

**ПОСЛЕСЛОВИЕ К ВОСЬМОМУ ПРИЛОЖЕНИЮ:
«ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УНИКАЛЬНЫХ
ОБЪЕКТОВ»**

«Все неизвестное потенциально опасно».

Клиффорд Саймак

В восьмом приложении еще раз было упомянуто определение уникального здания или сооружения, приведен внушительный перечень действий, сопровождающий их проектирование и строительство. Поскольку в официальных документах, в том числе и в Градостроительном Кодексе РФ, настойчиво продолжают связывать уникальность с размерами строений, то, на мой взгляд, необходимо еще раз разъяснить абсурдность такой связи.

Как всегда, в начале следует выявить смысл понятия «**уникальное сооружение**». Если обратиться к первоначальному определению, сформулированному даже в «Восьми лекциях о профессии» (М. АСВ, 2005) – вот как сильны стереотипы, – то уникальное сооружение – объект с безопорным покрытием свыше 60 метров и возможностью пребывания под ним или на нем (мосты) более 300 человек, а также здание выше 75 метров. Сам ведь писал!

П. Еремеев [2, 3], анализируя зарубежные и отечественные публикации, уточняет: «*к уникальным большепролетным объектам, как правило, следует относить сооружения, отвечающие следующим условиям:*

- *пролет свыше 60 м – при принципиально новых конструктивных решениях, не прошедших апробацию в практике строительства и эксплуатации;*
- *пролет свыше 100 м – при конструктивных решениях, прошедших успешную апробацию в практике проектирования, строительства и эксплуатации».*

Градостроительный кодекс РФ непоследователен и еще более привязан к количественным показателям при определении уникальности объектов капитального строительства. К ним он относит:

1. *Аэропорты и иные объекты авиационной инфраструктуры.*
2. *Объекты инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования.*
3. *Метрополитены.*
4. *Автомобильные дороги общего городского пользования и относящиеся к ним транспортные инженерные сооружения.*
5. *Экспериментальные и другие объекты, у которых предусмотрена хотя бы одна из следующих характеристик:*
 - *высота которых более 75 м;*
 - *пролеты более чем 100 м;*
 - *консоли более 20 м;*

- *заглубление подземной части (полностью или частично) ниже планировочной отметки земли более чем на 10 м;*
- *конструкции фасадных систем (как предложение Москомархитектуры);*
- *наличие конструкций и конструктивных систем, в отношении которых применяются нестандартные методы расчета с учетом физических или геометрических нелинейных свойств либо разрабатываются специальные методы расчета».*

Странная, устаревшая точка зрения. Давно пора во всех расчетах сложных конструкций учитывать нелинейность, физическую и геометрическую и не относить их к не стандартным действиям. А определение уникальности требует особого разбора. Вдумываясь в написанное, понимаешь, что размеры не отражают полностью смысл понятия «**уникальный**». Если десять раз запроектировать и построить сооружение, к примеру, с консолью в 20 м, где здесь, скажите, уникальность? Ее уже нет на втором разе применения, но, несмотря на очевидную бессмыслицу, в Градостроительных кодексах РФ и Москвы уникальность определяется по размерам. Тогда как уникальным может быть и небольшое по размеру здание, невысокое, подземное, оснащенное впервые новейшим оборудованием, посаженное на впервые встретившееся сочетание различных грунтов, приближенное к источникам сильной вибрации и т.д. Но здесь возникает вопрос: может быть количественная характеристика уникальности не так уж и плоха? В Москве 20-метровая консоль, в Красноярске – такая же, страна большая, и там и сям в первый раз, уникамы значит. Тогда вернусь к тому, с чего начал. Все, что делается в стране нового, интересного и в первый раз, должно изучаться и обобщаться, с тем, чтобы завтра стать обычным и потому нормой. Так куётся знание, так создаются условия для роста профессионалов. И это, конечно, забота государства и только его.

И еще два примера.

Метрополитены, аэропорты и то, что на них похоже, по определению уникальны. Геологическая обстановка, роза ветров, функциональная загрузка делают единственным в своем роде каждый новый объект. Тут и упоминать особо не требуется: попробуй, не учти особенности, присущие только этому сооружению – неприятностей не избежать.

А что значит «*наличие конструкций и конструктивных систем, в отношении которых применяются нестандартные методы расчета с учетом физических или геометрических нелинейных свойств либо разрабатываются специальные методы расчета*»? Устаревшая точка зрения. Давно пора во всех расчетах конструкций учитывать нелинейность, физическую и геометрическую.

Что же тогда связывает и относит к уникальным явлениям в архитектуре и строительстве все перечисленные в Кодексах объекты? Только одно: **отсутствие на момент их создания нормативов и технических регламентов.**

Следовательно, когда у проектировщика нет возможности обратиться к строительным нормам (СНиП) – значит, он имеет дело с уникальным объектом. **Общее в уникальных зданиях только их обособленность от других, неповторимость.**

Поэтому, для того чтобы работать с уникальным объектом, нужно одновременно с проектированием создавать нормативы для этого сооружения; осознать, что многоступенчатый контроль в этом случае приобретает первостепенное значение. Контроль над творчеством – звучит парадоксально, но это как раз то, что обеспечит безопасность строительства и надежную эксплуатацию.

Основные этапы проектирования и строительства. Лица, участвующие в них

Архитектурное творчество начинается с возникновения желания построить нечто, приносящее пользу городу и прибыль лицу, имя которому – **инвестор**. В его роли может выступать отдельная персона или город; прибыль может выражаться в деньгах или в социальном эффекте.

До начала проектирования инвестор должен получить необходимые для предпроектной части документы:

- отвод участка;
- градостроительное задание;
- разрешения на подключение к инженерным системам города и т.п.

К предварительным данным относятся также геодезические и инженерно-геологические материалы.

Содержание инженерно-геологических изысканий для уникального объекта должно включать в себя изначально геофизическое обследование участка застройки. Именно оно дает представление о морфологии грунтового массива, возможных геотектонических аномалиях и даже о пригодности участка для строительства уникального объекта. Более того, работа геофизиков облегчит заказчику и авторам проекта составление задания на дополнительные инженерно-геологические изыскания, обоснование количества и глубины скважин, а также их расположение на участке. В целом задача геофизиков и геологов – подробно описать свойства несущих и подстилающих грунтовых слоев, гидрогеологическую обстановку на участке, дать обоснованный геотехнический прогноз на время строительства и рекомендации для службы эксплуатации.

Следующий шаг в работе инвестора (заказчика) – **постановка задачи**.

Содержание технического задания (ТЗ) и есть акт постановки задания. ТЗ – очень важный документ, согласование его инвестором не только выявит будущие технические решения, но и затраты, которые найдут отражение в бизнес-плане. Пусть читателя не смущает еще один

повтор требований к содержанию ТЗ и СТУ, ведь *«повторение – мать учения»*, а повторение важных положений – и мать, и отец вместе.

Поэтому ТЗ должно содержать:

- краткое описание целей проекта;
- подтверждение расходов на информационное обеспечение проекта;
- обоснование научно-технического сопровождения трехстадийного проектирования, экспертизы на всех стадиях, разработку нескольких вариантов концептуального проекта (первая стадия проекта), затрат на проверку основных расчетов и инженерных решений параллельной проектной бригадой;
- согласование расходов на моделирование, а при необходимости, в особо сложных случаях, проектирование, строительство и испытания крупномасштабного прототипа;
- определение сроков проведения архитектурно-технических советов в организации, ведущей проектирование;
- подтверждение дополнительных геодезических и инженерно-геологических изысканий;
- описание участка строительства и соседствующих с ним строений;
- обоснование обследований близлежащих зданий, укрепление их оснований, фундаментов, несущих и ограждающих конструкций;
- описание особых условий строительства (прогнозируемое изменение свойств несущего грунтового массива, наличие карстовых опасных зон на участке, высокий уровень грунтовых вод, приближенность будущего объекта к постоянным источникам вибраций и шума, микросейсмоярмонирование и т.п.);
- определение степени ответственности сооружения, назначение коэффициента ответственности;
- сведения о конструкциях, инженерном оборудовании и материалах;
- условия авторского надзора;
- обоснование комплексного мониторинга и включения в проект новых разделов: «Паспорт объекта» и «Требования к эксплуатации объекта»;
- задание на подготовку специальных технических условий на проектирование, строительство и эксплуатацию объекта, а также бизнес-плана.

Как правило, большинство специалистов, с кем приходилось обсуждать необходимость бизнес-плана на первых порах проектирования, недоумевали – зачем он нужен? Затем, что он выявляет возможные затраты на проект. Последние определяют, каким будет сооружение, какие технические решения, технологии и материалы может отобрать архитектор, чтобы вписаться в сумму, определенную бизнес-планом. Так что этот документ очень важен, сама его разработка тоже требует денег, предусмотреть их в своде расходов – задача заказчика и главного архитектора проекта.

Согласованные инвестором ТЗ и градостроительное задание, особенности участка для строительства, предполагаемая функция сооружения, обработанная информация об осуществленных подобных проектах в сознании автора-архитектора преломляются в субъективные установки на деятельность, в результате которой рождается прообраз будущего сооружения. Различные его варианты, подтвержденные приближенными расчетами инженеров-конструкторов, на основе предварительных данных, установленных на схожих построенных объектах, находят отражение в концептуальном проекте, который, пройдя экспертизу, представляется на архитектурно-технический совет проектного института, а после одобрения рассматривается Общественным градостроительным советом при мэре Москвы. Здесь отбирают рабочий вариант или предлагают продолжить поиски лучшего.

С утверждением отобранного варианта в работу включается научное сопровождение проекта. Научные бригады вместе с проектировщиками определяют основные позиции проекта, которые необходимо обосновать исследованиями модели, расчетами для составления специальных технических условий (СТУ).

Специальные технические условия – продукт «сиюминутного нормотворчества», пригодный только для единственного уникального объекта. В СТУ описываются и узакониваются новые разделы проекта, обязательные к исполнению действия проектировщиков и строителей, основные характеристики здания – высота, форма, необходимые свойства строительных материалов, выбор фасадной системы, требования к основным конструкциям здания; форма и величины основных расчетных нагрузок; условия безопасной эксплуатации, описание инженерных систем, обеспечивающих минимально возможное энергопотребление; многоступенчатый контроль, – внутренняя проверка (бригадная и институтская), экспертиза всех стадий проекта, авторский и технический надзоры, мониторинг строительства – и, конечно, обязательная проверка конструктивного остова здания на пространственную устойчивость и выявление динамических характеристик здания.

Генподрядчик как соавтор проекта. ГИП и главный конструктор объекта

Концептуальный проект и бизнес-план дают возможность провести подрядные торги. Выбор генподрядчика должен быть основан на предшествующем опыте строительства сложных объектов, их последующей безупречной эксплуатации, обладании сертификата качества, на способности критически оценивать проектные решения, вносить в них улучшающие предложения и т.п. То есть стать полноценным соавтором проекта.

Разработка проектов уникальных сооружений требует многих специальных знаний. Нагрузки и воздействия, устойчивость системы в целом и отдельных структурных элементов, физическая и геометрическая нелинейность, кратковременная и длительная ползучесть, надежность и запасы прочности материалов, чувствительность конструктивной системы к внутренним структурным изменениям – все перечисленное должно быть в поле зрения инженера-конструктора. Четкая организация работы, научно-техническое обоснование проекта, финансирование, контроль и приемка всех этапов проектирования, возведения и сдачи в эксплуатацию уникального сооружения – предметы, по которым экзаменуется главный инженер проекта.

Нагрузки и воздействия

Сооружения должны воспринимать любые сочетания нагрузок, включая распределенные, временные, статические и динамические, в виде грузов – сосредоточенных, полосовых, распределенных на небольшой площади. Большепролетные покрытия находятся под действием только собственного веса, нагрузок от снега и ветра. К ним добавляются технологические нагрузки (от оборудования, подвесных потолков и т.п.), предварительное натяжение, а также монтажные нагрузки, вызывающие дополнительные усилия. При использовании в конструкции материалов с различными коэффициентами линейного расширения необходимо учитывать температурные воздействия. Учет формы покрытия или высотного здания в плане обязателен, поскольку сильно влияет на результирующую ветровую нагрузку, а также на ее пульсационные усиления. Их величины также устанавливаются аэродинамическими исследованиями. Распределение снега и его накопление на больших площадях покрытия необходимо принимать с учетом статистических данных. Для большепролетных покрытий уменьшается вероятность сноса снега с покрытия. Поэтому расчетные климатические нагрузки следует принимать с увеличением в 1,5 раза, если сравнивать с нормативами для обычных сооружений. Часто большепролетные покрытия имеют относительно небольшую собственную массу и незначительную изгибную жесткость. В этом случае неравномерные снеговые и ветровые нагрузки могут вызвать большие деформации покрытия, что, как правило, приводит к потере местной устойчивости покрытия или к дефектам в кровле. Чтобы их предотвратить, применяются различные способы стабилизации покрытий. Точное знание величин и распределения климатических нагрузок, оптимальный выбор системы ужесточения покрытия позволяют с успехом решать эту задачу. Для висячих покрытий следует учитывать кинематические перемещения, абсолютные значения которых, в ряде случаев намного больше прогибов от статических нагрузок.

Возможное увеличение технологических нагрузок на покрытие при длительной эксплуатации зданий и сооружений, их реконструкции и модернизации обязательно должно быть учтено в общем своде нагрузок. Повышенный уровень ответственности таких зданий и сооружений требует применения соответствующего коэффициента надежности по ответственности. В ряде случаев он может быть больше установленного (1.2) для этого класса сооружений.

Расчеты

При расчетах уникальных большепролетных и высотных сооружений их следует рассматривать как единую пространственную систему, включающую основание, фундаменты, каркас, покрытие, **учитывать продольные, изгибные и крутильные жесткости основных, а в ряде случаев и второстепенных элементов.** Расчеты на статические и динамические воздействия на конструкцию и ее элементы при изготовлении и транспортировке – часть основной работы **инженера-конструктора.** Сопротивление «взрослеющей» конструкции различным воздействиям, то есть учет последовательности ее монтажа, требует **его** особого внимания, поскольку отдельные элементы могут оказаться более загруженными при монтаже, чем под полной расчетной нагрузкой. То есть расчетом должна быть подтверждена надежность и пространственная устойчивость системы на всех этапах ее жизни.

Если в «Концептуальном проекте» в ходу приближенные (ручные) расчеты, дающие возможность инженеру-конструктору почувствовать «игру сил» в конструкции, и далее осознанно, предвидя результат, переходить к работе с компьютером, то на стадии «Проект» рассчитываются сечения основных элементов. Здесь уже всю пользуются компьютером. И расчетные параметры уже уточнены, согласованы и утверждены научным сопровождением. На этой стадии обычно соотносятся геометрические и жесткостные параметры элементов системы. Поэтому в «Проекте» рекомендуется переход от сложной к упрощенной схеме, с последующим ее усложнением, за счет последовательного присоединения новых элементов и исследования их влияния на работу конструкции в целом.

На стадии рабочего проектирования расчетная схема максимально приближается к несущему остову сооружения. Особое внимание следует уделять узлам, стараясь выполнять сопрягаемые элементы равнопрочными. Численные методы, ориентированные на широкое использование современной вычислительной техники с высоким быстродействием, большой памятью и развитой системой внешних устройств, способствуют успешному решению сложных задач. Их использование позволяет учесть различные виды нагружений и воздействий, конструктивные особенности системы: геометрию поверхности, переменные толщины элементов, про-

емы и т.п. При этом в большинстве случаев применяют хорошо известные стандартные вычислительные комплексы. Для повышения надежности результатов расчеты рекомендуется считать с использованием различных программ и сопоставлять полученные данные. Расчет «в две руки» – один из приемов, снижающий вероятность ошибок (элемент внутреннего контроля).

Но использование компьютера, позволяющего оперировать огромными массивами чисел, имеет и обратную сторону. Молодые инженеры решают на компьютере все более сложные задачи без предварительного выполнения упрощенных расчетов для осознания «игры сил» в конструкции. В то же время такой подход, основанный на знании строительной механики, – залог безопасного взаимодействия инженера с компьютером.

Важнейший этап – составление расчетной схемы сооружения, представляющей идеализированную модель, максимально приближенную к натурной системе, надежность которой прочувствована уже в эскизном проекте и доказана на стадии «Проект».

Расчеты уникальных сооружений выполняются в нелинейной постановке. Их рекомендуется выполнять с учетом неупругих деформаций, деформаций усадки и ползучести бетона, приводящих к изменению геометрии системы при длительной эксплуатации. Кроме того, в железобетонных элементах следует учитывать образование трещин на участках, где они работают на внецентренное сжатие с большими эксцентриситетами, приводящее к местному снижению его изгибной жесткости. Так как большепролетные и высотные сооружения относятся к системам, в которых необходимо учитывать нелинейность, при их расчёте неприменим принцип независимости действия сил и поэтому приходится последовательно, шаг за шагом загружать конструкцию и всякий раз учитывать изменение ее формы и способность измененной структуры воспринимать новую «порцию» нагрузок.

При расчетах следует учитывать статическую и динамическую реакции большепролетных и высотных сооружений на воздействия ветра, с учетом квазистатических и резонансных вкладов. Динамический расчет таких систем сложен ввиду их пространственной работы, геометрической и физической нелинейности, существенного влияния податливости основных элементов и т.д., но тем не менее необходим, поскольку существуют системы, устойчивость которых нельзя установить статическими расчетами, и только динамический метод может в таких случаях оказать-ся действенным.

Повышенная по сравнению с традиционными конструкциями легкость и деформативность большепролетных покрытий определяют их чувствительность к динамическим воздействиям. Следует отметить, что динамическую реакцию можно существенно снизить конструктивными

мероприятиями, например, введением в систему дополнительных оттяжек или демпфирующих устройств.

Важный раздел расчета уникальных сооружений – проверка их общей и местной устойчивости, расчет и конструирование опорных устройств.

Вот этот короткий абзац требует развития. Начну с высказывания С.М. Скоробогатова, профессора Уральского университета путей сообщения: *«Можно изыскивать и перечислять много причин разного характера, приводящих к крушению инженерных сооружений. Среди этих причин мы хотели бы обратить внимание на инженерную некомпетентность, пренебрежение фундаментальными науками, /.../ наличие большого разрыва и между «чистой» наукой и инженерной практикой»*. И еще одно, очень важное. *«С разработкой новых конструкций, зданий и сооружений возникают более сложные расчетные схемы и **необходимость нового подхода к их проектированию**»*. В этих безусловно правильных словах я выделил последние, потому что они не только правильны, но и актуальны сегодня как никогда. Сложнейшие сооружения нынешнего времени, сочиненные нами и выпущенные на природу, становятся ее частью и живут уже по ее законам, несколько отличными от тех, что дали им путевку в жизнь. *«Каков бы ни был ответ природы – «да» или «нет» - он будет выражен на том же теоретическом языке, на котором был задан вопрос. Однако язык этот не остается неизменным, он претерпевает сложный процесс исторического развития, учитывающий прошлые ответы природы и отношения с другими теоретическими языками»* (И.Р.Пригожин). Проектируя уникальные сооружения по ныне действующим нормам, проектировщики говорят с природой **устаревающим** языком, а их самоуверенность, бесконечная вера в созданные далеко вчера нормативы, нехватка времени, провоцируемая организаторами строительства, и, наконец, просто лень, неизбежно приводят к авариям. Нынешние расчеты уникальных сооружений требуют учета времени, как важнейшего фактора, без которого невозможно поручиться за безопасность созданных объектов. Время не делает нас моложе, а творения наших рук и ума – крепче. Накопление износа деталей, ползучесть и усталость основных строительных материалов – бетона и стали – усугубляют ошибки проектировщиков. Особенно опасными становятся здания, в которых расчетные схемы статически определимы, где нет связей, способных распределить и взять на себя дополнительные усилия при отказе одного или нескольких несущих элементов. Как учитывать время в расчетах сооружений, показано в работах Скоробогатова и Мельчакова.

Расчеты проектного риска и ресурса безопасности уникальных зданий и сооружений становятся важнейшими разделам проектов, но их пока никто не делает. Почему они так важны можно показать на примере проекта одного стадиона (опустим его имя).

Сначала изложу некоторые принципы конструирования.

Первый. Наименьшими затратами материала, труда и, следовательно, денег добиваться наибольших архитектурных результатов. Поэтому если Архитектура – есть художественная осмысленность рациональности, то рациональная конструкция – структура, обеспечивающая при минимально возможном расходе материалов надежную работу сооружения.

Второй. Чем меньше элементов составляют конструктивную систему, тем меньше вероятность отказа одного из них или, в худшем случае, нескольких, тем больше надежность сооружения.

Третий. Излишний материал в конструкции не добавляет ей надежности, более того, он тащит за собой кучу новых деталей, креплений, затрат на монтаже и прочее, повышая вероятность отказов и, конечно, стоимость.

Четвертый. Каждому диапазону пролетов или площади перекрываемого пространства соответствует свой класс рациональных большепролетных конструкций (так при пролетах более 150 м оправдано применение висячих покрытий).

Пятый. Каждый этап «взросления» конструкции должен быть проверен расчетом, потому что внутренние усилия в элементах структуры при монтаже могут сильно отличаться от тех, что следствие полной расчетной нагрузки.

Шестой. Форму покрытия определяет характерное сочетание нагрузок. Ошибочный выбор формы невозможно «вылечить» повышенным расходом материала. Неправильно выбранный и неверно распределенный в пространстве он во многом провоцирует будущие «болезни» здания в целом.

Седьмой. Общая пространственная устойчивость сооружения – важнейшая задача, которую, прежде всего, должен решить конструктор.

Восьмой. К каждому элементу конструкции, к каждой ее детали есть определенный набор требований, невыполнение которых снижает живучесть конструкции в целом. Учет проектных ошибок дает представление о проектном риске.

Девятый. Согласно Пановко и Губановой существуют конструктивные системы, устойчивость которых невозможно установить статическими расчетами. Только определение динамических характеристик сооружения дает такую возможность. Кинематический анализ конструктивной схемы – еще одна обязательная проверка ее неизменяемости. Покрытие трибун стадиона «Спартак» именно такая система, требующая и того, и другого.

Каждый из этих девяти в проекте стадиона «Спартак» нарушен.

Далее замечания по вышеназванным позициям.

1,5. Перекрывать пространство с генеральными размерами более 200 метров фермами – нонсенс. Приведенный в докладе авторов суммарный расход стали – 224 кг/кв. м занижен по крайней мере вдвое, потому

что не учитывает затраты металла и бетона на поддерживающие конструкции (колонны, фундаменты, детали соединений и др.), без которых покрытие может существовать только лежа на земле. Следует добавить к сказанному, что и «мертвый» металл, необходимый для монтажных устройств (подмостей, расчалок, балок, стоек), также забыть. Он хоть не учитывается в общем расходе материалов, но в стоимость объекта входит обязательно.

Предположительно при использовании всячего покрытия можно было бы достичь расхода стали 140-150 кг/кв.м и бетона толщиной в 15-20 см, приведенного к кв.м. Для сравнения: расход металла на козырек стадиона «Пратер» в Вене – 2500 т (приблизительно – 70 кг/кв.м), в покрытии над трибунами Большой спортивной арены в Лужниках – 17000 т (примерно – 400-410 кг/кв.м). Почувствуйте разницу! Следует иметь в виду, что В.В. Ханджи в Лужниках построил пространственную конструкцию, не в пример его нынешним преемникам, которые хотят обойтись 200 кг/кв.м, проектируя плоскостные арки и фермы.

Следовательно, стоимость спартаковской «красоты» будет равна приблизительно (только стали) **3000** т (по сравнению даже с представленным в экспертизу расходом, что ж тогда говорить о действительном, если сооружение будет осуществлено, перерасход в этом случае достигнет **10000** т). Превратите эти тонны в конструкции, поставьте их рабочее положение, посчитайте деньги – и поймете, почему Наполеон так не любил архитекторов.

2,9. Принятая конструкция козырька над трибунами стадиона содержит бесчисленное количество деталей, узлов, соединений, каждое из которых оказывает влияние на живучесть сооружения. Авторы не хотят учиться даже на своих ошибках. Лопнувший всего лишь один соединительный «палец» в оттяжке (ледовый дворец в Крылатском) на много месяцев вывел из строя огромное сооружение. К счастью обошлось без жертв. В свое время при обсуждении этого проекта в Москапстрое и в МИСИ указывалось, что у дворца нулевая живучесть. Теперь, если обратить внимание на конструктивные элементы стадиона «Спартак», с помощью которых обеспечивается пространственная устойчивость сооружения, на соединения, на невыполнение требований к узлам, то, определив проектный риск, получим результат значительно худший, чем можно было ожидать даже для ледового дворца.

3,4,5,7. Козырьки над трибунами из ферм, двухсотметровые арки, входящие в тело покрытия – эти решения не рациональны для большепролетных конструкций. Сделай мембранное или, в случае светопрозрачного козырька, вантовое покрытие, - и все становилось на место: у конструкторов не болела бы голова как обеспечить устойчивость сжатых несущих элементов покрытия, был бы в пределах разумного расход материалов, облик сооружения обрел бы лаконичный, не перенасыщенный лишними кон-

структивными элементами, вид. Можно сказать, что это дело архитектурного вкуса, но разве архитектура существует вне логики и экономики?

О форме конструкций. Если форма рационального покрытия диктуется нагрузкой, то абрис арки (изменение высоты сечения по длине) связан с характером закрепления на опорах. Двухпоясная арка с сближающимися поясами к опорам – типичный пример двухшарнирной серповидной конструкции: в середине пролета расстояние между поясами самое большое, а к опорам оно может быть сведено к минимуму. Так нарисованы арки в проекте. Но, к сожалению, в проекте нет цельной конструкции – каждый пояс не пояс, поскольку нет решетки между ними, а самостоятельные арки из трехметровых (!) в диаметре труб, жестко заделанные в опорные устои и потому воспринимающие огромные и разнообразные усилия в заделках. Зрительное восприятие «игры сил» в конструкции не соответствует действительной картине напряжений в конструктивной системе. И это сигнал, что она работает нерационально. Рисуя конструкцию, автор-архитектор, как ученик чародея, не понял какие силы, он вызвал к жизни, и потому не умеет ими управлять.

О выборе конструкционного материала. Материал для арок – электросварные трубы. Странный выбор. Сами по себе трубы неплохая вещь, но их соединения сложны, и, кроме всего прочего, внутренние полости после монтажа становятся недоступными для контроля. Трубы, как конструкция, выгодны, когда внутренние усилия распределяются по сечению равномерно. Поэтому для трубопроводов, центрально нагруженных колонн, для трехшарнирных арок, очерченных по кривой давления – они идеальны. А для конструкций, когда направление сил ярко выражено и постоянно, трубы в этом случае неэкономичны. И почему приняты электросварные трубы? Наверное, потому, что цельнотянутых диаметром 3м нет в сортаменте. Вообще электросварные трубы не для конструкций такого масштаба.

6. В проекте не сделан расчет изменяющейся конструкции после каждого этапа монтажа. Но и сам монтаж не описан. Автор проекта обязан представлять не только то, **чем** он хочет удивить мир, но и **как** это **что** осуществить.

8,10. Определение общей пространственной устойчивости – важнейший раздел расчетов сооружения. По словам авторов он был сделан, но как-то своеобразно. Совершенно очевидно, что только динамический расчет показал бы надежность конструкции, однако, картинки тоновых колебаний не были показаны, а это было бы очень интересно: есть подозрение, что принятые в проекте опорные конструкции – качающиеся колонны, устои арок, их растяжки, особенно те, что заанкерены в землю и по мысли авторов должны обеспечивать устойчивость сооружения, как раз не дают желаемого эффекта, и колебания 1-го тона конструкции скорее будут вправо-влево, чем вниз-вверх, что характерно для правильно

запроектированных большепролетных сооружений. А это значит, что в конструкции изначально заложен дефект. Обычно для сложных систем обязателен кинематический анализ расчетной схемы и, если бы он был сделан, то показал бы, что вся система изменяема.

Авторы защищают свои решения и утверждают, что опорные арки за счет наклона «в развал» обеспечат общую устойчивость сооружения. Все с точностью наоборот. Моряки, стоя на палубе, широко расставляют ноги, а не разводят в сторону руки. В проектном случае получаются два зеркальных центра вращения на продолжении осей арок – и при горизонтальных воздействиях в направлении перпендикулярном осям арок конструкция превращается в механизм. Тут уж никакой диск покрытия не поможет, каким бы жестким он ни был. Он, к нашему ужасу, но к своему удовольствию, ляжет на землю.

Текст, только что прочитанного абзаца, отражает кинематическую картину при шарнирных опорах серповидных арок, то есть он – следствие зрительного восприятия инженером сооружения. Но, как уже было сказано, авторы, разделив цельную конструкцию на части, уповают на жесткие заделки труб в устои. Но в жизни ничего абсолютного не бывает: под действием опорных усилий устои будут смещаться, поворачиваться (затяжек и распорок на уровне опор нет), и тогда уже следует их рассматривать как продолжение арок, заделанных в грунт, опорные устройства как несовершенные шарниры, а всю конструктивную систему, как близкую к изменяемому. Если вспомнить И.М. Рабиновича, то он писал, что от таких систем надо держаться подальше.

Особенно хотелось бы обратить внимание на первые от опор арок растяжки. Когда-то великий А.Н. Крылов сказал: *«Настоящий инженер должен верить своему глазу больше, чем любой формуле...»*. Так вот – «конструктивная мощь» этих растяжек визуальна несоизмерима с громадностью структуры, которую они призваны удерживать.

О фундаментах. Выбор арочных устоев в виде «стены в грунте» – наилучшее решение: «стена в грунте» в данном случае без соединяющих элементов – распорок и затяжек – будет плохо работать на восприятие опорных усилий в силу своей технологической природы, а уж при тех, что выпадет на ее долю при полной расчетной нагрузке, и говорить не приходится. Отказ от затяжек и распорок – вред ли оправдан.

Выводы в целом по проекту

1. Авторы, особенно это относится к архитекторам, любят тросы, но странною любовью: они применяют их везде, даже там, где не нужно, нарушая собственные установки: раз решили перекрыть «океан» плоско-стными конструкциями, так уж будьте последовательны – применяйте не арки из труб, а серповидные фермы.

2. Специальные технические условия – сложный документ. В нем должно быть описаны требования ко всем разделам проекта: к изысканиям, к каждому элементу сооружения, вплоть до отдельных узлов и соединений конструкций, к инженерному оборудованию и т.д. Невыполнение любого из попавших в СТУ – вклад в рост риска. И в проекте стадиона «Спартак» он значителен. К описанным выше несуразностям следует добавить:

- неизвестно были ли выполнены предварительные геофизические изыскания. Именно они дают возможность оценить пригодность участка для строительства, правильно спланировать последующие геологические работы;
- наверняка, не была исследована кровля кристаллического фундамента, наличие разломов в нем, провоцирующих непредсказуемые и опасные воздействия на строения, находящиеся в их зоне;
- неизвестно были ли выполнены проектные работы по водорегулированию, сохранен ли в проекте естественный ток грунтовых вод;
- неизвестно были ли выявлены свойства грунтового основания: при сдвиге устоев, его характеристики при продольном сжатии – для каждого устоя отдельно;
- в расчетах не была учтена физическая и геометрическая нелинейность конструктивной системы.

Проектный риск определяется как обратная величина среднего значения – математического ожидания – случайной величины v (конструктивная надежность), численные значения которой находятся в пределах от 0 до 1.

Представляется, любое здание «в виде системы, состоящей из иерархически последовательно соединенных (возведенных) n -групп однотипных несущих конструкций». Принимается гипотеза, что человеческие ошибки, допущенные в одной из групп, не зависят от ошибок, допущенных в других группах. Такие модель и гипотеза позволяют для оценки уровня надежности v несущего каркаса объекта применить методы теории надежности. В результате:

$$v = \text{Пр}(M_p),$$

где Пр – произведение уровней надежности всех n -групп несущего каркаса объекта» [5, 6].

Проектный риск для проекта стадиона «Спартак» (в приближенном исчислении) будет равен:

$$R=1/MV=1/\Pi(MP)=1/0,945*0,945*0,595*0,25*0,50*0,355*0,707*0,707*0,841*0,841*0,797=1/0,00664=150,6.$$

Значения конструктивной надежности взяты из статьи Н. Никонова «Риск – благородное дело?» (Высотные здания №2 и №3, 2008), где оценка:

- V – 0,945 – не был исследован кристаллический фундамент, подстилающий грунтовое основание; заказчик не представил заключение тектонистов, категории опасности – 0,945*2;
- 0,669 – нет решения по сохранению естественного водотока грунтовых вод;
- 0,595 – связевые конструкции недостаточны для жесткости сооружения;
- 0,25 – кинематический анализ расчетной схемы не выполнен; пространственная (общая) устойчивость сооружения не обеспечена;
- 0,5 – динамический расчет полностью не представлен в проекте; категория опасности – 0,5 (0,25; 0,5);
- 0,355 – опорные конструкции (арки, оттяжки) выбраны необоснованно;
- 0,707 – материал несущих конструкций выбран необоснованно;
- 0,841 – ответственные узлы не проверены на трещиностойкость;
- 0,707 – в расчетах не учтена физическая и геометрическая нелинейность конструктивной системы;
- 0,841 – расход материалов на покрытие превышает сложившийся к моменту анализа статистический уровень;
- 0,797 – необоснованный выбор конструкционного материала для покрытия.

Пороговые значения риска, определенные А.П.Мельчаковым:

$$R_n=2; R_{нд}=19; R_{пр}=83,$$

где R_n – нормальный (естественный риск);

$R_{нд}$ – предельно-допустимый риск;

$R_{пр}$ – предельный риск.

Расчет проектного риска показывает, что дефекты проекта далеко отодвигают его от допустимого риска, ставя далеко за предельным. А это значит, что проектное решение чревато аварией. Время еще больше ухудшит физическое состояние сооружения, энтропия с каждым днем будет нарастать и фатальные неприятности станут неизбежными. Жизнь подтвердила этот вывод, по крайней мере, дважды.

Перечисленное показывает не только охват и глубину знаний, которыми должен обладать инженер-конструктор, но и меру его ответственности за безопасность сооружения. Отсюда необходимость **личностного лицензирования инженеров на право работать с уникальными объектами**. Я эту мысль не устаю высказывать, потому что нынешнее положение, когда авторы прикрыты ответственностью организации, где они работают, зачастую приводит к губительным ситуациям. И чем дальше, тем опаснее может становиться сегодняшняя ситуация. Ведь саморегулируемыми сообществами могут приглашаться по трудовым соглашениям лица для работы, на которые организация получила благословение. Укрепить уверенность в том, что она будет выполнена профессионально, может только **персональная лицензия**, подтверждающая высокий класс исполнителя.

Научно-техническое сопровождение

Проектирование уникальных большепролетных и высотных сооружений предполагает обязательное комплексное научно-техническое сопровождение, которое включает: упомянутые ранее продувки макета сооружения в аэродинамической трубе и разработку рекомендаций по определению снеговых и ветровых нагрузок; изготовление и исследование физической модели сооружения; в особо сложных случаях не исключается создание крупномасштабного прототипа сооружения, как это было сделано при проектировании Дворца спорта «Юбилейный» в Санкт-Петербурге (на такой натурной модели были испытаны не только несущие конструкции, но и отработаны монтажные операции). Научные бригады могут оказать существенную помощь при составлении и исследовании расчетной схемы сооружения, выполнении проверочных расчетов. Кроме того, научно-исследовательские и специализированные организации привлекаются к изготовлению и монтажу конструкций, разработке рекомендаций по обеспечению жизнеспособности сооружения в экстремальных ситуациях, к мониторингу основных несущих конструкций на стадии возведения и эксплуатации. Экспериментальные исследования на крупномасштабных моделях, прототипах и натуральных объектах, выполняются не только для выявления действительного напряженно-деформированного состояния сложных систем, но и для исследования таких сторон работы конструкций, которые трудно поддаются решению математическими методами.

Другая важная задача – подготовка рекомендаций по выбору рационального варианта конструктивной схемы, оптимальных геометрических соотношений и жесткостных параметров. Не все проектировщики сегодня могут охватить в сжатые сроки этот комплекс проблем и найти ему подходящее решение. Подключение научных институтов к проектированию как нельзя лучше отвечает этим задачам.

Некоторые специальные вопросы проектирования

При проектировании уникальных сооружений необходимо учитывать вероятность аварийных ситуаций.

«Аварийная расчетная ситуация – это работа несущих конструкций в исключительных условиях (например, пожар, промышленный взрыв, авария оборудования, при малой вероятности проявления), которая приводит в большинстве случаев к тяжёлым последствиям, если не принимаются специальные меры» [2].

Нормы РФ не регламентируют необходимость проверки несущих конструкций на живучесть. Эта ситуация непосредственно связана с предвидением отказа какого-либо элемента конструкции при проектиро-

вании. Естественно, возникают вопросы: какие элементы следует при расчетах исключить, в каком количестве, в какой последовательности, какие расчетные сочетания нагрузок принимать для этого случая? Ответы на них – в работе инженера-конструктора. Он должен иметь в виду, что каждому сооружению присуща вероятность разрушения. Попытка приблизить эту вероятность к нулю сопровождается стремлением стоимости сооружения к бесконечности. Повышенная надежность уникального сооружения и обеспечивающий ее перечень дополнительных мероприятий, должны быть обязательно оговорены в «Техническом задании на проектирование», утверждаемом заказчиком.

Вместе с этим обеспечить существование уникального большепролетного или высотного сооружения после отказа опорного контура висячих или выпуклых оболочек, несущих пилонов или колонн высотного здания, подвесок вантовых систем и т.п. - невозможно. Очевидно, что живучесть таких сложных систем должна достигаться в первую очередь необходимыми запасами несущей способности основных элементов конструкций, работающих на общую устойчивость сооружения, исключением лавинообразного обрушения системы вследствие отказа второстепенных элементов конструкции, узлов и деталей; а также комплексом анти-террористических организационных мероприятий, как это делается в авиационном транспорте и при охране мостов.

О мониторинге

Очень важный элемент строительства. Поскольку разговор о нем еще на слуху, нет нужды повторяться. Следует только сказать, что тщательная фиксация отклонений от проекта позволит судить об изменении «природного окружения» после вторжения в него уникального объекта. Идеально, если организаторами комплексного мониторинга станут страховые компании, а исполнителем – специализированная организация.

Экспертиза проектов

При существующем порядке государственная экспертиза выполняется только на стадии «Проект». Для уникальных сооружений справедлива и обязательна независимая экспертиза концептуального проекта и законченной рабочей документации перед ее сдачей в производство. Цель такой экспертизы – снизить вероятность фатальных ошибок.

Независимая (государственная) экспертиза не исключает проверку архитектурных и инженерных решений внутри проектной организации при подготовке архитектурно-технических или научно-технических советов. Последние следует проводить совместно научными институтами, которые ведут научное сопровождение и участвуют в мониторинге.

Выводы и рекомендации

1. Статистические данные, информация об авариях уникальных объектов и опыт работы в экспертных комиссиях показывают, что в большинстве случаев катастрофические ситуации становятся результатом комплекса ошибок, в ряду которых первое место занимают просчеты проектировщиков.

2. Нарушение технологии проектирования, отсутствие четких формализованных регламентов, описывающих последовательный набор обязательных действий, плохая информированность основных действующих лиц об опыте проектирования родственных объектов, увлечение компьютерными расчетами без четкого представления работы конструкции провоцируют появление грубых ошибок в проектах.

3. В технических заданиях не фиксируется степень ответственности сооружения, не узаконены необходимость физического моделирования, научного сопровождения проектирования и строительства. Авторский надзор ведется формально, заказчик и эксплуатирующие службы не всегда привлекают научные бригады наблюдать за строительными конструкциями во время строительства и после сдачи объекта.

4. Сложные конструктивные системы рассматриваются без учета физической и геометрической нелинейности, в железобетонных элементах не принимается во внимание нарастание прогибов от влияния длительной ползучести бетона.

5. Динамические характеристики сооружений не выявляются, хотя в ряде случаев только динамическими расчетами можно выявить недостатки выбранных расчетных схем.

6. Инженерные изыскания, как правило, недостаточны по объему и не соответствуют рангу возводимых уникальных объектов.

7. Указания авторов эксплуатирующим организациям не имеют места в отечественной проектной практике, хотя для уникальных зданий и сооружений они – неотъемлемая часть проекта.

Вышесказанное позволяет ориентировать проектировщиков при работе над уникальными объектами на необходимость:

- чтобы продуктами предпроектной деятельности обязательно стали: «Техническое задание на проектирование», «Специальные технические условия проектирования, изготовления конструкций и их монтажа», материалы геофизических, геодезических и геологических изысканий, «Бизнес-план строительного объекта»;
- чтобы проектирование велось в три стадии: эскизный проект (концептуальная стадия), «Проект» (выявление основных технико-экономических характеристик) и рабочее проектирование (выполнение чертежей, по которым будет возводиться сооружение, и расчеты на прочность, деформативность и устойчивость сооружения);

- чтобы в технических заданиях обязательно предусматривалось выполнение параллельных расчетов конструкций сторонними специалистами с использованием комплекса программ, не применённого авторами проекта;
- чтобы проводилась экспертиза не только «Проекта», но и концептуального проекта и рабочей (3-й) стадии, как это было предусмотрено еще в 1976-1979 гг. при разработке спортивных объектов Олимпиады-80;
- чтобы обязательным разделом в номенклатуре проектных работ стало научное сопровождение будущего объекта;
- чтобы было принято за правило: при разработке концептуального (эскизного) проекта использовать приближенные расчеты, дающие возможности конструктору понять «жизнь конструкции»;
- чтобы ход проектирования был формализован; контроль и приемка отдельных частей проекта, скрытых работ, изготовление конструкций строго расписаны;
- чтобы разработка проекта уникальных сооружений учитывала специальные факторы, такие как статическая и динамическая реакция сооружения на различные сочетания нагрузок и воздействий, включая монтажные; физическая и геометрическая нелинейность, запасы прочности материалов;
- чтобы расчет уникальных сооружений выполнялся для единой пространственной системы, включающей основание, фундаменты, каркас, большепролётное покрытие;
- чтобы инженерной общественностью было признано, что живучесть таких сложных систем должна достигаться в первую очередь необходимыми запасами несущей способности основных элементов конструкций; исключением лавинообразного обрушения системы, и, конечно, комплексом антитеррористических организационных мероприятий, что *«все неизвестное потенциально опасно»* всегда, и потому требует к себе особого отношения;
- чтобы повышенный уровень надежности уникального сооружения и обеспечивающий его перечень дополнительных мероприятий, был обязательно оговорен в «Техническом задании на проектирование».

Библиографический список

1. Никонов Н. Восемь лекций о профессии. – М.: Изд-во АСВ, 2005.
2. Еремеев А.П. Особенности проектирования уникальных большепролётных зданий и сооружений // Строительная механика и расчет сооружений, №1, 2005.
3. Еремеев А.П. Предотвращение лавинообразного (прогрессирующего) обрушения несущих конструкций уникальных большепролётных со-

оружений при аварийных воздействиях // Строительная механика и расчет сооружений, №2, 2005.

4. Скоробогатов С. Принцип информационной энтропии в механике разрушения инженерных сооружений и горных пластов. – Екатеринбург, 2000.
5. Мельчаков А.П. Расчет и оценка риска аварии и безопасности ресурса строительных объектов. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2006.
6. Мельчаков А.П. К теории прогнозирования аварий объектов строительства. – Челябинск: Вестник ЮУрГУ, 2000.