

УДК 624.971.014.2:654.19

Сохраним радиобашню В. Г. Шухова

Виктор Владимирович ГРАНЕВ, доктор технических наук, профессор, e-mail: cniipz@cniipz.ru

Александр Николаевич МАМИН, доктор технических наук, профессор, e-mail: otozs@yandex.ru

Эмиль Наумович КОДЫШ, доктор технических наук, профессор, e-mail: otks@yandex.ru

Владимир Викторович БОБРОВ, кандидат технических наук, e-mail: otozs@yandex.ru

АО «ЦНИИПромзданий», 127238 Москва, Дмитровское ш., 46, корп. 2

Михаил Николаевич ЕРШОВ, кандидат технических наук, профессор, e-mail: mersh007@yandex.ru

ПСП «Качество и надежность», 121096 Москва, ул. Василисы Кожиной, 14, корп. 6

Сергей Александрович МАТВЕЮШКИН, кандидат технических наук, e-mail: samatvey@gmail.com

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», 129337 Москва, Ярославское ш., 26

Аннотация. Представлен обзор работ выдающегося русского ученого и инженера В. Г. Шухова. Приведены методика и результаты обследования конструкций одного из известнейших его творений – памятника культурного наследия, известного как «башня Шухова» в Москве. Оценка технического состояния башни, выполненная специалистами ЦНИИПромзданий, выявила множество дефектов, среди которых трещины, поражение коррозией, отсутствие сцепления в бутовой части фундамента между стойками, снижающее общую устойчивость конструкции, превышение максимальных напряжений в отдельных элементах и т. д. Предлагались разные варианты сохранения памятника. В результате открытого конкурса был выбран проект, предусматривающий возвведение опорной конструкции внутри башни, которая, воспринимая часть вертикальных нагрузок, предохранит объект от аварии. Временная опорная башня представляет собой пространственную шестигранную в плане решетчатую пирамиду. Рассмотрены технические решения, позволившие сохранить замечательный памятник культурного наследия – «башню Шухова».

Ключевые слова: радиобашня Шухова, коррозия, опорная башня, вертикальные нагрузки, обследование, техническое состояние.

SAVE THE V. G. SHUKHOV RADIO TOWER

Viktor V. GRANEV, e-mail: cniipz@cniipz.ru

Aleksandr N. MAMIN, e-mail: otozs@yandex.ru

Emil N. KODYSH, e-mail: otks@yandex.ru

Vladimir V. BOBROV, e-mail: otozs@yandex.ru

TSNIIPromzdaniy, Dmitrovskoe shosse, 46, korp. 2, Moscow 127238, Russian Federation

Mikhail N. ERSHOV, e-mail: mersh007@yandex.ru

PSP «KiN», ul. Vasiliy Kozhinoy, 14, korp. 6, Moscow 121096, Russian Federation

Sergey A. MATVEYUSHKIN, e-mail: samatvey@gmail.com

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation

Abstract. There is a review of works of the outstanding Russian scientist and engineer V. G. Shukhov. The technique and results of inspection of designs of one of the most famous creation, a monument of cultural heritage known as «Shukhov Tower» in Moscow are presented. The assessment of technical conditions of the tower made by specialists of TSNIIPromzdany has revealed many defects, among them are cracks, corrosion, lack of bond between posts in the rubble part of the foundation that reduces the total stability of the structure, exceeding the maximum stresses in separate elements etc. Various options of the monument saving were proposed. As a result of the open competition, the project, providing the construction of a supporting structure inside the tower which, taking the portion of vertical loads, will protect the object from accident, has been selected. A temporary supporting tower is a spatial, hexagonal in plan, lattice pyramid. Technical solutions, which make it possible to save the remarkable monument of cultural heritage – «Shukhov Tower», were considered.

Key words: Shukhov radio tower, corrosion, supporting tower, vertical loads, inspection, technical conditions.

В 2017 г. исполняется 95 лет с момента ввода в эксплуатацию радиобашни конструкции выдающегося русского ученого и

инженера, представителя конструктивизма, Владимира Григорьевича Шухова, известной как «башня Шухова» на Шаболовке

[1, 2]. В марте 1922 г. прозвучала первая транслируемая с башни передача.

В процессе изучения истории

создания и эксплуатации башни и знакомства с трудами В. Г. Шухова нас не оставляла мысль о недооценке в нашей стране его творческого наследия. Даже первая большая книга о его творчестве «В. Г. Шухов (1853–1939). Искусство конструкции» вышла на немецком языке, а затем была переведена на русский [3]. Разносторонний талант Шухова родит его с легендарным Леонардо да Винчи. Если всемирно известные изобретатели XIX–XX вв. Белл, Зингер, Эдисон проявляли свой талант в относительно ограниченной области знаний, то В. Г. Шухов решал самые разнообразные задачи, которые перед ним ставила жизнь.

В настоящее время эта несправедливость понемногу исправляется. В Москве в год 150-летия со дня рождения В. Г. Шухова была проведена международная научно-практическая конференция. 17–18 апреля 2014 г. в стенах МГТУ им. Н. Э. Баумана прошел международный конгресс «Гений В. Г. Шухова и современная эпоха», посвященный 160-летию со дня его рождения. Доклады конгресса были изданы в виде сборника объемом более 300 страниц. На конгрессе, на секциях, кроме инженеров-конструкторов, технологов, архитекторов, выступали историки, философы, социологи, психологи, специалисты во многих других отраслях знаний, которые могут не только оценить вклад В. Г. Шухова в современную науку и технику, но и попытаться предвидеть дальнейшее развитие научно-технического прогресса.

Приведем перечень некоторых, осуществленных на практике, фантастически разнообразных изобретений В. Г. Шухова:

- первый в России нефтепровод длиной 10 км и разработанная на основе экспериментов теория движения жидкости с учетом ее плотности, скорости и т. д.;
- транспортировка по трубам тя-

желых фракций нефти с предварительным подогревом;

- цилиндрические резервуары нефте- и газохранилища вместо прямоугольных и квадратных и методика их расчета;
- конструктивное решение нефтеналивных барж с ложкообразным носом, резко уменьшившее их «рысканье», увеличившее скорость хода (было построено 40 барж, среди которых некоторые достигали длины 160 м);
- проекты землечерпалок, пристаней и грузовых пароходов;
- форсунка для полного сжигания мазута;
- конструкции насосов для извлечения нефти, включая компрессор для накачивания сжатого воздуха;
- устройство для перегонки нефти на заводе Нобеля в г. Баку;
- водотрубные «котлы Шухова»;
- установка крекинг-процесса;
- проектирование и строительство 417 мостов с унифицированными конструктивными типами пролетных строений.

Особо следует выделить для нас, строителей, конструктивные решения покрытий зданий и сооружений:

- необычные арочные конструкции покрытий пролетами до 50 м Киевского вокзала, Главпочтамта, Бахметьевского автобусного парка и др.;
- сетчатую поверхность в виде висячего или сводчатого покрытия, а затем в виде вертикальной несущей конструкции. Эта конструкция состоит из прямых стержней, соединенных в местах пересечения и образующих ромбы и квадраты. Было построено несколько сотен таких водонапорных башен, Херсонский маяк, башни для высоковольтной сети на р. Оке высотой 128 м.

Апогеем творчества Владимира Григорьевича является знаменитая радиобашня на Шаболов-

ке в Москве, которая была запроектирована высотой 350 м, т. е. выше Эйфелевой башни в Париже, но из-за отсутствия металла (1919 г.) ее высота была снижена до 150 м.

За истекшие почти 95 лет с момента начала эксплуатации не только в техническом состоянии, но и в конструктивном решении башни произошли значительные изменения. Основной причиной явилась так называемая щелевая коррозия, которая проявляется в узлах и буквально отрывает шляпки заклепок.

Увеличились также нагрузки — наверху была смонтирована 10-метровая секция для антенн [4], три промежуточные площадки, дополнительные кольца, три вертикальные фермы для прокладки фидера, большое количество антенн, лифт до высоты 56 м, а фундамент с шарнирными узлами стоек был взят в железобетонную обойму, что принципиально изменило напряженно-деформированное состояние конструкций.

За время эксплуатации башня окрашивалась всего 3 раза, последняя окраска проводилась в 1964 г., причем башня расположена не в самых лучших микроклиматических условиях.

Обследования состояния башни проводились 6 раз, при этом обследовалось не более 25 % узлов.

В 2010 г. акад. РААСН В. И. Травушем были проанализированы отчеты предыдущих обследований [5]. Результат был печальным: отсутствовал ряд соединительных элементов, в зонах узлов несущая способность из-за щелевой коррозии снизилась до 50 %, в зонах сварки имелись трещины.

При выполнении поверочных расчетов принималась упрощенная модель, не уточнялись координаты узлов. Следует также отметить, что обследования проводились в легкодоступных местах,

в основном в зоне площадок и нижней секции, не вычислялись точные координаты узлов.

В 2010 г. вышло постановление правительства РФ № 1165 «Об осуществлении бюджетных инвестиций в проектирование и реконструкцию объекта «Реконструкция Радиобашни Шухова, г. Москва, ул. Шухова, д. 10, стр. 2» ФГУП «Российская телевизионная и радиовещательная сеть», находящегося в ведении Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям».

Был проведен открытый конкурс на реконструкцию башни, победителем которого стало ПСП «Качество и надежность» («КиН»). Для проведения обследования и разработки конструктивной части реставрации было выбрано АО «ЦНИИПромзданий», имеющее большой опыт обследования и проектирования технических сложных конструкций, включая стальные. Это – объекты Роскосмоса, в том числе Байконура, заводы нефтехимии по всей европейской части страны, стадионы в Москве, Грозном, Казани, Ростове-на-Дону, Большой, Малый и Художественный театры и многие другие.

Обследование башни осуществлялось с помощью профессиональной бригады инженеров-альпинистов, которые впервые осмотрели и сфотографировали 100 % узлов башни, были взяты в разных местах и переданы для исследования образцы металла, проведено вскрытие фундаментов. С целью получения точных координат всех точек была привлечена фирма ООО «ЭкоСкан» (Санкт-Петербург), проводившая лазерное сканирование, определившее точные координаты примерно 50 млн точек. В результате была построена трехмерная стержневая модель.

Перечень выявленных дефектов огромен, перечислим лишь основные:

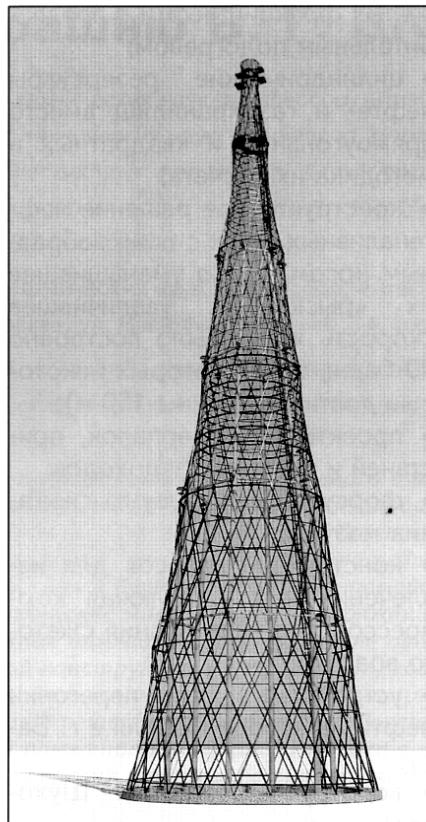


Рис. 1. Схема устройства опорной башни, возводимой внутри радиобашни Шухова

- большое количество углерода в металле делает ненадежной сварку, и в большинстве сварных швов узлов, выполненных во время реконструкции, имеются трещины;
- на границе примыкания к фундаменту металлические детали сильно поражены коррозией, а в бутовой части фундамента отсутствует сцепление между отдельными камнями;
- наблюдается массовое искривание продольных осей стоек, снижающее общую устойчивость ($K=1,09$), что явно не достаточно;
- напряжения в отдельных элементах, даже без учета коррозии, превышают допустимые максимальные напряжения на 5 %.

Результаты работы были опубликованы в статье [6] и доложены на комиссии РААЧ [7].

Однако отсутствие бюджетного финансирования на восстано-

вление башни вызвало бурные дискуссии [8] и появление ряда нелогичных предложений. Так, предлагалось разобрать башню и «сохранить» элементы до появления финансирования; группа московских архитекторов предложила создать силовую конструкцию в виде прямоугольника с двумя стеклянными стенами, которая воспринимала бы часть нагрузок и позволяла вести реконструкцию. Предлагалось также оставить все без изменения на несколько лет, что могло привести к началу разрушения башни.

В результате, при небольшом финансировании, АО «ЦНИИПромзданий» выполнило проект, а ПСП «КиН» возвело опорную конструкцию внутри башни, которая, воспринимая часть нагрузок, предохранит башню от аварии и при проведении реставрации позволит фиксировать узлы в период замены стержней или элементов узлов.

В 2014 г. был разработан проект противоаварийных мероприятий, получивший в 2015 г. положительное заключение историко-культурной экспертизы Мосгорнаследия. Принятые в проекте принципиальные решения по обеспечению физической сохранности объекта заключаются в передаче части вертикальных нагрузок с самой башни на временную отдельно стоящую опорную конструкцию, возводимую внутри существующей радиобашни (рис. 1). Передача нагрузок осуществляется путем «вывешивания» радиобашни на консоли опорной башни в шести узлах каждой из пяти нижних секций. Для исключения передачи горизонтальных нагрузок «вывешивание» предусмотрено с помощью гибких металлических тросов. Регулировка усилий в них осуществляется динамометрическими ключами.

Поскольку седьмая, «антennaя» секция башни Шухова

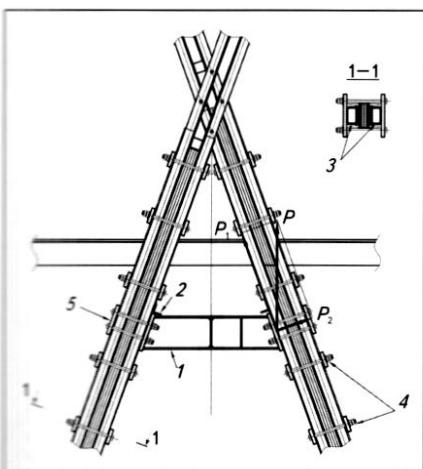


Рис. 2. Узел примыкания траперсы к стержневым элементам радиобашни

смонтирована в конце XX в. и не является охраняемой частью памятника культурного наследия, проектом предусмотрена ее разборка и утилизация.

Временная опорная башня представляет собой пространственную шестигранную в плане решетчатую пирамиду. Башня разделена на четыре секции, первая (нижняя) секция опирается на ростверки фундаментов. Для уменьшения влияния на фундамент радиобашни стойки нижней секции приняты вертикальными.

Стойки опорной башни — металлические из трубного профиля, диаметром 1020 мм для двух нижних секций и 720 мм — для двух верхних. Для повышения жесткости заделки опорные узлы стойки первой секции до отметки +1.600 заполнены железобетоном. В уровнях сопряжения секций устроены металлические пояса в виде плоских горизонтальных ферм с поясами из швеллеров № 30П.

Нижние стойки опорной башни опираются на отдельно стоящие монолитные железобетонные ростверки, объединяющие буроинъекционные сваи (по девять свай под каждым ростверком). Размеры ростверка в плане — 2,5×2,5×1,5 м; длина свай — 15 м, диаметр — 0,25 м.

Устойчивость опорной башни обеспечена жесткой заделкой стоек в ростверки и гибкими крестовыми связями, выполненными в каждой секции башни. В уровне поясов к стойкам опорной башни крепятся консоли коробчатого сечения из двух швеллеров № 30П, на которые через траверсы и стальные тросы передается вертикальная нагрузка от узлов радиобашни.

Важнейшей и достаточно сложной задачей, поставленной при проектировании, было обеспечить передачу усилия от веса радиобашни по оси ее элементов, не допуская возникновения изгибающих моментов. Эта задача решена путем разработки специальных узлов примыкания траперсы к стержневым элементам радиобашни (рис. 2). Здесь составляющая вертикальной силы P , параллельная оси стержня P_1 , от траперсы 1 передается через упоры 2 на вкладыши 3, прижатые к швеллерам башни струбцинами 4. Далее, благодаря трению и обжатым неровностям швеллеров, сила P_1 в виде распределенной нагрузки передается на наклонную стойку радиобашни. Связью, воспринимающей вторую составляющую P_2 силы P , и исключающей соответствующее деформирование стержней, являются сама траперса и крепящие ее струбцины 5.

Были проведены натурные испытания узла, специально собранного на нижнем пересечении стержней первой секции радиобашни (рис. 3). Нагрузка, соответствующая натяжению подвесок, создавалась винтовыми домкратами, взаимные смещения элементов узла измерялись механическими индикаторами и прогибомером, напряжения в элементах башни — тензорезисторами. Испытания показали, что при нагрузке 200 кН (вдвое превышающей расчетную) взаимные смещения элементов узла

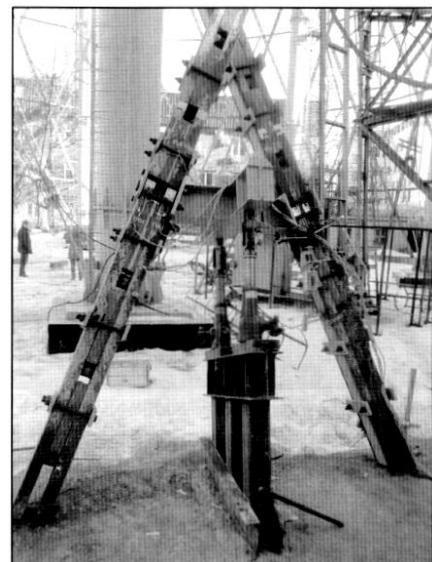


Рис. 3. Испытание узла примыкания траперсы к элементам радиобашни

вдоль действия силы P_1 отсутствуют, а взаимные горизонтальные перемещения стержней башни не превышают 0,3 мм, что подтверждает принятые при разработке узла предпосылки. На рис. 4 показаны смонтированные узлы первой секции.

При расчете опорной конструкции были учтены все нагрузки в соответствии с СП 20.13330. 2011 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия» и следующие вертикальные нагрузки от веса радиобашни: по 100 кН на каждую консоль первой, второй и третьей секций, по 50 кН на консоли четвертой секции. Таким образом, башня усиления может воспринять на себя до 100 % собственного веса радиобашни.

Строительно-монтажные работы по возведению опорной башни были начаты в июне 2015 г. и закончены в феврале 2016 г., при плановой продолжительности 12 мес (рис. 5).

Состав выполненных работ:

- демонтаж седьмой секции и технологических площадок;
- выполнение фундаментов из буроинъекционных свай, объединенных монолитными ростверками;
- монтаж пространственной ме-

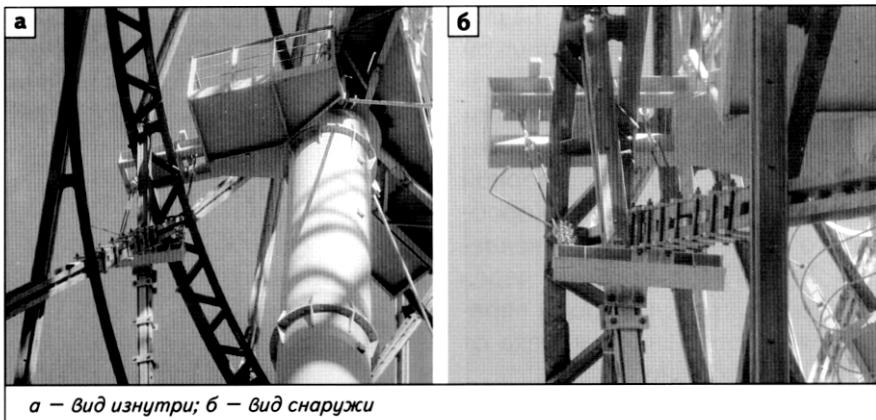


Рис. 4. Смонтированные узлы первой секции

таллической конструкции временной опорной башни;

- монтаж вспомогательной балочно-тросовой системы и «вывешивание» радиобашни.

Устройство буроинъекционных свай было выполнено с помощью мобильной установки типа СБГ-2М на самоходной гусеничной тележке, проходящей по габаритам в проем нижней первой секции радиобашни.

Монтаж башни осуществлялся поэлементно, при помощи лебедки, установленной на радиобашне.

Выводы

1. Радиобашня на Шаболовке в Москве – известнейшее творение выдающегося русского инженера В. Г. Шухова, памятник культурного наследия.

2. Как показали обследования

технического состояния башни, за почти 95 лет эксплуатации ее состояние приблизилось к предаварийному из-за щелевой коррозии.

3. С целью спасти памятник предлагались различные варианты. В результате открытого конкурса был выбран вариант, предусматривающий возведение опорной конструкции внутри башни, которая воспримет часть нагрузок и предохранит башню от аварии, а при проведении реставрации позволит фиксировать узлы при замене стержней или элементов узлов.

4. Временная опорная башня представляет собой пространственную шестигранную в плане решетчатую пирамиду. Устойчивость этой башни обеспечивается жесткой заделкой стоек в ростверки и гибкими крестовыми связями.

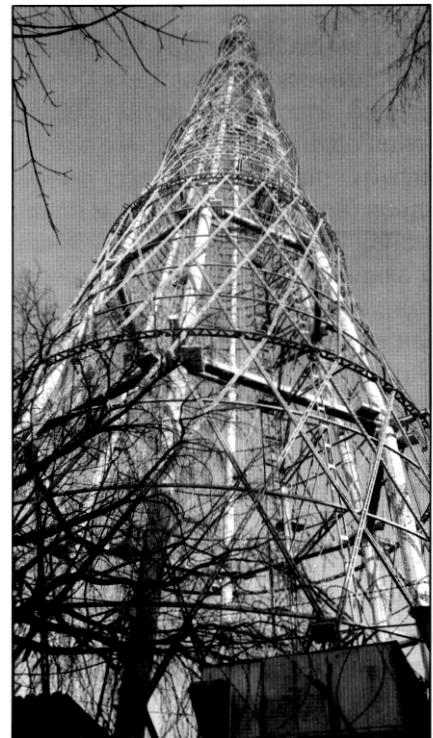


Рис. 5. Радиобашня Шухова после возведения опорных конструкций

5. Передача усилий от веса радиобашни, без возникновения изгибающих моментов, была обеспечена путем разработки специальных узлов примыкания траверсы к стержневым элементам башни Шухова.

6. Проект, разработанный ЦНИИПромзданий и получивший положительное заключение Мосгорнаследия, позволит сохранить для потомков выдающийся памятник русского конструктивизма.

ЛИТЕРАТУРА

- Гранёв В. В., Кодыш Э. Н., Мамин А. Н. К 160-летию со дня рождения В. Г. Шухова // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 2. С. 73–76.
- Ершов М., Еремин Д., Корчунов А. К 90-летию сооружения радиобашни В. Г. Шухова на Шаболовке. Реконструкция (реставрация) башни гениального русского инженера // Техническое регулирование. 2012. № 1. С. 32–36.
- В. Г. Шухов (1853–1931). Искусство конструкции / под ред. Р. Грефе, М. Гаппоева, О. Перчи; пер. с нем. М. : Мир, 1995. 192 с.
- Металлоконструкции надстройки башни Шухова для крепления антенн УКВ-ЧМ. 1991 // Архив ЦНИИПСК им. Мельникова. Шифр 20-Ф 5720-1-КМ.
- Травуш В. И. Обработка результатов обследований башни В. Г. Шухова, выполненных в 1947–2008 гг. М. : ЭНПИ, 2010. 37 с.
- Гранёв В. В., Мамин А. Н., Кодыш Э. Н., Кузнеценко С. А., Ершов М. Н. Техническое состояние несущих конструкций радиобашни В. Г. Шухова // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 12. С. 90–92.
- Технический отчет по результатам обследования строительных конструкций радиобашни Шухова, расположенной по адресу: г. Москва, ул. Шухова,

- 10, стр. 2. М. : ОАО «ЦНИИПромзданий», 2011. 100 с.
8. *Петропавловская И. А. Шаболовская башня в Москве (1919 – 2013). (Проекты реконструкции) // Сб.*

R E F E R E N C E S

1. Granev V. V., Kodysh E. N., Mamin A. N. To the 160th anniversary of the birth of V. G. Shukhov. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2013, no. 2, p. 73–76. (In Russian).
2. Ershov M., Eremin D., Korchunov A. On the 90th anniversary of the constructions of V. G. Shukhov radio tower on Shabolovka. Reconstruction (restoration) of the tower of the brilliant Russian engineer. *Tekhnicheskoe regulirovanie*, 2012, no. 1, pp. 32–36. (In Russian).
3. V. G. Shukhov (1853–1931). *Iskusstvo konstruktsii* [Art design]. Pod red. R. Grefe, M. Gappoeva, O. Perchi; per. s nem. Moscow, Mir Publ., 1995. 192 p. (In Russian).
4. Metallokonstruktsii nadstroyki bashni Shukhova dlya krepleniya antenn UKV-ChM [Metal add-ons Shukhov tower for mounting antennas VHF-FM]. 1991. Arkhiv TsNIIIPSK im. Mel'nikova, shifr 20-F 5720-1-KM. (In Russian).
5. Travush V. I. *Obrabotka rezul'tatov obsledovaniy bashni V. G. Shukhova, vypolnennykh v 1947–2008 gg* [Processing of the results of surveys of the tower
6. tr. Godichnoy nauch. konf. IIET RAN 2011 g., posvyashchennoy 120-letiyu so dnya rozhdeniya S. I. Vavilova [Proceedings of the Annual scientific conference ihst 2011, dedicated to the 120th anniversary since the birth of S. I. Vavilov]. Moscow, Yanus-K Publ., 2011, pp. 560–563. (In Russian).
7. Vladimir Shukhov, made in 1947–2008 gg]. Moscow, ENPI Publ., 2010. 37 p. (In Russian).
8. Granev V. V., Mamin A. N., Kodysh E. N., Kuznetchenko S. A., Ershov M. N. Operating conditions of bearing structures of the shukhov radio tower. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2012, no. 12, pp. 90–92. (In Russian).
7. *Tekhnicheskiy otchet po rezul'tatam obsledovaniya stroitel'nykh konstruktsiy radiobashni Shukhova, raspolozhennoy po adresu: g. Moskva, ul. Shukhova, 10, str. 2* [The technical report «By results of inspection of building constructions of Radiobashni Shukhov, located at the address: Moscow, Shukhov St., 10, p. 2»]. TSNIIIPromzdani, 2011. 100 p. (In Russian).
8. Petropavlovskaya I. A. Shabolovskaya tower in Moscow (1919 – 2013). (Reconstruction projects). *Sb. tr. Godichnoy nauch. konf. IIET RAN 2011 g., posvyashchennoy 120-letiyu so dnya rozhdeniya S. I. Vavilova* [Proceedings of the Annual scientific conference ihst 2011, dedicated to the 120th anniversary since the birth of S. I. Vavilov]. Moscow, Yanus-K Publ., 2011, pp. 560–563. (In Russian).

Для цитирования: Гранёв В. В., Мамин А. Н., Кодыш Э. Н., Бобров В. В., Ершов М. Н., Матвеюшин С. А. Сохраним радиобашню В. Г. Шухова // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 6. С. 14–19.

For citation: Granev V. V., Mamin A. N., Kodysh E. N., Bobrov V. V., Ershov M. N., Matveyushkin S. A. Save the V. G. Shukhov radio tower. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil engineering], 2016, no. 6, p. 14–19. (In Russian). ■