

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ УНИКАЛЬНЫХ  
ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ СО СТАЛЬНЫМ КАРКАСОМ  
НА ПРИМЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА БАШНИ «ЕВРАЗИЯ»**

***И.И. Ведяков***

*Заместитель директора по научной работе ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко  
(ОАО «НИЦ «Строительство»), г.Москва  
заведующий лабораторией металлических конструкций,  
доктор технических наук*

***Д.В. Конин***

*Инженер, старший научный сотрудник  
ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (ОАО «НИЦ «Строительство»)*

Лаборатория металлических конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (филиал ОАО «НИЦ «Строительство») имеет большой опыт по сопровождению монтажа уникальных сооружений. В основном, это зрелищные большепролетные сооружения, такие как Покрытие Большой спортивной арены в Лужниках, Ледовый дворец на Ходынском поле, Крытый конькобежный центр в Коломне и многие другие (рис. 1).



Рис. 1. Большая спортивная арена Олимпийского комплекса «Лужники», Ледовый дворец «Мегаспорт» на Ходынском поле, Крытый конькобежный центр в Коломне

В последние годы большое развитие получил такой вид уникальных конструкций, как высотные здания со стальным каркасом. Их проектированием и возведением в основном занимаются иностранные компании. Они имеют многолетний опыт проектирования и строительства подобных сооружений, современные заводы и оборудование для изготовления металлоконструкций, высококвалифицированный инженерно-технический персонал. Несмотря на это, и у них при проектировании, расчете и монтаже возникают трудности, при решении которых они вынуждены использовать научно-исследовательский потенциал нашего института.

Важным аспектом проектирования высотного здания является разработка специальных технических условий (СТУ) для освещения вопросов, не охваченных современными строительными нормами и правилами. Наличие уникальных материалов, технологий монтажа, узлов и т.д. диктует обязательное их внедрение на ранней стадии проектирования. При этом следует отметить, что квалификация разработчиков СТУ должна быть высокой, чтобы позволять им трактовать действующие строительные нормы и отступления от них, вырабатывать уникальные и нетривиальные подходы к решению тех или иных конструктивных проблем. По предложениям профессора П.Г. Еремеева [1], выработанным применительно к большепролетным сооружениям, СТУ должны отражать специфику проектирования и строительства уникального объекта, определять уровень ответственности и уникальность сооружения, расчетный срок его эксплуатации, требования по применению и объемам опытно-конструкторских и исследовательских работ. Кроме того, в СТУ должна быть отражена необходимость контроля напряженно-деформированного состояния основных несущих элементов.

Стадия изготовления металлоконструкций уникального здания и его монтажа является наиболее ответственной и требующей особого внимания. При монтаже здания возникает множество ситуаций, требующих вмешательства высококвалифицированных специалистов, поэтому научно-техническое сопровождение не должно ограничиваться только разработкой СТУ.

Наиболее сложным с технической точки зрения проходило (и проходит в настоящее время) сопровождение монтажа башни «Евразия», расположенной на 12-м участке ММДЦ «Москва-Сити». 70-этажное здание (рис.2) имеет размеры в плане 66,24×45,3 м и высоту 322 м от верха фундаментной плиты. Высота типового этажа равна 4,425 м. В конструктивном отношении здание представляет собой систему «труба в трубе». Ядро жесткости является сталежелезобетонной конструкцией из стальных колонн коробчатого и двутаврового сечений, объединенных железобетонными стенами-диафрагмами. Колонны обстройки (наружной «трубы») на пяти подземных и 1-м надземном этажах установлены с шагом 9,9 м и, в основном, имеют поперечное сечение в виде квадратной трубы.

## Предотвращение аварий зданий и сооружений

На остальных этажах – применены прокатные двутавры, а их шаг уменьшен до величины 3,3 м, для чего на уровне 2-го этажа устроена опоясывающая ферма (рис.3). Эта ферма связана с ядром жесткости вертикальными связями и в совокупности с ними образует аутригер. Второй аутригер расположен на отм. +208 м (47-й этаж). Аутригерные конструкции использованы для обеспечения совместной работы внешней обстройки и ядра жесткости, расположенного в центре плана здания.



Рис. 2. Многофункциональный деловой комплекс на участке №12 ММДЦ «Москва-Сити» (Башня «Евразия»)



Рис. 3. Аутригерная ферма на 2-м этаже

Основные сложности, возникшие еще при изготовлении конструкций, связаны с тем, что стальные элементы каркаса имеют довольно крупные сечения, что характерно для высотных зданий. Например, двутавровый колонный профиль W14×730 по сортаменту США ASTM A6/A6M-98 имеет толщину полки 125 мм. Он изготавливается из стали S355 компанией «Arcelor Mittal» (Люксембург). Кроме того, в конструкциях наиболее нагруженных колонн принято коробчатое сечение габаритами 750×750 мм с толщиной стенки до 230 мм (рис.4). Стенки колонны выполнены из цельного толстолистового проката из стали S355 производства завода «Dillinger Hutte» (Германия). Работа с большим количеством металла таких толщин уникальна не только для отечественной строительной практики, но и для мировой. Для примера можно сказать, что максимальная толщина листового проката, использованного при строительстве второго по высоте из построенных зданий в мире Shanghai World Financial Center (Всемирный финансовый центр в Шанхае) высотой 492 м, составляет всего 100 мм. Именно поэтому выработана особая методика исследований такого проката, включающая установление свойств такого проката по толщине [2].



Рис.4. Колонна коробчатого сечения с габаритами 750×750 мм и толщиной стенки 230 мм, испытания проката

Совместно с металлургическими заводами оценивалось влияние технологии упрочнения проката в потоке станок на повышение эксплуатационных свойств крупного листового и фасонного проката, вырабатывались общие подходы к назначению химического состава стали. По совокупности проведенных работ стало возможным гарантировать физико-механические свойства металла, свариваемость, хладостойкость, ударную вязкость и прочее. Очевидно, что отсутствие контроля со стороны научно-исследовательской организации на данном этапе могло привести к негативным последствиям. Правильность выработанных подходов к контролю качества уникального проката показало обследование несущих конструкций башни «Евразия», в процессе которого установлено полное соответствие реальных характеристик стали требуемым.

На монтаже также возникают некоторые проблемы, требующие наукоемких решений. Это касается стыковых сварных швов колонн с неполным проваром и высотой катета до 80 мм (рис.5), а также различных соединений наиболее сложных и ответственных аутригерных конструкций. Предложенный специалистами ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко подход к контролю качества сварных соединений, отработка приемов и методов сварки, повышенное внимание к используемым сварочным материалам на начальном этапе работы при возведении высотного здания позволили в дальнейшем ускорить процесс монтажа здания без потери качества сложных и ответственных сварных соединений.

Проведенное обследование смонтированных конструкций и постоянное слежение за монтажом сложных аутригерных ферм показали, что наивысшее качество монтажа будет давать сопряжение элементов узлов на сварке, а не на болтах. Это подтвердил и положительный опыт изготовления и монтажа аутригерных конструкций «Башни на Набережной» (участок №10 ММДЦ «Москва-Сити»). Поэтому уже на стадии строительства было принято решение соединения верхнего аутригера полностью выполнить сварными, что намного облегчило установку конструкций (рис. 6).



Рис. 5. Стык элементов колонны до сварки и после сварки (высота катета 80 мм)



Рис. 5. Аутригерная ферма на 47-м этаже. Сварные соединения горизонтальных элементов фермы

Еще одним актуальным вопросом, имеющим место в практике высотного строительства, является проблема мониторинга технического состояния зданий. В МГСН [3] записано, что «в высотном здании должна функционировать стационарная станция мониторинга деформационного состояния несущих конструкций с целью выявления мест накопления повреждений за счет анализа передаточных функций для различных частей здания и измерения его наклонов». Такая станция позволяет отследить лишь общее техническое состояние здания. Однако с помощью ее невозможно определить действительное напряженно-деформированное состояние конкретных ответственных элементов несущей системы здания [4]. Определение деформаций, а, следовательно, и напряжений, крайне необходимо для получения достоверной информации о напряженно-деформированном состоянии конструкций и проведения многих исследовательских изысканий. Например, для оценки адекватности принятых расчетных моделей конструкций и материалов, новых для строительной практики РФ. Системы мониторинга, отслеживающие деформации конструкций в целом и ее элементов в отдельности, успешно внедрены специалистами ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко при строительстве и эксплуатации ряда уникальных большепролетных сооружений, таких как покрытия Большой спортивной арены в Лужниках [5] и Гостиного двора в г.Москве.

Применение таких отработанных систем мониторинга применительно к высотным зданиям требует определенной адаптации, а именно исключения из нее контроля за пространственным положением конструкций. Данные о напряжениях в элементах получаются по результатам измерений фибровых деформаций. Для измерения деформаций применен вариант диагностирования напряженно-деформированного состояния с использованием системы измерения линейных деформаций на поверхности вертикальных несущих элементов при помощи механических тензометров со съемным индикатором часового типа (рис. 7).



Рис. 7. Деформометр ТМИ 527 с индикатором часового типа

Несмотря на то, что использованные приборы являются в некотором смысле устаревшими, их конструкция позволяет успешно эксплуатироваться системе мониторинга в условиях строительной площадки при любых климатических воздействиях. Отсутствуют провода и сложные устройства, требующие электропитания, которые неизбежно были бы утрачены при активном монтаже здания и бетонировании стен. Между тем, при обеспечении достаточного финансирования, по завершению строительномонтажных работ деформометры могут быть оборудованы электронными индикаторами и, объединенные в единую сеть с информационным центром, позволяют отслеживать напряжения в конструкции в режиме он-лайн.

На стадии монтажа получение экспериментальных данных по намеченным сечениям при поэтапной (ступенчатой) передаче на несущие конструкции собственного веса и прочих нагрузок позволяет определить соответствие реальных показателей о напряженно-деформированном состоянии здания их расчетному эквиваленту. Таким образом, монтажная стадия является этапом мониторинга, на основании которого делаются выводы о надежности конструкции здания и степени адекватности использованных расчетных схем и методик, использованных при его проектировании. Данные о напряженном состоянии конструкций здания под действием собственного веса и прочих нагрузок позволяют осуществить прогноз его работы на следующих этапах. Главное, что *для успешного функционирования системы слежения за напряженно-деформированном состоянием необходимо планировать ее установку на стадии проектирования*. В отличие от рекомендуемой МГСН [3] системы мониторинга предложенная система позволяет следить не за общим техническим со-

стоянием конструкций, а за реальными напряжениями, что дает возможность определять резервы основных несущих элементов. Понятно, что для получения полной и достоверной информации о техническом состоянии конструкций здания в целом необходимо применять обе системы.

Все описанные мероприятия можно охарактеризовать как комплексный подход к обеспечению безопасности высотных зданий, включающий научно-техническое сопровождение всех этапов «жизни» объекта: на стадии разработки эскизного и рабочего проекта, на стадии изготовления и монтажа металлоконструкций, а также в первые годы его эксплуатации. Авторы данной работы считают, что **внедрение описанного комплексного подхода обеспечит безаварийную работу стального каркаса высотных зданий.**

### Библиографический список

1. Еремеев П.Г. Особенности проектирования уникальных большепролетных зданий и сооружений // Строительная механика и расчет сооружений, - 2005. - №1.
2. Травуш В.И., Одесский П.Д., Конин Д.В. Прокат больших толщин для высотных зданий и большепролетных сооружений // Academia. Архитектура и строительство, - 2009. - №1.
3. МГСН 4.19-2005. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в г.Москве.
4. Гурьев В.В. и др. Обеспечение безопасности работы несущих конструкций высотных зданий // Пром. и гражд. стр-во. 2004. №12.
5. Микулин В.Б., Фарфель М.И. и др. Покрытие Большой спортивной арены в Лужниках. - М.: Изд-во Фортэ, 1998.