

## **Об особенностях проектирования уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений**

Виды большепролетных, высотных и других уникальных зданий и сооружений определены Градостроительным Кодексом Российской Федерации (гл.6, ст.48.1 «Особо опасные, технически сложные и уникальные объекты»).

Большепролетными зданиями и сооружениями [1] являются здания и сооружения, покрытия которых выполнено с применением большепролетных конструкций размером более 36 м.

Высотными зданиями и сооружениями являются здания и сооружения высотой более 75 м.

К уникальным относятся здания и сооружения, удовлетворяющие следующим условиям:

- используются конструкции и конструктивные схемы с применением нестандартных или специально разработанных методов расчета, или требующих проверки на физических моделях;
- здания и сооружения, возводимые на территориях, сейсмичность которых превышает 9 баллов.

К уникальным относятся здания и сооружения с высотой превышающей 100 м, или с величиной пролета более 100 м, или с вылетом консоли более 20 м, или если заглубление подземной части относительно планировочной отметки земли более чем на 15 м.

К уникальным зданиям и сооружениям относятся также [2] спортивно-зрелищные, культовые сооружения, выставочные павильоны, торговые и развлекательные комплексы и другие с расчетным пребыванием внутри объекта более 1 000 человек или более 10 000 человек вблизи.

***Техническое задание на проектирование*** уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений должно содержать следующую информацию:

- обоснование научно-технического сопровождения проекта трехстадийного проектирования, экспертизы на всех этапах, разработку нескольких вариантов концептуального проекта, затрат на проверку основных расчетов и инженерных решений дублирующей проектной бригадой;
- согласование расходов на моделирование, а в необходимых случаях и на проектирование, строительство и испытания крупномасштабной модели;
- подтверждение дополнительных геодезических и инженерно-геологических изысканий;
- описание участка строительства и расположенных вблизи строений;
- обоснование обследований близлежащих зданий, укрепления их оснований и фундаментов, несущих и ограждающих конструкций;
- описание особых условий строительства;
- определение степени ответственности сооружения, назначение коэффициента ответственности;
- сведения о конструкциях, инженерном оборудовании и материалах;
- обоснование комплексного мониторинга и включения в проект новых разделов «Паспорт объекта» и «Требования к эксплуатации объекта»;
- задание на подготовку Специальных Технических Условий (СТУ) на проектирование, строительство и эксплуатацию объекта;
- другая (дополнительная) информация.

***Особенности предпроектной подготовки.*** Еще до начала проектных работ должны быть решены определенные вопросы. Заказчик на предпроектной стадии должен получить необходимые документы:

- выбор площадки и отвод земельного участка;
- градостроительное задание;
- разрешение на подключение к инженерным сетям.

На предпроектном этапе необходимо провести геодезические и инженерно-геологические изыскания [3], которые должны включать в себя геофизическое обследование участка застройки. Это даст возможность решить вопрос о принципиальной пригодности земельного участка для строительства.

Геофизики и геологи должны подробно описать свойства несущих и подстилающих слоев грунта, гидрогеологическое состояние основания, дать обоснованный геотехнический прогноз.

На стадии предпроектной проработки собирается и обрабатывается информация о существующих подобных проектах.

**Нагрузки**, воспринимаемые уникальными, большепролетными и высотными зданиями и сооружениями.

Конструкция должна воспринимать любые виды и сочетания нагрузок: распределенные и сосредоточенные, постоянные и временные, статические и динамические, силовые и кинематические, тепловые и прочие агрессивные воздействия окружающей среды.

Покрытия уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений находятся под действием собственного веса, снеговых и ветровых нагрузок, а также технологических нагрузок от оборудования, нагрузок предварительного напряжения и монтажных нагрузок. Могут возникать температурные воздействия на элементы конструкции, если используются материалы с различным коэффициентом линейного расширения.

На моделях проводят аэродинамические исследования, чтобы определить неблагоприятное влияние ветровой нагрузки и ее пульсирующие усиления.

С учетом статистических данных принимается снеговая нагрузка, причем для большинства покрытий [5] она учитывается с коэффициентом 1,5 по сравнению с обычными сооружениями.

Для висячих конструкций покрытий необходимо учитывать кинематические воздействия, которые в некоторых случаях могут вызывать внутренние усилия значительно большие, чем от силовых воздействий.

Учитывается возможное увеличение технологических нагрузок. Для уникальных зданий и сооружений, как правило, принимается коэффициент надежности равным 1,2 в связи с повышенной ответственностью.

**Особенности расчетов.** Уникальные, большепролетные и высотные здания и сооружения при расчетах необходимо рассматривать как единые пространственные системы, в которые входят основания и фундаменты, каркас и покрытие.

Обязательной составной частью должны быть расчеты на статические и динамические нагрузки на конструкцию и ее элементы при изготовлении и транспортировке.

Отдельные элементы конструкции могут оказаться более загруженными при монтаже, чем при полной расчетной нагрузке, поэтому в проекте необходимо особое внимание уделять последовательности монтажа. Должна быть подтверждена пространственная устойчивость и надежность системы на всех этапах ее изготовления и монтажа.

В концептуальном проекте применяются приближенные методы расчетов, которые дают возможность понять и почувствовать работу конструкции и далее от «ручных» методов переходить к более точным компьютерным расчетам.

На стадии «Проект» определяются сечения основных элементов и происходит переход от сложной к упрощенной схеме, а затем последовательно добавляются усложняющие элементы и определяется их влияние на работу конструкции в целом.

На стадии рабочего проектирования расчетная схема максимально приближается к действительной единой пространственной системе.

Широкое применение [6] в расчетах получили численные методы, дающие возможность успешно применять современную вычислительную технику. Эти методы позволяют учесть различные виды загружений, особенности конструкции, геометрию поверхности земли, переменные сечения элементов, проемы в конструкции и другие особенности. Во многих случаях удается применять стандартные вычислительные комплексы. Для достижения

достаточной точности необходимо сравнивать результаты, полученные по разным программам.

Расчетная схема сооружения представляет собой идеализированную модель, максимально соответствующую реальному сооружению.

Как правило, расчеты уникальных зданий и сооружений выполняются в геометрически нелинейной постановке, при этом не применим принцип независимости действия сил. В этом случае необходимо вести пошаговое нагружение конструкции и каждый раз фиксировать изменение ее формы и способность воспринимать дополнительную часть нагружения.

Для уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений необходимо проводить расчеты на воздействие ветровой нагрузки.

В связи с геометрической и физической нелинейностью, а также большим размером конечно-элементной модели динамический расчет конструкции представляется достаточно сложным. Однако его обязательно следует проводить, поскольку существуют системы, устойчивость которых нельзя определить статическими расчетами [7]. Уменьшить динамическую реакцию в системах большепролетных и высотных зданий и сооружений можно соответствующими конструктивными решениями – ввести дополнительные оттяжки или демпфирующие устройства.

Большое внимание при проектировании уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений необходимо уделять защите их от прогрессирующего обрушения. Именно поэтому особенно тщательно необходимо учитывать нагрузки на колонны, а также на конструкции фундаментов. Следует предусматривать необходимые мероприятия при возникновении аварийных ситуаций, в том числе на этапах строительства и эксплуатации здания.

***Специальные технические условия (СТУ).*** Требования к разработке СТУ и их содержание определены Приказом Минрегиона РФ от 01.04.2008 г. № 36 «О порядке разработки и согласования специальных технических условий для разработки проектной документации на объект капитального строительства».

Приказом определено, что если для составления проектной документации недостаточно требований, установленных нормативными документами, или требования не установлены, то разрабатываются и согласовываются СТУ.

Специальные технические условия относятся к техническим нормам, содержащим дополнительные требования к конкретному объекту в области безопасности. Технические условия разрабатываются трех видов – на проектирование, строительство и эксплуатацию объектов.

Разработка технических условий проводится в соответствии с техническим заданием, в котором должно быть приведено краткое обоснование целесообразности разработки СТУ, сведений об уровне ответственности здания в соответствии с существующими нормами, а также требования, связанные с технической и пожарной безопасностью.

Специальные технические условия должны содержать следующие данные:

- обоснование целесообразности разработки СТУ и недостающих нормативных требований, излагаемых в соответствии с действующими техническими нормами;
- перечень отступлений от действующих нормативов, и список мероприятий, компенсирующих эти отступления;
- описание объекта и его основных элементов с изложением конструктивных и объемно-планировочных решений;
- дополнительные требования необходимо отнести к определенному нормативному документу либо его разделу.

При этом отдельные положения нормативных документов других стран могут использоваться в составе СТУ, если они соответствуют законодательству Российской Федерации.

***Научно-техническое сопровождение*** (НТС) проектирования уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений.

Проектирование уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений требует обязательного [8] комплексного научно-технического сопровождения.

Целью НТС при проектировании и строительстве уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений является обеспечение безопасности людей, объекта строительства и надежности возводимых конструкций. В задачи научно-технического сопровождения входит:

- прогноз состояния зданий и сооружений с учетом всевозможных видов воздействий;
- прогноз состояния объектов, находящихся в зоне строительства;
- разработка конкретных решений по устранению нарушений, установленных при мониторинге проектных решений;
- разработка научно-обоснованных и оптимальных решений, участие в определении проектно-конструкторских решений;
- разработка технических рекомендаций, не вошедших в действующие нормативные документы.

Проведение НТС включает в себя следующий состав работ:

1. Оценка результатов инженерно-геологических изысканий.
2. Участие в проработке концепции проектируемого объекта.
3. Анализ проектной документации для улучшения конструктивных и объемно-планировочных решений.
4. Уточнение перечня конструкций и наиболее ответственных узлов для выполнения их мониторинга.
5. Проверка выполненных расчетов по объекту, включая вероятность прогрессирующего обрушения и составление рекомендаций для защиты от него.
6. Составление программы проведения НТС строительства и заданий на различные мониторинги.
7. Оценка пригодности конструкций, выполненных с отклонением от проекта, обоснованная соответствующими расчетами и дополнениями.

8. Составление рекомендаций по улучшению технологии и производству строительного монтажа и применению эффективных материалов.

На стадии проектирования особая роль отводится НТС по защите от прогрессирующего [9] обрушения зданий и сооружений.

Уникальные, большепролетные и высотные здания и сооружения [10] должны быть защищены от возникновения чрезвычайных аварийных ситуаций, к ним относятся опасные природные метеорологические явления, возникновение карстовых воронок, провалов в основаниях зданий и сооружений, техногенные и антропогенные чрезвычайные ситуации, взрывы внутри или снаружи здания, аварии или пожары, а также повреждения систем несущих конструкций.

Устойчивость здания от прогрессирующего обрушения необходимо проверять расчетами и обеспечивать конструктивными мероприятиями [11]. Расчет устойчивости объекта следует проводить на различные сочетания нагрузок с учетом локальных разрушений.

*Экспериментальные исследования* [12] физических моделей уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений.

Комплексное научно-техническое сопровождение на стадии проектирования уникальных зданий и сооружений включает изготовление и испытание физической модели сооружения. Исследование уникальных конструкций на моделях включает следующие мероприятия:

- определение напряженно-деформированного состояния, несущей способности и надежности конструкций;
- проверку расчетной модели и методики расчета;
- экспериментальное исследование особенностей работы конструкций, трудно поддающихся решению математическими методами.

В задачу экспериментальных исследований входит:

- определение и анализ усилий, деформаций и перемещений в элементах модели покрытия, экспериментальный расчет конструкций;

- исследование влияния различных особенностей на работу конструкции;
- определение предельного состояния объекта и вычислительный эксперимент по оценке запаса его несущей способности.

Исходя из этого, разрабатывают рабочую программу и методику проведения эксперимента, проектируют и изготавливают физическую модель, проводят экспериментальные исследования. Для конструкций здания применяют механическое моделирование на геометрически и физически подобных моделях. Условием подобия является напряженно-деформированное состояние модели и реального объекта.

Крупномасштабные модели уникальных объектов в большинстве случаев испытывают в упругой стадии на статические нагрузки.

Для определения физико-механических характеристик испытывают образцы материалов, из которых изготовлена модель. Учитывают отклонения при обработке экспериментальных данных, уточняют масштабные множители, критерии и индикаторы подобия [13], определяют степень приближенного моделирования.

Каждое испытание рекомендуется несколько раз повторять (не менее трех) при одних и тех же условиях. Для регистрации результатов испытаний используют автоматические программные комплексы. После обработки данных их пересчитывают на реальный объект и выводят в виде таблиц и эпюр усилий и перемещений.

На последнем этапе испытания модель может быть доведена до разрушения. В предельном состоянии, кроме анализа причин разрушения, выполняют сопоставление предельной экспериментальной нагрузки и расчетной.

**Экспертиза проектов.** При существующем порядке государственная экспертиза выполняется только на стадии «Проект». Для уникальных же сооружений необходима обязательная независимая экспертиза Концептуального

Проекта и законченной рабочей документации перед сдачей ее в производство.  
Цель такой экспертизы в снижении вероятности фатальных ошибок.

### Литература

1. "Градостроительный кодекс Российской Федерации" от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 21.10.2013) (с изм. и доп. от 07.06.2013 N 113-ФЗ, вступившими в силу с 05.12.2013).
2. Еремеев П.Г. Особенности проектирования уникальных большепролетных зданий и сооружений. // Строительная механика и расчет сооружений. 2005. № 1.
3. Еремеев П.Г. Предотвращение лавинообразного (прогрессирующего) обрушения несущих конструкций уникальных большепролетных зданий и сооружений при аварийных воздействиях. // Строительная механика и расчет сооружений. 2006. № 2.
4. СТО 36554501-024-2010. Обеспечение безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного (прогрессирующего) обрушения при аварийных воздействиях /ОАО НИЦ «Строительство».
5. ТР 182-08. Технические рекомендации по научно-техническому сопровождению и мониторингу строительства большепролетных, высотных и других уникальных зданий и сооружений. М.: ГУП НИИ Мосстрой, 2008. 34 с.
6. Попов Н.А. Рекомендации по уточненному динамическому расчету зданий и сооружений на действие пульсационной составляющей ветровой нагрузки. / ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко. М., 2000. 45 с
7. Никонов Н.М. Еще раз об особенностях проектирования и строительства уникальных сооружений. //Архитектура и строительство Москвы. 2007. №1, С.35-40.
8. Карлина И.Н., Новоженин В.П. Особенности проведения комплексных натурных обследований объектов, подлежащих реконструкции // Инженерный вестник Дона. Номер 4 (часть 2), 2012 г.

9. Гиря Л.В., Хоренков С.В. Проблемы консервации и технического обследования объектов капитального строительства в современных условиях // Инженерный вестник Дона. Номер 2, 2013 г.
10. Рекомендации по защите жилых зданий стеновых конструктивных систем при чрезвычайных ситуациях. Рекомендации по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях. М., 2002.
11. Временные нормы и правила. МГСН 4.19-2005.
12. Pavlov G.N. "Geodesic Domes Bounded by Symmetrical mainly Hexagonal Elements" // The International journal of space structures. Volume 9, No. 2, 1994.
13. Heino Engel Atlante delle Strutture. UTET. Torino. 2001. p.350.