешены элементы башни в 24-х точках, по шесть точек на четырёх нижних секциях [5].

Отметим, что проведённые на сегодняшний день противоаварийные мероприятия обеспечивают защиту от обрушения

башни, но не позволяют перевести техническое состояние отдельных элементов и сооружения в целом из аварийного в ограниченно-работоспособное. Более того, вследствие демонтажа седьмой секции и частичного вывешивания конструкций Радио-башни на опорную башню произошла некоторая разгрузка узлов, и, соответственно, возможно увеличение зазоров в сопрягаемых элементах, что может создать благоприятные условия для прогрессирующей щелевой коррозии.

В 2022 году институтом «ЦНИИПромзданий» при участии института «Союзстальконструкция» выполнено очередное обследование с оценкой технического состояния металлических конструкций и фундаментов Радио-башни с целью подготовки проекта её реконструкции-реставрации. Одной из задач комплекса проведённых работ являлось получение количественной оценки выявленных повреждений элементов сооружения и сравнение с данными предыдущих обследований.

В процессе обследования строительных конструкций башни подтверждены многочисленные дефекты и повреждения. Сравнение результатов обследования с данными отчётов прошлых лет подтвердило ухудшение технического состояния конструкций башни вследствие развития коррозии и её последствий. Так, при обследовании, проведённом в 2011 году, зафиксировано отсутствие 31-ой заклёпки (болта), часть из которых не были установлены изначально, судя по отсутствию коррозионных повреждений вокруг отверстия. В 2020 году на доступных для осмотра участках зафиксировано отсутствие ещё нескольких болтов. Всё это даёт основание утверждать, что большинство креплений элементов решётки в переходных кольцах ненадёжно и высока вероятность их внезапного разрушения.

Продолжают развиваться отмеченные ранее в [9] и в отчётах института «ЦНИИПромзданий»⁵ негативные последствия ошибочных решений, заложенных в проект реконструкции конца прошлого века. Наблюдаются усиление коррозии на стойках первой секции в местах их контакта с бетоном омоноличивания (рис. 2) и разрушение сварных швов в местах приварки накладок для «усиления» узлов сопряжения стоек первой и второй секций (рис. 3). Все металлические элементы не защищены от коррозии. Зафиксировано разрушение и отслоение лакокрасочного покрытия с появлением на поверхности 80% металлоконструкций башни поверхностной коррозии.

Согласно данным отчёта Всесоюзной проектной конторы «Союзрадиопроект» и лабораторий стальных сооружений «Проектстальконструкция» от 1947 года степень общей коррозии сечений элементов составляла 5%; по отчёту ЦНИИПСК Госстроя СССР от 1971 года потеря площади сечений элементов в результа-

⁵ Технический отчёт «По результатам обследования строительных конструкций радиобашни Шухова, расположенной по адресу: г. Москва, ул. Шухова, 10, стр. 2». ОАО «ЦНИИПромзданий», 2011 – 100 с.; Травуш В.И., Савельев В.А. Технический отчёт «Обработка результатов обследований башни Шухова В.Г., выполненных в 1947–2008 годах (ОАО ЭНПИ, 2010. – 36 с.); «Технический отчёт по результатам обследования строительных конструкций Радиобашни Шухова, расположенной по адресу: г. Москва, ул. Шухова, 10, стр. 2» (ОАО «ЦНИИПромзданий», 2011. – 100 с.).



Рис. 2. Усиление коррозии в стойках первой секции в области их контакта с бетоном омоноличивания. Фото авторов статьи



Рис. 3. Разрушение сварных швов в местах приварки накладок на узлы сопряжения стоек первой и второй секций. Фото авторов статьи

те коррозии составляла 10%; по отчёту Государственного центра радиовещания и телевидения (ГЦРТ) Министерства связи от 1992 года потеря площади сечений элементов в результате коррозии составляла: у стоек 10%, а у других элементов 10–20%; на 2022 год потеря площади сечения элементов конструкций от коррозии составляет 13–36%, а отдельных колец – до 80%. Построенный по этим данным график (рис. 4) наглядно иллюстрирует ускорение коррозионных процессов. Для того чтобы предотвратить аварийные конструкции при необходимости незамедлительно включились в работу, необходимо обеспечить и контролировать натяжение во всех тросах. В июне 2022 года были выполнены мероприятия по вытяжке страховочных тросов.

Результаты анализа химического состава показали большой разброс характеристик применённой при возведении башни стали. Так, из 15-ти испытанных образцов десять соответствуют стали марки Ст1кп (66,7%), два образца соответствуют стали марки Ст3кп (13,3%), по одному образцу – сталям марок Ст2кп, Ст4кп, Ст3сп и Ст1пс (три образца по 5%). На основании химического анализа образцов стали конструкции можно сказать, смонтированные до 1950 года, выполнены из стали, соответствующей маркам Ст1кп, Ст2кп, Ст3кп, Ст4кп, а конструкции, смонтированные после 1950 года, – маркам Ст1пс и Ст3сп.

Прочностные характеристики испытанных образцов также изменяются в большом диапазоне: предел текучести по результатам лабораторных испытаний на статическое растяжение составил 228,25–322,47 Н/мм² (расхождение 41%).

Результаты испытаний стали на ударный изгиб показали, что значения ударной вязкости не соответствуют требованиям СП 16.13330.2017⁵. Среднее значение ударной вязкости (9,5 Дж/см²) металлоконструкций башни меньше предельно допустимого значения в 3,6 раза, что свидетельствует о склонности металла к хрупкому разрушению. Отметим, что ударная вязкость – характеристика металла, зависящая от технологии его изготовления, и она не может быть увеличена при реконструкции и усилении.

По результатам анализа проб элементов металлоконструкций подтверждены ранее сделанные выводы, что показатель свариваемости всех образцов из применённого при возведении башни металла неудовлетворителен. На основании изучения макро- и микроструктуры металла образцов установлено, что для изготовления металлоконструкций использована марленовская сталь.

Согласно результатам расчётов конструкций Радио-башни, прочность и устойчивость элементов стоек первой и второй секций и опорных колец между первой и второй, третьей и четвёртой и пятой и шестой секциями не обеспечены из-за сильных коррозионных повреждений, существует опасность локальных разрушений на опорных участках всех стоек

первой секции, на участках большинства стоек в местах соединений с основными кольцами, отдельных элементов опорных колец между секциями Радио-башни. Без конструкций усиления существует опасность внезапного лавинообразного обрушения сооружения.

В целом комплекс проверочных расчётов показал, что для совместной расчётной схемы, включающей конструкции Радио-башни Шухова и конструкции башни усиления, при возникновении аварийной ситуации значения напряжений, возникающих в отдельных элементах Радио-башни Шухова, будут превышать допустимые значения расчётного сопротивления стали в сечениях конструкций, повреждённых коррозией, на 20–30%, но пространственная структура Радио-башни позволит перераспределить усилия на соседние элементы, что теоретически предотвратит лавинообразное обрушение башни Шухова, но при этом геометрическая форма конструктивной системы будет безвозвратно изменена.

Из-за наличия значительных повреждений от щелевой коррозии, точную величину которых невозможно измерить без разборки узлов, фактические напряжения в элементах башни заметно выше допустимых.

Таким образом, по совокупности дефектов и повреждений, с учётом результатов расчётов техническое состояние металлических конструкций и сооружения в целом в соответствии с ГОСТ 31937⁶ ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» – аварийное. Несущая способность фундамента из-за отсутствия сцепления между бутовыми камнями понижена, категория его состояния – ограниченно-работоспособное. При этом несущей способности грунтов основания достаточно для восприятия расчётных нагрузок.

Численный анализ возможности выполнения строительно-монтажных работ для ликвидации аварийного состояния с временным удалением отдельных элементов башни показал, что при удалении примыкающих к одному узлу элементов общая устойчивость башни уменьшится, но будет обеспечена. Однако, если не принять специальных конструктивных мер, такое удаление вызовет невосстановимые смещения узла величиной до 1 см. Поскольку разгрузка отдельных узлов башни практически

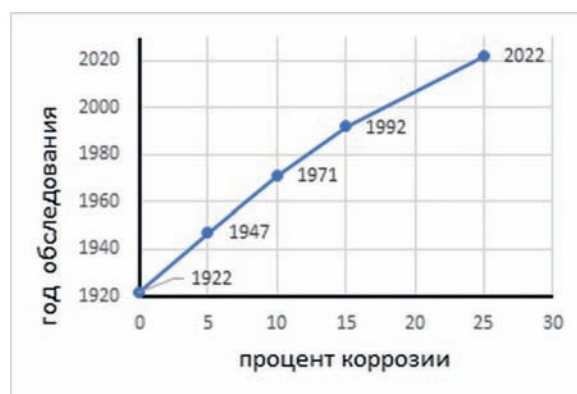


Рис. 4. Неравномерное по времени нарастание коррозионных повреждений. График авторов статьи

⁵ СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции». Актуализированная редакция СНиП II-23-81* (<https://docs.cntd.ru/document/456069588>).

⁶ ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» (<http://vsegost.com/Catalog/54/54142.shtml>).

неосуществима, замену элементов возможно выполнять только при разгрузке всех узлов башни путем её «вывешивания» на специально возведённые временные опорные конструкции либо при полной разборке и последующей сборке сооружения. При этом полная разборка значительно менее затратна и трудоёмка, однако существует риск, что обратная сборка с необходимой точностью при повторном использовании существующих элементов будет технически неосуществима.

Из-за несвариваемости металла все элементы башни, имеющие даже на отдельных участках уменьшающие сечение механические или коррозионные повреждения, неремонтопригодны. В разработанном в 2012 году проекте реконструкции-реставрации башни предусмотрено наращивание сечений элементов лазерной наплавкой, предусматривающее восстановление не только геометрических параметров, но и, на основании экспериментальных исследований, прочностных характеристик повреждённых участков. Однако проведённые позднее такие исследования показали, что при подобном восстановлении несущая способность практически не увеличивается [10]. Также отсутствуют экспериментальные данные о долговечности лазерной наплавки при её применении в строительных конструкциях. Следовательно, для обеспечения требуемой надёжности башни после реконструкции все элементы, в которых необходимо усиление, подлежат замене.

Проведённые на сегодняшний день противоаварийные мероприятия обеспечивают защиту башни от обрушения, но не уменьшают аварийного состояния отдельных элементов и сооружения в целом. Более того, учитывая прогрессирующий характер коррозионных процессов, состояние элементов и узлов башни продолжает ухудшаться, и необходимо безотлагательное принятие мер по ликвидации аварийного состояния башни.

Было проанализировано два варианта проведения работ по сохранению Радио-башни.

Первый вариант. Разборка конструкции и её восстановление из новых элементов с сохранением оригинального облика и конструкции сооружения, так как материалы конструкции башни не являются предметом охраны ОКН «Шаболовская радиомачта “Башня Шухова”».

Преимуществами данного варианта являются:

- возможность воспроизведения уникального конструктивного решения по первоначальному проекту инженера В.Г. Шухова с исключением всех дефектов монтажа и эксплуатационных повреждений в существующих конструкциях башни;
- возможность обеспечения долговечности башни на сто и более лет после проведения реконструкции-реставрации;
- возможность при необходимости применения в будущих ремонтах свариваемых материалов для усиления или замены отдельных участков конструкций Радио-башни.

Второй вариант. Частичная или полная разборка Радио-башни Шухова, комбинированная замена элементов при сочетании новых и существующих условно пригодных конструкций.

Преимущества этого варианта заключаются в формальном соблюдении общих требований охраны ОКН в части теоретической возможности сохранения максимального количества элементов оригинальной конструкции.

Недостатком второго варианта является использование части существующих конструкций Радио-башни с заведомо худшими характеристиками материалов: отсутствие свариваемости, меньшая механическая прочность, поверхностная коррозия, низкая ударная вязкость. В связи с этим эксплуатационные характеристики башни будут ниже, а требуемая частота проведения текущих и капитальных ремонтов – выше.

Практическая реализация проекта будет технически сложной и трудоёмкой задачей, потребуются проведение дополнительного экспертного сопровождения. При восстановлении по второму варианту потребуется корректировка проектной документации после разборки элементов и узлов и определения состава сохраняемых элементов, а также получение дополнительных заключений от специализированных организаций о возможности повторного использования оригинальных элементов.

В случае полной разборки конструкции сооружения также представляются достаточно сложными решение проблемы восстановления с необходимой точностью первоначального расположения сохраняемых элементов и их обратная сборка, особенно при сопряжении с заменёнными новыми элементами.

В настоящее время по заданию Минкультуры России институтом «ЦНИИПромзданий» начата разработка проектной документации на проведение работ по сохранению объекта.

* * *

Обследования, проведённые в последнее десятилетие институтом «ЦНИИПромзданий», показали, что техническое состояние объекта культурного наследия федерального значения – Радио-башни В.Г. Шухова – аварийное. Выполненные противоаварийные мероприятия исключают внезапное обрушение башни, но не ликвидируют аварийное состояние металлических конструкций. Анализ развития дефектов выявил, что состояние башни продолжает ухудшаться. В 2023 году начата разработка проектной документации по сохранению объекта. При выполнении проекта следует учесть несвариваемость и хладоломкость сохраняемых элементов, невозможность удаления отдельных элементов без полной разгрузки всего сооружения. Все элементы башни, имеющие даже на отдельных участках уменьшающие сечение механические или коррозионные повреждения, неремонтопригодны и подлежат замене на новые. При повторном использовании существующих элементов необходимо особое внимание уделить технологии обратной сборки. Проект должен обеспечить сохранение признаков сооружения, являющихся предметом охраны памятника, утверждённым приказом Минкультуры России от 08.07.23 № 1178 «Об утверждении предмета охраны объекта культурного наследия федерального значения “Радио-башня”, 1922 г. (г. Москва)».

Список источников

1. В.Г. Шухов: Нижегородские проекты. Территория уникальных объектов / С.В. Зеленова, Т.П. Виноградова, Д.И. Коротаева, Г.Н. Ометова. – Нижний Новгород : Литера, 2016. – 224 с. – Текст : непосредственный.

2. Виноградова, Т.П. В.Г. Шухов. Нижегородские проекты / Т.П. Виноградова. – Текст : непосредственный // Материалы международного конгресса «Гений В.Г. Шухова и современная эпоха». Москва, 17–18 апреля 2014 года. – Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана. – С. 108–114.

3. Ковельман, Г.М. О сетчатых сооружениях гиперболического типа / Г.М. Ковельман. – Текст : непосредственный // Творчество инженера В.Г. Шухова. – Москва : Госстройиздат, 1961. – С. 134–167.

4. Зезина, О.В. Инженерный гений В.Г. Шухова (к 165-летию со дня рождения) / О.В. Зезина, М.И. Михайлова, Н.О. Некрасова. – Москва : ФИПС, 2018. – 71 с. – Текст : непосредственный.

5. Шухов В.Г., 1853–1939. Искусство строительства / Под редакцией Р. Грефе, М.М. Гаппоева, О. Перчи. – Москва : Мир, 1994. – 192 с. – Текст : непосредственный.

6. Сохранение радиобашни Шухова – современное состояние и перспективы / В.В. Гранёв, Э.Н. Кодыш, А.Н. Мамин. – Текст : непосредственный // Фундаментальные поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году : Научные труды РААСН : В 2-х томах. Том 2. – Москва : АСВ, 2018. – С. 177–185.

7. Реставрация водонапорной башни Нижне-Выксунского завода / А.Н. Мамин, Э.Н. Кодыш, М.Н. Ершов [и др.]. – Текст : непосредственный // Строительство и реконструкция. – 2019. – № 1 (81). – С. 67–75.

8. «Шуховский пролёт» листопркатного цеха Нижне-Выксунского завода / А.Н. Мамин, Э.Н. Кодыш, В.В. Бобров, А.В. Рэцу. – Текст : непосредственный // Academia. Архитектура и строительство. – 2019. – № 2. – С. 110–116.

9. Результаты обследования радиобашни В.Г. Шухова / Э.Н. Кодыш, А.Н. Мамин, В.В. Бобров [и др.]. – Текст : непосредственный // Строительство и реконструкция. – 2017. – № 6 (74). – С. 43–48.

10. Некоторые свойства порошкового металла при его лазерном напылении для восстановления сечений стальных строительных конструкций / Гранёв В.В., Мамин А.Н., Кодыш Э.Н. [и др.] // Строительные материалы. – 2018. – № 9. – С. 54–57.

References

1 Zelenova S.V., Vinogradova T.P., Korotaeva D.I., Ometova G.N. V.G. Shukhov: Nizhegorodskie proekty. Territoriya unikal'nykh ob"ektov [Nizhny Novgorod Projects. Territory of Unique Objects]. Nizhnii Novgorod, Litera Publ., 2016, 224 p. (In Russ.)

2. Vinogradova T.P. V.G. Shukhov. Nizhegorodskie proekty [V.G. Shukhov. Nizhny Novgorod Projects]. In: *Materialy mezhdunarodnogo kongressa «Genii V.G. Shukhova*

i sovremennaya epokha» [Proceedings of the International Congress “Genius V.G. Shukhov and the Modern Era”]. Moscow, April 17–18, 2014. Moscow, BMSTU named of N.E. Bauman, pp. 108–114. (In Russ.)

3. Kovel'man G.M. O setchatykh sooruzheniyakh giperboloidnogo tipa [On Mesh Structures of Hyperboloid Type]. In: *Tvorchestvo inzhenera V.G. Shukhova [Creativity of Engineer V. G. Shukhov]*. Moscow, Gosstroizdat Publ., 1961, pp. 134–167. (In Russ.)

4. Zezina O.V., Mikhailova M.I., Nekrasova N.O. Inzhenernyi genii V.G. Shukhova (k 165-letiyu so dnya rozhdeniya) [Engineering Genius V.G. Shukhov (to the 165th anniversary of his birth)]. Moscow, FIPS Publ., 2018, 71 p. (In Russ.)

5. Grefe R., Gappoeva M.M., Perchi O. (eds.). Shukhov V.G., 1853–1939. *Iskusstvo stroitel'stva [Shukhov V.G., 1853–1939. The Art of Construction]*. Moscow, Mir Publ., 1994, 192 p. (In Russ.)

6. Granev V.V., Kodysh E.N. Mamin A.N., Bobrov V.V., Reucu A.V., Kuznechenko S.A. Sokhraneniye radiobashni Shukhova – sovremennoe sostoyaniye i perspektivy [Protection of Shukhov's Radio Tower – Modern Condition and Prospects]. In: *Fundamental'nye poiskovye i prikladnye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arkhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noi otrasli Rossiiskoi Federatsii v 2017 godu [Fundamental search and applied research of the RAASN on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2017 year]*, Scientific works, In 2 volumes. Vol. 2]. Moscow, ASV Publ., 2018, pp. 177–185. (In Russ., abstr. in Engl.)

7. Mamin A.N., Kodysh E.N., Ershov M.N., Bobrov V.V., Reucu A.V. Restavratsiya vodonapornoj bashni Nizhne-Vyksunskogo zavoda [Restoration of the Water Tower Nizhnyaya-Vykxa Plant]. In: *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya [Building and Reconstruction]*, 2019, no. 1 (81), pp. 67–75. (In Russ., abstr. in Engl.)

8. Mamin A.N., Kodysh E.N., Bobrov V.V., Reucu A.V. «Shukhovskii prolet» listoprokatnogo tsekha Nizhne-Vyksunskogo zavoda [Shuhovsky Span" of Plate Rolling Shop of the Nizhne-Vykxa Metallurgical Plant]. In: *Academia Arkhitektura i stroitel'stvo [Academia. Architecture and Construction]*, 2019, no. 2, pp. 110–116. (In Russ., abstr. in Engl.)

9. Kodysh E.N., Mamin A.N., Bobrov V.V., Reucu A.V., Kuznechenko S.A. Rezul'taty obsledovaniya radiobashni V.G. Shukhova [The Results of the Survey of the Radio Tower by V. Shukhov]. In: *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya [Building and Reconstruction]*, 2017, no. 6 (74), pp. 43–48. (In Russ., abstr. in Engl.)

10. Granev V.V., Mamin A.N., Kodysh E.N., Eremin K.I., Ershov M.N., Shneiderov G.R. Nekotorye svoystva poroshkovogo metalla pri ego lazernom napylenii dlya vosstanovleniya sechenii stal'nykh stroitel'nykh konstruksii [Some Properties of Powder Metal during Its Laser Deposition to Restore the Cross Sections of Steel Building Structures]. In: *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*, 2018, no. 9, pp. 54–57. (In Russ., abstr. in Engl.)