

50-ЛЕТНИЙ ЮБИЛЕЙ ОСТАНКИНСКОЙ ТЕЛЕБАШНИ — ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО СИМВОЛА МОСКВЫ

THE 50-YEAR ANNIVERSARY OF THE OSTANKINO TELEVISION TOWER THAT IS A STRUCTURAL CONCRETE SYMBOL OF MOSCOW

В. И. ТРАВУШ, д-р техн. наук, проф.

Описаны история разработки и строительства Останкинской телебашни в Москве, ее конструктивные и технологические особенности, опыт эксплуатации и преодоления возникавших чрезвычайных ситуаций. Сформулирован вывод о необходимости постоянного мониторинга состояния башни для удлинения сроков эксплуатации и накопления данных, необходимых для развития высотного строительства в России.

The history of the development and construction of the Ostankino TV tower in Moscow, its constructive and technological features are described. The operating experience and overcoming of arisen emergency situations are given. It is shown that permanent monitoring of the tower to increase terms of operation and for accumulation of data necessary for the development of high-rise construction in Russia should be obligated.

Ключевые слова:

телевизионная башня, конструктивные особенности, преднапряженный железобетон, опыт эксплуатации, чрезвычайные ситуации, мониторинг

Key words:

TV tower, design features, prestressed concrete, operating experience, emergency, monitoring

История проекта. Московская Останкинская телевизионная башня высотой 540,1 м была сдана в эксплуатацию 50 лет тому назад. Акт Государственной комиссии о ее приемке был подписан 5 ноября 1967 года. В течение нескольких лет она являлась самым высоким свободно стоящим сооружением в мире. Строительство башни было вызвано необходимостью создания общесоюзного телевизионного центра, который должен был обеспечить вещание по четырем черно-белым и одной цветной программам с возможностью непосредственного приема телевизионного сигнала на территории с радиусом 120 км, с тем чтобы население Москвы и Московской области получило возможность принимать передачи общесоюзного телевизионного центра без ретрансляции.

Несколько слов о начале проектирования телебашни. В 1956 г. ГСПИ Минсвязи СССР разработал технологическую часть проекта телевизионных антенн, которые должны были располагаться на 500-метровой опоре. В этом же году ЦНИИПСК разработал проект опоры в виде стальной мачты с

растяжками, но этот проект не был одобрен. Киевская Проектстальконструкция параллельно работала стальную конструкцию опоры. Эти проекты рассматривались в марте 1958 г. на заседании строительно-архитектурного совета АСИА СССР, где Н.В. Никитин высказал предложение соорудить опору телевизионных антенн в виде башни из монолитного предварительно напряженного железобетона. В этом же месяце Моспроект, в котором в то время работал Н.В. Никитин, получил от Госстроя СССР задание в трехдневный срок представить проект опоры антенн в виде предварительно напряженной железобетонной башни. После нескольких рассмотрений проектов башен в МГК КПСС три макета опоры антенн были выставлены в Манеже и показаны членам ЦК КПСС во главе с Н.С. Хрущевым. Докладывал проекты председатель Госстроя СССР В.А. Кучеренко, который сообщил, что Госстрой остановил свой выбор на железобетонной башне, и представил инженера Н.В. Никитина как автора проекта [1]. Это предложение было одобрено, и в сентябре 1958 г. Моспроект выпустил проектное задание на проектирование телевизионной башни высотой 508 м, подписанное главным инженером проекта А.Н. Кондратьевым, архитекторами Л.И. Баталовым, Д.И. Бурдиным и Н.В. Никитиным. Первоначально предполагалось расположить башню в районе Черемушек, однако в связи с близостью аэропорта Внуково и проходящими в этом районе трассами полетов самолетов было принято решение разместить башню в районе Останкино. 27 сентября 1960 г. началось бетонирование фундамента башни.



**Рисунок —
Вертикальная
панорама
Останкинской
телебашни**

Конструкция башни. Башня состоит из железобетонной оболочки высотой 385,6 м и стальной опоры антенн высотой 154,5 м (рисунок).

Фундамент башни в виде десятиугольной кольцевой плиты толщиной 3,0 м, с шириной кольца 9,5 м, со средним диаметром 60,0 м заглублен на 3,5 м от дневной поверхности. Он опирается на слой моренных суглинков толщиной 4–5 м, под которыми залегают пески и супеси. На фундамент башня опирается десятью наклонными опорами, которые на отметке 17,3 м переходят в коническую железобетонную оболочку. Эта оболочка имеет два уклона – сначала 38% до отметки 43 м и затем 23% до отметки 63,0 м, где ее наружный диаметр составляет 18,2 м. Между отметками 63,0 м и 311,0 м выполнена коническая оболочка с уклоном 2%. Выше, до отметки 385,6 м, выполнена цилиндрическая оболочка с наружным диаметром 8,2 м. В нижней конической оболочке башни толщина стенок 500 мм, далее — 400 мм, а в цилиндрической оболочке — 350 мм. Железобетонная оболочка сооружена из монолитного бетона класса по прочности на сжатие В30 и марки по морозостойкости F500. Она армирована вертикальной и горизонтальной арматурой из стали 35ГС класса А-III.

Для предотвращения появления горизонтальных трещин в железобетонной оболочке ствола башни ее стены обжаты предварительно напряженной канатной арматурой из 149 канатов диаметром 38,0 мм, каждый из которых натянут на усилие 72,0 т. Канатная арматура располагается открыто, внутри ствола башни, на расстоянии 2–5 см от железобетонной стенки. В нижней конической части башни канаты с помощью специальных анкеров крепятся в специальных кольцевых диафрагмах на отметках 43,0 и 63,0 м. Внутри ствола на восьми уровнях предусмотрены кольцевые консольные диафрагмы для закрепления верхних концов канатной арматуры на отметках от 195,0 до 385,0 м. Анкеровка канатов осуществлялась с помощью гильзоклиновых анкеров.

Металлическая наружная часть башни высотой 154,5 м, служащая опорой технологических антенных устройств, выполнена из цилиндрических стальных тонкостенных оболочек диаметром 4,0; 3,0; 2,6; 1,72; 0,72 м и призматической оболочки со стороной 0,186 м. Между собой оболочки соеди-

нены сваркой на монтаже с помощью специальных конических переходов. Для закрепления нижней цилиндрической оболочки диаметром 4,0 м в железобетонном стволе ее нижняя часть заведена внутрь железобетонного ствола на 10,4 м и закреплена в диафрагмах, расположенных на отметках 375,1 и 385,6 м.

Верхняя диафрагма выполнена в виде кольцевого утолщения ствола до 2,0 м с высотой 15 м. Для пропуска стальной антенной опоры внутрь железобетонного ствола до отметки 375,1 м в центре диафрагмы предусмотрено отверстие диаметром 4,2 м. По периметру отверстия замоноличены закладные детали из стальных листов с мощными анкерами. Зазор между частью стальной опоры и железобетонной диафрагмой замоноличен бетоном на мелком гранитном щебне. На эту диафрагму установлены 24 ребра с шагом 15°, на которые передается вся вертикальная нагрузка от стальной опоры. Горизонтальная нагрузка от изгибающего ветрового момента, возникающего в основании стальной опоры, передается на эту и на нижнюю диафрагмы. Нижняя диафрагма представляет собой металлическое кольцо из стального листа толщиной 20 мм, которое крепится сваркой к стальной опоре антенн и к мощной закладной детали, заделанной с помощью анкеров в железобетонный ствол.

Значительная часть внутреннего объема железобетонного ствола занята стальной пространственной решетчатой конструкцией, в которой размещаются шахты четырех скоростных лифтов, шахты кабелей связи, силовых кабелей, фидеров, стояков водопровода и канализации и пожарной лестницы. Между отметками 353,6 и 375,1 м размещены пять этажей машинных отделений лифтов. На высоте 117-151 м в пространстве между габаритами шахт и внутренней поверхностью железобетонной стенки ствола находятся девять этажей аппаратных помещений.

Стальная пространственная конструкция шахт разделена по высоте на десять участков. Нижний участок в виде железобетонного цилиндра, расположенный в отметках -6,8 – 63,1 м, опирается на самостоятельный круглый фундамент. Остальные стальные конструкции шахтной клетки длиной по 42,0 или 21,0 м подвешены к опорным конструкциям в виде перекрестных систем балок и ферм, опирающихся на кольцевые диафрагмы, служащие для анкеровки канатов. Такое деление кратно модулю 3,5 м — расстоянию между смежными креплениями направляющих лифтов. Через каждые 7 м по вертикали шахта по углам развязана двумя распорками, упирающимися в кольцевые закладные детали на стенке ствола. Это обеспечивает совместность изгибных деформаций железобетонного ствола и шахты лифтов. Секции соединяются с помощью скользящих стыков, которые фиксируют шахту в плане и позволяют ей свободно перемещаться вертикально, что компенсирует разность вертикальных деформаций ствола и конструкции шахты. Через каждые 3,5 м по вертикали шахта имеет горизонтальные связи, на которых устроены площадки из рифленой листовой стали. На них опираются направляющие кабин и противовесов четырех лифтов, защитные асбоцементные трубы высоковольтных кабелей, жесткие фидеры, теплоизолированные водопроводные и канализационные трубы-стояки и другие вертикальные коммуникации.

Наружные обстройки башни расположены между отметками 147,0 – 151,0; 243,0 – 253,0 и 323,0 – 360,0 м. Самая крупная кольцевая десятиэтажная обстройка имеет диаметр 18,8 м и высоту 37 м. Обстройка расчленена по высоте на две части. Каждая часть имеет свою опорную конструкцию. Нижняя опорная конструкция решена в виде замкнутой кольцевой оболочки, имеющей в плане форму правильного 24-угольника. Снаружи она прикреплена к железобетонному стволу гибкими листовыми подвесками и не передает на него никакие горизонтальные и моментные усилия. Верхняя опорная конструкция воспринимает нагрузку от подвешенных к ней пяти технических этажей и пе-

рекрития на отметке 360,0 м. Между верхней и нижней частями обстройки на отметке 337 м расположена смотровая площадка диаметром 23,1 м. Ниже ее на отметках 334, 331 и 328 м расположены три этажа ресторана.

Расчеты. Для расчета сооружения и его отдельных элементов – кольцевого фундамента, наклонных опор, конических оболочек, различных обстроек, стальной опоры антенн и т.д. на действие вертикальных, ветровых, температурных, гололедных нагрузок, усилий натяжения канатов предварительно напряженной арматуры, монтажных нагрузок от самоподъемного агрегата, монтажных кранов и т.п. — были решены различные статические и динамические задачи строительной механики. Для динамического расчета башни на действие пульсационной составляющей ветровой нагрузки была решена задача определения собственных частот и форм колебаний сооружения с учетом его деформированной схемы и разработан алгоритм численного расчета. Расчет башни производился с помощью логарифмической линейки и арифмометра.

Механизмы обслуживания. Для ремонтных работ и систематического наблюдения за состоянием внешней и внутренней поверхностей ствола, внешних обстроек, а также технологического оборудования, смонтированного по всей высоте, выполнен комплекс грузоподъемных устройств, обеспечивающих доступ к любой точке поверхности башни. В систему обслуживания входят механизмы различных типов. Каждый механизм предназначен для определенного участка башни, ограниченного конструкциями внешних обстроек или перекрытиями внутри башни. Каждая подъемная система представляет собой кольцевую платформу, подвешенную на двух полиспадах к электрическому подъемному механизму, перемещающемуся по кольцевому монорельсу.

На башне создан *метеорологический комплекс* для дистанционных метеорологических измерений. Метеорологические датчики вынесены на ряях длиной 10 м на уровнях 85, 128, 201, 253, 305, 385 м и длиной 5 м на отметке 503 м. Назначением комплекса является обеспечение метеорологической информацией в нижнем 500-метровом слое атмосферы, включающей изучение погодных условий, величин скоростей ветра и его направлений, температуры воздуха и других атмосферных параметров.

Возведение башни. Железобетонную оболочку башни возводили секциями по 5,25 м с помощью самоподъемного агрегата, который находился сверху бетонируемой секции, а монтаж стальной опоры антенн осуществляли укрупненными секциями весом до 25 т краном, прикрепляемым снаружи к уже смонтированной секции.

За время проектирования и строительства высота телебашни несколько раз изменялась. По первоначальному проекту она составляла 508 м, затем в процессе проектирования увеличилась до 525 м, а уже к окончанию строительства в 1967 г. составила 533, 3 м. Через несколько лет по новому технологическому заданию башня еще «подросла», и в 1973 г. ее верхняя отметка находилась на высоте 540,1 м.

Наблюдения за конструкциями башни. Еще до начала возведения фундаментов были заложены глубинные марки на расстоянии 25;12 и 6 м от поверхности земли под каждой из десяти опор башни. После бетонирования фундамента в 1961 г. начались замеры перемещений грунта непосредственно под фундаментом и перемещений глубинных марок. Эти замеры проводятся уже более 50 лет. Осадка основного фундамента — порядка 50-55 мм, при этом крен его составляет 4.56×10^{-4} , а отклонение вершины, вызванное креном, равно 24,6 см. После сдачи башни в эксплуатацию на ней регулярно проводятся и другие измерения. Измеряются уровень грунтовых вод, усилия натяжения в канатной арматуре, ход температурных трещин, скорость ветра, температура стенок железобетонной

оболочки, периоды колебаний сооружения и т.д. В таблице приведены данные периодов колебаний для первых трех форм колебаний.

Сравнение периодов колебаний башни

Таблица

Форма колебаний	Расчетный период, с	Период по опытным данным, с
1	13,2	11,4
2	4,7	4,7
3	2,8	2,2

По результатам замеров основной период оказался на 14% меньше расчетного. Это объясняется тем, что класс бетона к моменту измерения частот колебаний был выше проектного. Кроме того, на повышение частоты колебаний могли повлиять не учтенные в расчете конструкции данные, увеличившие жесткость сооружения. Максимальная замеренная амплитуда верха железобетонной части башни составила 30,4 см, следовательно, ускорение колебаний по основной форме на уровне смотровой площадки и ресторана составило 70 мм/с^2 , что меньше нормы на ускорения для высотных зданий, составляющей 80 мм/с^2 . Следует отметить, что верхняя обстройка башни расположена около узла второй формы колебаний и, следовательно, ускорения по этой форме близки к нулю. По остальным формам колебаний ускорения незначительны. Таким образом, посетители, находящиеся в помещениях ресторана и смотровой площадки, не испытывают неприятные ощущения от действия ветровой нагрузки. Можно также подчеркнуть, что при расчетах башни, выполненных с помощью логарифмической линейки, получены результаты, незначительно отличающиеся от результатов натурных измерений.

Под действием солнечного нагрева сечения башни описывают кривую, близкую по форме к эллипсу. На отметке 525 м замеренное температурное отклонение составило 1,8 м.

Чрезвычайная ситуация. За прошедший период башня подверглась чрезвычайной ситуации [2]. 27 августа 2000 г. в районе отметки 450 м начался пожар с распространением пламени вниз, обусловленным тем, что полихлорвиниловая изоляция фидеров, расплавляясь, падала вниз. Пожар удалось остановить в районе отметки 80 м. В результате пожара на внутренней поверхности железобетонного ствола башни возникли взрывообразные отслоения бетона защитного слоя с различной степенью обнажения арматуры, а также температурные трещины. Отслоения бетона происходили участками площадью от 3 до 10 м^2 глубиной от 4 до 6 см. В результате обследования стальных конструкций, находящихся внутри железобетонного ствола, к которым крепятся несущие подвески шахтной клетки, обнаружено, что в ряде несущих опорных конструкций повреждения носили катастрофический характер, а в остальных металлических конструкциях произошла потеря устойчивости стенок балок, их выпучивание и скручивание полок. Очень сильно были повреждены стальная диафрагма и анкера закладных деталей на отметке 375,1 м, где крепится нижняя часть стальной части башни. Вследствие огня и падения кабин лифтов значительные повреждения получили почти все балки и подвески шахты. Отклонения подвесок достигали, в основном, 50 – 100 – 150 мм. Такие отклонения привели к значительной деформации шахтной клетки в плане. Большинство канатов предварительно напряженной арматуры потеряли натяжение, провисли или оборвались. Натяжение сохранилось лишь в 20% канатов.

Восстановление и реконструкция башни. Для решения вопросов, связанных с восстановлением поврежденных железобетонных и металлических конструкций, был использован комплекс научно-исследовательских работ по наблюдению за ее напряженно-деформированным состоянием, про-

водимых специализированными организациями в течении почти 40 лет с начала строительства сооружения. При реконструкции башни были разработаны специальные технологии восстановления железобетонных и металлических конструкций, учитывающие сложные условия производства работ в стесненном пространстве на большой высоте. Большие трудности были вызваны отсутствием вертикального транспорта внутри башни. Для заделки трещин, а также заполнения повышенной пористости в «слабом» бетоне, в отличие от традиционных эпоксидных и полиуретановых инъекционных составов, были использованы низковязкие полимеризующиеся композиции на основе метилметакрилата, что позволило значительно повысить скорость заполнения дефектов в бетоне, увеличить глубины проникновения композиции в поровое пространство и трещины бетона, а также проводить ремонтные работы в зимнее время при температуре до минус 30 °С. Одновременно были полностью демонтированы, заменены на новые и натянуты канаты предварительно напряженной арматуры.

Особую сложность представляло усиление стальных конструкций, находящихся под нагрузкой. Для этого были разработаны специальные технологические схемы по усилению конструкций, находящихся в стесненных условиях, при отсутствии возможности их замены. В короткие сроки был выполнен комплекс работ по пассивной и активной противопожарной защите Останкинской телебашни.

Построенные и введенные в эксплуатацию скоростные лифты телебашни по уникальности значительно превосходят как бывшие лифты, так и современные лифты других высотных сооружений мира. Отсутствие подвесного кабеля связи кабины с машинным отделением компенсируется тремя независимыми системами радиосвязи. Применена система индуктивной передачи электроэнергии для питания оборудования кабины при ее скоростном движении, заменяющая ранее использовавшиеся тяжелые, громоздкие, требующие частой подзарядки аккумуляторные батареи. Один из лифтов выполнен в пожаростойком исполнении и с автономным электроснабжением для перевозки пожарных команд.

Одновременно с реконструкцией сооружения, созданием новых лифтов осуществлялись работы по модернизации радиотехнического оборудования на базе использования полупроводниковых и цифровых телевизионных и радиовещательных передатчиков.

Останкинская телебашня, являясь крупнейшим предприятием телерадиовещания, играет огромную общественную роль в жизни нашей страны. После реконструкции она осуществляет эфирную трансляцию на Москву и Московскую область 19 телевизионных и 16 радиопрограмм, обеспечивая телерадиовещанием огромный мегаполис. На Останкинской телебашне успешно функционирует более 25 комплексов радиотелефонной, транкинговой, пейджинговой и радиорелейной связи крупнейших отечественных операторов. В настоящее время на башне установлен цифровой телевизионный передатчик, который может одновременно передавать 8 телепрограмм первого мультиплекса. В дальнейшем будут установлены телевизионные передатчики второго и третьего мультиплексов.

Заключение. По своим конструктивным особенностям телебашня является уникальным сооружением, в котором реализован ряд необычных новаторских решений [3-6]. Поэтому необходимо увеличить объем наблюдений за работой ее конструкций и ее состоянием. Это позволит значительно увеличить срок эксплуатации сооружения, а также получить неопределимые сведения для развития науки, практики проектирования и возведения высотных зданий и сооружений.

Библиографический список

1. Останкинская телевизионная башня. / Под ред. Н. В. Никитина. — М., 1972.
2. Пожар в телецентре «Останкино», РИА Новости, 27 августа 2015 года, <https://ria.ru/spravka/20150827/1206554835.html>
3. Гриф А.Я. Высочайшая телевизионная башня. — М.: Связьиздат, 1975.
4. Юрин А.В. Самая высокая телевизионная башня в Европе. — М., 1997.
5. Хорошевский А. Останкинская телебашня // 100 знаменитых символов советской эпохи. — М.: Фолио, 2006.
6. Броновицкая А., Калинин Н., Казакова О. Москва. Архитектура советского модернизма 1955 - 1991 гг. Справочник-путеводитель. — М.: Garage, 2016. — С. 72—75.

Автор:

Владимир Ильич ТРАВУШ, д-р техн. наук, профессор, вице-президент РААСН, зам. генерального директора по научной работе института «Горпроект», старший инженер проекта Останкинской башни и разработчик проекта «Башня Никитина-Травуша 4000»

Vladimir TRAVUSH, Dr. Sci. (Eng.), Full Professor, vice-president of RAASN, deputy general director for scientific work of the 'Gorproekt' Institute, senior engineer of the Ostankino Tower project and developer of the 'Nikitin-Travush 4000 Tower' project

e-mail: info@gorproject.ru

тел: +7 (499) 909-39-39