

ПРЕДИСЛОВИЕ

Книга обобщает исследования автора в области теории формообразования строительных конструкций, включая работы этого направления, выполненные до и после выпуска монографии «Принципы формообразования в теории линейно-протяжённых сооружений» (М. : Ладья, 2006).

Данные в монографии ссылки на опубликованные работы автора и другие издания содержат, в частности, графическую информацию, полезную для восприятия материала, но в самой книге представлен лишь один рисунок, на котором отражен полный цикл формообразования строительных конструкций. Каждый читатель получает возможность дополнить содержание примерами собственного творчества или известными ему результатами, полученными другими авторами. В книге имеется много ссылок на работы отечественных и зарубежных учёных и инженеров различных поколений. Обращение к этим, как правило, фундаментальным исследованиям в области механики, вычислительной математики и теории сооружений, весьма полезно для формирования современной методологии создания новых конструктивных решений инженерных сооружений XXI в. и развития искусственного интеллекта в этой области знаний.

Раздел 3 «Методологические основы современной системы принципов формообразования строительных конструкций» написан в соавторстве с чл.-кор. РААСН, д-ром техн. наук, проф. А.Б. Павловым, творчество которого, как и деятельность автора, долгие годы проходило в коллективе ЦНИИПроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова — идеолога нашедшей отражение, в частности, и в данной работе (разд. 3, подразд. 3.1) теории формообразования строительных металлических конструкций.

Полагаем, что содержание книги будет востребовано учёными, инженерами, преподавателями вузов, аспирантами и студентами, специализирующимися в области создания строительных конструкций.

В.М. Фридкин

ВВЕДЕНИЕ

В этой книге с позиций строительной науки рассмотрена проблема, всегда актуальная для человечества: куда и как следует направлять развитие техники для обеспечения безопасности и дальнейшего прогресса цивилизации. Исторический опыт свидетельствует, что каждый существенный шаг в создании и становлении новых промышленных и транспортных технологий сопровождается скачками в параметрах и структуре инженерных сооружений, обеспечивающих наиболее эффективную реализацию современных и перспективных технологических процессов.

Вместе с тем, замена известных технологий новыми — циклический процесс, неизбежно растянутый во времени, поскольку любое действительно полезное новшество должно окупить затраты на своё создание и принести существенный социально-экономический эффект от внедрения в практику. Такой результат создаёт ресурсы для перехода к удовлетворению продолжающихся возникать запросов развивающейся цивилизации. И тогда для новых этапов технического прогресса обязательно возникнут идеи и инновационные предложения по созданию ещё более совершенных инженерных сооружений.

Не исключено также появление или вскрытие новых природных и техногенных угроз и опасностей, требующих ещё большей изощрённости в генерации инженерных идей в области создания строительных конструкций.

Инженерное сооружение — сложная техническая система взаимодействующих строительных конструкций, технологического оборудования и объектов внешней среды. Создание инженерных сооружений как творческий и многосторонний процесс, который удовлетворяет важнейшие потребности жизнедеятельности людей и нарастающие по сложности и ответственности заказы практически всех отраслей техники, имеет свой прикладной научно-методический базис, на первый взгляд, весьма далёкий от философии естествознания.

Но, вместе с тем, проектирование, возведение и эксплуатация многочисленных сооружений как одни из важных проявлений разума, согласно теории В.И. Вернадского — высшей формы развития и поведения земной биосферы [38], участвуют в решении фундаментальной задачи цивилизации: обеспечивать безопасное длительное состояние и развитие ноосферы — планетарной среды обитания и активной деятельности человеческого общества [79; 142]. Биосфера и ноосфера В.И. Вернадского, с его точки зрения, — неизбежные явления планетарного масштаба, закономерные результаты геологической эволюции Земли в течение миллиардов и особенно последних миллионов лет. Как отмечено в монографии [189], в ноосфере «...*впервые человек становится крупнейшей геологической силой*», и он коренным образом «...*может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни*».

Создание инженерных сооружений на основе инновационных технических решений может во многом способствовать достижению необходимых порогов экологической безопасности при дальнейшем развитии инфраструктуры транспорта, энергетики, прежде всего — атомной, химической промышленности, космонавтики, предприятий по добыче и обогащению полезных ископаемых, подводных сооружений для комплексного освоения морского шельфа и дна мирового океана на глубинах до 1000 м, а возможно, и бóльших.

В XXI в. особое внимание обращается на создание эффективных инженерных сооружений для комплексного использования возобновляемых источников энергии солнца, атмосферы, воды, биомассы.

Техническому регулированию процессов создания инженерных сооружений в условиях современной России необходимо придать следующие методологические особенности:

- Новые инженерные сооружения должны обеспечивать создание предприятий, комплексно решающих в интересах сохранения и развития земной ноосферы проблемы экологии, наряду с проблемами развития различных отраслей промышленности, особенно энергетики, при необходимости объединяя в сложную систему несколько отраслей техники.

- Техническая и экологическая безопасность всех возводимых и в последующий длительный период эксплуатируемых объектов, не только официально считающихся «опасными производствами», но и являющихся таковыми, должна включать учет широкого спектра длительных воздействий на биосферу и ноосферу как на локальном (территориальном) уровне, так и на региональных и глобальном уровнях.

- Проектные решения сооружений должны носить инновационный характер как по конструкциям (конструктивным формам), так и по технологическим процессам строительства, чем, в первую очередь и в наибольшей мере, обеспечивать без ущерба для качества создаваемых сооружений высокие показатели производительности труда строителей при их минимальном, по возможности, числе на каждом объекте.

- Проектные решения новых инженерных сооружений в полной мере должны опираться на достижения теории сооружений в области разработки современных логико-информационных, математических и вычислительных моделей сложных технических систем, включающих строительные конструкции, эксплуатирующие их объекты техники и окружающую среду — природную и техногенную.

- Для наиболее рационального применения, особенно в сложных условиях возведения и эксплуатации сооружений, конструктивные формы инженерных сооружений целесообразно создавать и развивать, частично или полностью используя (модифицируя) технические решения несущих и вспомогательных элементов, относящиеся к строительным объектам различных классов, заимствуя при необходимости эффективные конструкционные материалы, соответствующие способы изготовления, технологии монтажа, системы контроля качества и организацию длительной эксплуатации конструкций этих классов. Аналогично, в интересах развития строительных конструкций, целесообразно применять в них отдельные конструктивные решения, конструкционные материалы и технологии из других областей техники.

- Необходимо организовать строительство объектов «под ключ» в кратчайшие исторические сроки, возможно, разделив этот процесс на очереди. Но во всех случаях недопустимы режимы экологически вредной «временной» или так называемой «опытной» эксплуатации возводимых объектов, растягивающейся во времени, в силу недостаточного научного обоснования и проработки проектных решений, иногда на годы и даже на десятки лет, и привлекающей дополнительные и всегда дефицитные материальные, трудовые и, следовательно, финансовые ресурсы. Вместе с тем, первая очередь строительства (или её этап) могут иметь статус «экспериментального».

- Экономичность возведения новых и реконструкции существующих сооружений, осуществляемых в общегосударственных или частных интересах в рамках создания и развития любых предприятий, должна оцениваться, в первую очередь, с позиций «экологической» экономики. Это означает, что исчерпывающим образом должны учитываться:

- затраты на уровне капитальных вложений непосредственно в новые или реконструируемые объекты;

- определённая часть затрат на развитие инфраструктуры технических или природно-технических систем более высоких иерархических уровней, в которые в той или иной степени включаются возводимые или реконструируемые инженерные сооружения;

- затраты на полную расчистку площадок, занимаемых выводимыми из эксплуатации предприятиями, с утилизацией или безопасным захоронением всех разобранных конструкций, выведенного из работы оборудования и отходов деятельности ликвидируемых производств;

- затраты на обеспечение экологической безопасности вновь созданных производств, обязательно включающие расходы на создание и надёжное функционирование систем их мониторинга.

В первом десятилетии XXI в. компьютерное моделирование внешнего облика и структуры проектируемых сооружений достигло уровня, позволяющего архитекторам, используя современные конструкционные материалы и строительные технологии, буквально «раскрепоститься» в возможности предлагать и

превращать в реалии самые смелые поиски выражения своих идей и концепций.

Но переход от возможности осуществления замыслов архитектора, от его «творческого раскрепощения» к практическому созданию зданий так называемых «произвольных форм» (FFD), согласно сокращённому обозначению, используемому в одной из недавних работ по научному анализу этого направления — докладу [200], неизбежно приводит к общественной потребности квалифицированно и объективно разбираться во всех аспектах технической, экологической и, в итоге, экономической безопасности каждого такого шедевра строительного искусства.

Сложность устройства конструкций определяется совокупностью требований — технологическим и социальным заказами на комплекс потребительских свойств, отвечающих историческому уровню развития страны и цивилизации в целом. Поэтому сейчас столь необходима современная, не отстающая от темпов научно-технического прогресса методологическая основа для разработки конструктивных форм и для выполнения многосторонней оценки уровня осуществления заказов на строительную продукцию [171].

Таким методологическим базисом может стать более совершенная система *принципов формообразования строительных конструкций* [109; 158; 161]. Принципы формообразования — это наборы критериев выбора из некоторой совокупности конструктивных идей наиболее совершенных и эффективных решений. В этом выборе должны участвовать и конкурировать как известные технические решения и технологии, так и новые разработки. Здания «произвольной формы» с этих позиций — не более чем одно из новых и своеобразных направлений формирования и исполнения заказов на создание сложнейших по структуре и всегда исключительно выразительных для массового восприятия объектов строительства.

В разные времена, при различных объемах накопленных знаний принципы формообразования излагают и используют в практической деятельности по-своему, иногда при отсутствии или недостатке квалифицированных кадров проектировщиков или опыта строительства. Но почти всегда решения принимаются в условиях наличия существенных ограничений возможностей общества и экономики. Более того, следование в строительстве, как

и в других видах деятельности, некоторым принципам весьма субъективно и нередко носит интуитивный характер. Тем не менее, лучшие сооружения прошлого оказывались удивительно точными по соотношениям и абсолютным значениям генеральных размеров и весьма качественно собранными из строго подогнанных деталей, что определялось талантом, трудолюбием, принципиальностью, настойчивостью и упорством авторов выдающихся проектов и их исполнителей.

В предлагаемой монографии рассмотрен только методологический аспект строительного конструирования, поскольку примеры реализации разработанной системы принципов формообразования в практике проектирования, строительства и строительной экспертизы частично опубликованы в различных изданиях в 2003—2010 гг. [65—67; 76; 77; 110; 154—157; 160—169; 172]. Ряд инновационных разработок 2007—2010 гг., в том числе результаты поисковых НИР, ещё находятся на этапах подготовки и представления заявок на изобретения.



1. ТЕРМИНОЛОГИЯ

1.1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Определение понятий и терминов, используемых ниже во всех разделах работы и в приложениях, с позиций механики деформируемого твердого тела необходимо для четкости изложения вопросов теории сооружений, особенностей их возведения, опыта эксплуатации, процессов ремонта и реконструкции. Приводимые ниже определения справедливы для всех классов строительных конструкций, но для наиболее сложных и весьма разнообразных объектов строительства предлагаемая совокупность понятий может оказаться востребованной в наибольшей степени.

Основные определения выстроены по логической схеме «от простого — к сложному». Такой подход — важная черта научной методологии в любой отрасли знаний — применяется еще от эпохи Р. Декарта (1596—1650 гг.) более трех с половиной веков [50; 51]. Представлены также определения, уточняющие употребляемые в нормативных документах и в технической литературе понятия из ряда областей строительства и, в частности, мостостроения. Определение используемых понятий сопровождается их классификацией по назначению или по структуре. В основном, это касается понятий «конструкция», «сооружение». Определения относятся как к объектам, так и к процессам, отражающим некоторую последовательность состояний этих объектов — строительных конструкций и сооружений. Однако разработка какой-либо новой общей системы классификации сооружений как объектов техники не ставилась. Можно признать вполне достаточным для практики такой отработанный в течение десятилетий и широко распространенный в инженерной деятельности классификатор, как, например, система Международной классификации изобретений (МКИ) с ее иерархической структурой дифференциации понятий: «раздел» → «класс» → «подкласс» → «группа» → «подгруппа».

Предлагаемая терминология [153; 161] систематизирует, уточняет и развивает сложившуюся к настоящему времени совокупность общепринятых определений, а также официальные термины,

используемые в различных разделах настоящей работы и представленные (со всеми необходимыми ссылками) в прил. 1, и им в подавляющем большинстве случаев не противоречит. В прил. 2 отдельно введены термины, имеющие отношение к понятию «авария сооружения», к сожалению, необходимые для рассмотрения проблемы конструирования.

1.2. ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ

Несущий элемент — находящееся в статическом или динамическом равновесии *твердое* деформируемое тело, воспринимающее внешние воздействия и реакции связей с другими телами.

Несущий элемент может быть однородным или же состоящим из отдельных дискретных деталей и, возможно, окружающей детали континуальной твердой деформируемой среды (или «матрицы»), соединение которых определяет геометрические размеры элемента, характер его связей и условия восприятия внешних воздействий. Каждую «деталь» и «матрицу», в принципе, можно, в свою очередь, представить, исходя из данных определений как первичную ступень иерархической структуры несущих элементов. Уровень «детали» в такой структуре отвечает заготовке материала, обрабатываемого или используемого как готовое изделие при изготовлении элементов в заводских условиях или при их сборке и укрупнении на стадиях монтажа сооружения. К «деталям» можно отнести, например, стальной арматурный каркас (а также арматурную сетку, отдельный стержень, закладной элемент), а к «матрице» — уложенный, набирающий или набравший жесткость и прочность монолитный бетон, в свою очередь, структурированный заполнителями и добавками к цементу.

Дальнейшее абстрактное «дробление» несущих элементов целесообразно лишь при разработке математических моделей, например, в конечно элементном анализе, при решении различными методами задач механики или при проектировании объектов.

Вспомогательный элемент — тело (*не обязательно твердое*), присоединенное к несущим элементам для обеспечения и сохранения их эксплуатационных свойств, передающее на несущие элементы свой собственный вес и силы инерции, статические и динамические нагрузки от оборудования, транспортных средств, технологических продуктов, а также реакции от экранирования

ветровых, ударно-волновых (в том числе акустических), снеговых, гололедных, температурных и других внешних воздействий.

Конструкция — техническая система несущих и вспомогательных элементов, выполняющая заданные технологические функции и сохраняющая во времени, полностью или частично, связи между несущими элементами, их соединения со вспомогательными элементами, а также связи с внешней средой.

Это определение можно сопоставить, например, с коротким, но «бессистемным» и поэтому менее «продуктивным» (или менее «работоспособным») определением, приведенным в книге английского ученого Д.Э. Гордона [48]: «...Конструкцию можно определить как материальное образование любого рода, предназначенное для того, чтобы выдерживать нагрузки». В такое определение возможно включение и биологических объектов — растений и животных, которые также являются «материальными образованиями», «предназначенными» (или вынужденными?) «выдерживать нагрузки». Исходя из таких соображений, в представленном выше определении понятия «конструкция», в отличие от определения [48], используется термин **«техническая система»** — как предмет и результат человеческой деятельности (см. прил. 1, п. 11).

Понятие «конструкция» — важнейшее в этой работе, и ему в предлагаемой терминологии уделяется максимальное внимание. В дальнейшем это понятие будет рассматриваться только по отношению к объектам строительства, т.е. речь будет идти только о строительных конструкциях как технических системах различного уровня сложности.

Необходимо дать определение еще двух важных понятий, характерных именно для строительных конструкций.

Пролет линейно-протяженной конструкции — расстояние вдоль ее продольной оси между одноименными по направлению действия внешними связями или длина консольного участка (вылет консоли — также по определенным видам внешних связей). Как следует из этого определения, пролеты для вертикальных, горизонтальных и «крутильных» связей и последовательность их расстановки могут быть различными.

Пролет пространственной (развитой в плане по двум или более направлениям) конструкции — расстояние в плане между опорными связями по одному из характерных направлений. Примеры: для

кругового купола или круговой мембраны пролет — это диаметр основания сооружения или диаметр опорного контура, соответственно; для аналогичных объектов с прямоугольным планом понятие «пролет» определяется *двумя* величинами — характерными размерами сторон опорного прямоугольника; у эллиптических в плане оболочек это также две величины, близкие к размерам большого и малого диаметров эллипса основания; у цилиндрической конструкции большого удлинения (например, сводчатое покрытие склада, вокзальный дебаркадер) это *одно* число — длина хорды, соединяющей пяты несущих арок.

Для высотных конструкций (типа антенных башен и мачт или каркасов высотных зданий) близким аналогом понятия «пролет» служит понятие «высота» — разность геодезических отметок верха фундамента и наивысшей точки конструкции. Однако наряду с такой характеристикой высотного объекта необходимо рассматривать и параметр «полной высоты» — для антенных мачт, устанавливаемых на зданиях, и параметр «расстояния между ярусами оттяжек». Для развитых в плане антенных объектов рассматриваются одновременно понятия «пролет пространственной конструкции», «высота» и «расстояние между ярусами оттяжек».

Максимальный теоретический пролет линейно-протяженной или пространственной конструкции — наибольший возможный по условиям прочности несущих элементов пролет конструкции, рассчитанной только на восприятие веса всех ее несущих и вспомогательных элементов.

Сложные строительные конструкции, особенно большепролетные и среди них те, которые возводятся и работают в качестве транспортных мостов, — наиболее характерные, доступные для обозрения и достаточно многочисленные продукты человеческой деятельности. Рекомендуемая терминология в области мостостроения также представлена в прил. 1.

В определении конструкции как системы несущих и вспомогательных (помогающих «нести») элементов, скорее *сложной* системы, подразумевается достижение некоторого компромисса между требованиями заказа на создание объектов и возможностями современных конструкционных материалов (материалов, из которых изготавливаются элементы конструкций) и строительных технологий. Увязка, соединение двух типов элементов

(несущих и вспомогательных) в работоспособную техническую систему есть предмет творчества, искусства конструирования.

Для оценки и учета качества конструкционных материалов, применяемых в несущих и вспомогательных элементах, целесообразно ввести понятие, определяющее роль в конструкции наиболее прогрессивных материалов, обеспечивающих расширение областей применения технических решений. Таковы материалы, разрабатываемые на основе новейших технологий, не обязательно для удовлетворения потребностей строительной индустрии, или известные эффективные материалы, до этого не использовавшиеся в конкретных проектах для отдельных классов строительных объектов.

Конструктивный показатель качества — это безразмерный параметр, определяемый отношением массы несущих и (или) вспомогательных элементов, в деталях которых применены материалы, наиболее эффективные по совокупности их физико-технических свойств, к общей массе конструкции. К таким материалам можно отнести прокат или литьё из высокопрочных и специальных сталей, модифицированные бетоны или фибробетоны, высокопрочные канаты, ленты или пучки параллельных проволок, углепластики, стеклопластики, эластополимеры, полимерные системы гидроизоляции, полиуретановые системы окраски пролетных строений, материалы вспомогательных элементов, достаточно прочные, легкие и стойкие к коррозии, воздействию микроорганизмов, возгоранию и излучениям, и т.п.

Каждая конструкция может характеризоваться очень простым и сильным интегральным критерием качества: суммой нескольких таких показателей, причем в эффективную массу должны включаться массы элементов, состоящих либо целиком из прогрессивных материалов, либо являющихся композициями обычных и эффективных материалов. Чем выше указанная сумма и чем больше в этой сумме слагаемых, тем, в принципе, совершеннее конструкция. Суммарный показатель качества может быть равен единице или даже превосходить это значение, если в одном элементе совмещается несколько прогрессивных материалов, и тогда указанный показатель вычисляется отдельно для каждого из этих материалов.

Введенный показатель качества не отражает стоимостные характеристики элементов конструкции и служит исключительно

своеобразной мерой технического прогресса. Разумеется, за прогресс приходится расплачиваться, но в целом экономические и другие критерии, отражающие комплекс потребительских свойств конструкции, не выйдут на приемлемый уровень при низких значениях введенной выше очень понятной характеристики. В течение периода эксплуатации конструкции этот показатель изменяет свою величину, поскольку использованные в конструкции материалы (или часть таких материалов) будут вытесняться новейшими, особенно продуктами нанотехнологий, как для проектируемых объектов, так и для эксплуатируемых сооружений.

Конструкции очень близки к механизмам, элементы которых, звенья, есть аналоги определенных выше несущих элементов. Звенья превращаются в несущие элементы вместе с преобразованием системы из механизма в конструкцию после введения в механизм и в зоны его контакта с внешней средой дополнительных связей, уничтожающих все степени свободы механизма. При вводе минимально необходимого числа связей полностью закрепленный механизм становится конструкцией, образующей по определению строительной механики статически определимую систему. При большем числе вводимых связей образуется статически неопределимая система. Наглядными примерами таких обратимых преобразований стали разводные мосты, механизированные мосты, наводимые с подвижных транспортных средств, многочисленные трансформирующиеся конструкции.

Интересен пример крановых конструкций. Любые грузоподъемные краны в статическом состоянии аналогичны строительным конструкциям, а в движении — это огромные механизмы, хотя и имеющие в своем составе своеобразные звенья (башни, стрелы, мосты), накапливающие очень большую потенциальную энергию деформации при относительно низких уровнях кинетической энергии, накопление которой ограничено невысокими скоростями движения кранов при любых технологических операциях.

Изменения количества и вида связей в конструкции в результате внешних воздействий могут быть предусмотрены разработчиками как возможные эксплуатационные состояния, характерные для систем с переменными и односторонними связями. Но при развитии аварийных ситуаций из-за действия чрезмерных или не предусмотренных заранее нагрузок либо при утрате в процессе

эксплуатации несущими элементами их нормативных физико-механических характеристик происходит аварийное необратимое превращение разрушающейся конструкции в один из предельных механизмов. Наблюдается прогрессирующая потеря несущими элементами внешних и внутренних связей, не только дискретных, но и охватывающих целые области материалов элемента.

Фундаментальное свойство конструкций — накопление, преобразование и выделение в виде механической работы, тепла и в меньшей степени излучения потенциальной энергии деформации. Это свойство отчасти определяется известным, но редким для отечественной научно-технической литературы понятием «резильянс». Согласно Д.Э. Гордону [48], способность запасать упругую энергию и при действии нагрузки отклоняться упругим образом без разрушения называется *резильянсом* и является очень ценным качеством конструкции. Резильянс можно определить как количество упругой энергии, которое можно запасти в конструкции, не причиняя ей повреждений.

Механизмы же, в первую очередь, накапливают, преобразуют и теряют кинетическую энергию, определяемую массами и скоростями звеньев. И для механизмов, и для конструкций характерно динамическое равновесие, достигаемое действием внешних, внутренних упругих и инерционных сил, а также реакций внешних и внутренних связей. Однако для механизмов упругие и иные деформации звеньев — нежелательные, в значительно большей мере, чем для конструкций, явления, нарушающие точность действия и работоспособность. Исключение — упругие пружины, включенные в состав механизмов.

В конструкциях висячих и вантовых мостов, имеющих большие пролеты (соответственно, близкие к 2000 м и 1100 м в середине 2011 г.), низ конструкций пролётных строений которых возвышается над водной поверхностью на 60...70 м, и даже в неразрезных балочных пролётных строениях мостов с пролётами до 155...200 м, а также в конструкциях высотных сооружений, крайне нежелательно проявление кинематических свойств — развитие конечных перемещений элементов без существенных изменений их внутренней потенциальной энергии, но, возможно, — с ощутимым перераспределением по сечениям и элементам экстремальных значений относительных деформаций. Исключе-

ние — некоторые детали подвижных опорных частей и деформационных швов, наиболее распространенные решения которых, в принципе, являются своеобразными механизмами.

Кинематические перемещения заметно отклоняют геометрическую схему конструкции от проектной, принятой в качестве наиболее благоприятной по условиям эксплуатации, изменяют внутренние усилия, характер динамического взаимодействия объекта с ветровым потоком или с подвижной временной нагрузкой. В строительной механике учет конечных перемещений — предмет геометрически нелинейного анализа систем из стержней, пластин, оболочек и их комбинаций, которыми отображаются реальные несущие элементы и конструкции. Выявление и подавление в конструкциях кинематических свойств — задача, рассматриваемая в этой работе. Изложенное выше определение понятия «конструкция» и его сопоставление с понятием «механизм» дает необходимую однозначность в отличие от энциклопедического определения, включенного в прил. 1.

Различия в условиях технологических и социальных заказов, их индивидуальность или уникальность порождают разнообразие конструкций. Однако конструкции удастся классифицировать, распределяя их по многочисленным признакам, принципам поведения и свойствам несущих и вспомогательных элементов. Индивидуальность конструкций можно обеспечить, рассматривая только несущие элементы, введением понятия «конструктивная форма».

Конструктивная форма — множество конструкций с однородным по материалам набором и одинаковой геометрической структурой несущих элементов и связей с внешней средой.

Такое определение игнорирует количественные характеристики конструкций: их масштабы, соотношения размеров, количество пролетов (панелей), но не физико-механические свойства материалов, принципиально различающихся по химической природе и по технологиям создания и применения. Например, неразрезные балочные пролетные строения мостов в стальном, железобетонном или сталежелезобетонном исполнении — это разные конструктивные формы, поскольку они взаимно неоднородны по набору материалов несущих элементов, а также принципиально различаются геометрической структурой плиты проезжей части, внутренней структурой вертикальных несущих элементов, струк-

турами продольных и поперечных связей, а вследствие комплекса различий — и поведением в конструкции.

Еще пример: двух- или шестипролетная неразрезная железобетонная балка при одинаковой структуре несущих элементов — это одна и та же конструктивная форма, независимо от количества промежуточных опор. Но аналогичная однопролетная балка — это уже другая конструктивная форма, поскольку в таких конструкциях иная структура внешних связей (нет промежуточных опор). Точно так же консольные балки — это особые конструктивные формы многопролетных, в крайнем случае, двухпролетных балок, у которых специфична структура внешних связей: по меньшей мере, на конце одного из крайних пролетов вообще нет связей с внешней средой. Балки с концевыми заделками или концевыми упругими закреплениями — это еще одна группа конструктивных форм, не зависящих от количественных характеристик податливости заделок. В последнем случае различные конструктивные формы балок порождаются отличиями в видах и направлениях реакций внешних связей в заделках.

Иногда количественные и структурные различия между конструкциями проявляются не так строго и наглядно, и тогда признаки новизны конструктивной формы требуют более тщательного обоснования. Во многих случаях обоснование новизны относится к процедурам представления и экспертизы патентных заявок на предмет их патентной чистоты. Чем сложнее конструктивная форма, тем больше возможностей для ее совершенствования и распространения на новые области реализации проектов. Более широкое понятие «форма сооружения» определено в работе [58] и представлено в прил. 1.

Сложная конструктивная форма — это множество конструкций с установленной между конструкциями иерархией (порядком взаимодействия) геометрических структур и специфической системой внутренних и внешних связей. Понятие «сложная конструктивная форма» хорошо иллюстрируется в анализе конструкций на основе метода конечных элементов (МКЭ), где используются эффективные методики учета сложной структуры моделируемых объектов. Для этого разработан «метод многоуровневой подструктуризации» и его широко распространенная разновидность — «метод суперэлементов».

Вспомогательные элементы не определяют конструктивную форму: различия в окружении несущих элементов вспомогательными элементами позволяют применять одну и ту же конструкцию в разнообразных условиях. Например, стальные балочные железнодорожные пролетные строения с балластной плитой или на жестком плитном подрельсовом основании из железобетона, не включенные в совместную работу с балкой, имеют одну и ту же конструктивную форму изгибаемой стальной балки, хотя геометрические параметры обоих вариантов конструкции могут существенно различаться. Более того, вспомогательные элементы могут не быть твердыми телами, что косвенно учтено выше в определении термина «вспомогательный элемент»: балласт — сыпучее тело.

В общем представлении нетвердые тела также могут образовывать вместе со вспомогательными элементами разнообразные конструкции, принимающие различные формы. Соответствующие примеры таких объектов очень близки гидростроительству и мостостроению. Это насыпные плотины и струенаправляющие дамбы, хотя часть материала насыпных плотин, сконцентрированная в противофильтрационном ядре, должна иметь твердую консистенцию. Не исключено, что «насыпные» вспомогательные элементы смогут перейти в состав основных несущих элементов в некоторых новых классах подземных, подводных и высотных строительных конструкций.

Делая такую оговорку, останемся все-таки на позициях данных выше определений, начиная с определения «несущего элемента» как твердого деформируемого тела. По такому определению понятия «насыпь» или «насыпная плотина» оказываются специфическими «конструкциями» из огромного количества достаточно крупных и микроскопических, но, тем не менее, твердых частиц — своеобразных несущих элементов, случайным образом перемешанных, но все-таки имеющих четкие характерные геометрические границы замкнутой области своего расположения в пространстве.

Строительные конструкции входят в состав более сложных образований — инженерных сооружений, определение которым проще всего дать с позиций системного подхода.

Инженерное сооружение — сложная техническая система *взаимодействующих* строительных конструкций, технологического

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru