

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ. ЛЕКЦИЯ 7:

ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ,
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Савин Сергей Юрьевич
Доцент кафедры ЖБК, к.т.н.



ПОНЯТИЕ О ПРОЕКТИРОВАНИИ

Проектирование (от лат. *projectus* - брошенный вперёд, выступающий, выдающийся вперёд) - процесс создания проекта, т. е. прототипа, прообраза предполагаемого и возможного объекта. Проект может быть выполнен в виде макета, модели или рабочих чертежей.

Архитектурно-строительное проектирование заключается в разработке технической документации, предназначенной для осуществления строительства какого-либо объекта (или ряда объектов), создания новых видов и образцов строительных конструкций на предприятиях строительной индустрии и т.д. В процессе проектирования выполняют технические и экономические расчеты, разрабатывают схемы, графики, макеты, рабочие чертежи, составляют пояснительные записки, спецификации, сметы, калькуляции.

Проектирование - важнейшее звено, связывающее научные разработки с практикой строительства. В проектах находят непосредственное отражение результаты научных исследований, новые конструктивные решения, передовой опыт возведения зданий и сооружений. От качества проектирования в немалой степени зависят темпы технического прогресса в любой отрасли производственной деятельности человека, в том числе и в строительстве.

Важным принципом проектирования является принятие определенных **расчетных моделей**.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

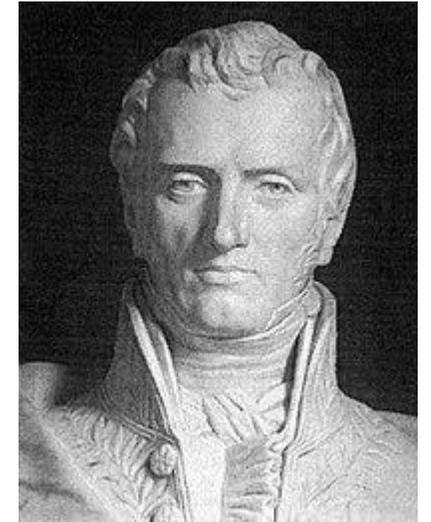
Сложные инженерные сооружения состоят из множества разнородных элементов, различающихся материалом, формой, соотношением размеров, характером загрузки и т. п.

Инженеру-проектировщику приходится иметь дело не с реальной конструкцией, а с ее моделью, в противном случае процесс проектирования стал бы практически нереализуемым. В современной инженерной практике моделирование является многоэтапным процессом, который связан с решением многих физических, математических проблем, в том числе:

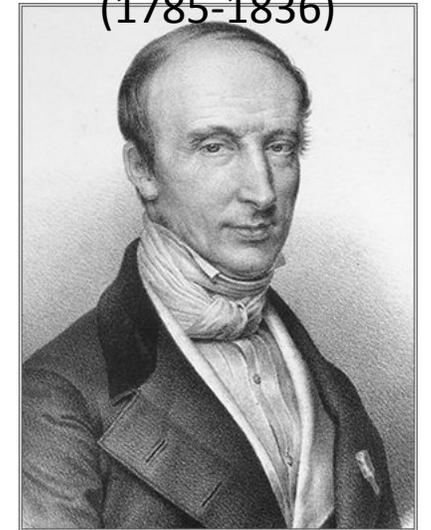
- моделирование материала и его свойств;
- моделирование связи между компонентами напряженно-деформированного состояния конструкции;
- моделирование формы конструкции;
- моделирование связей между отдельными, часто разнородными элементами конструкции;
- моделирование связей между конструкцией и основанием, обеспечивающих равновесие конструкции;
- моделирование внешних силовых воздействий на конструкцию.

ГИПОТЕЗЫ И ДОПУЩЕНИЯ

В процессе создания науки о напряженно-деформированном состоянии материальных тел многократно делались попытки учесть их реальную структуру. Так, выдающиеся французские ученые О. Коши и А. Навье, основоположники теории упругости, вначале пытались рассматривать твердое тело как совокупность материальных точек (молекул), удерживаемых на определенном расстоянии друг от друга силами взаимодействия, при этом предполагалось, что силы взаимодействия двух молекул направлены по прямой и линейно зависят от расстояния между ними. Однако на основе представления о молекулярной структуре вещества, ввиду исключительно большого числа элементарных материальных частиц и ничтожно малых расстояний между ними (по сравнению с размерами тела), проследить за перемещениями каждой конкретной частицы оказалось невозможным. Поэтому в качестве единственно приемлемой была принята гипотеза о распределении вещества тела непрерывно по всему его объему. Такая абстрактная модель, называемая статистической, позволила перекинуть мост между дискретной средой, каковой в реальности является твердое тело, и понятием непрерывного геометрического пространства, являвшегося в то время основой математического анализа.



Клод Луи Мари Анри
Навье
(1785-1836)



Огюст Луи Коши
(1789-1857)

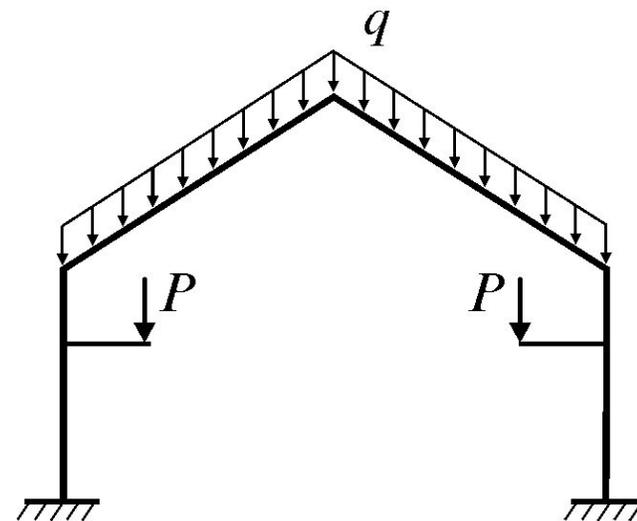
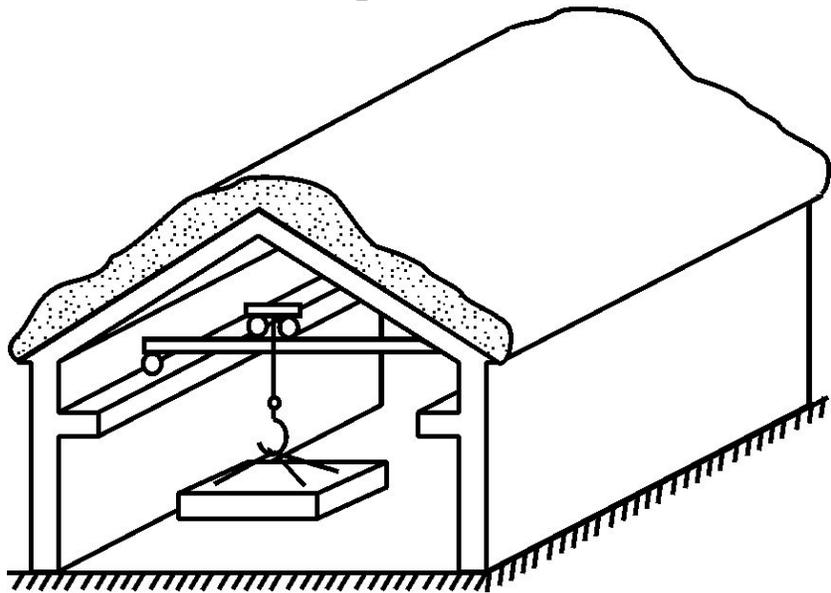
ГИПОТЕЗЫ И ДОПУЩЕНИЯ

Кроме гипотезы о непрерывной сплошной среде в теории упругости введены также гипотезы о линейной зависимости между напряжениями, деформациями, перемещениями и их производными, однородности (упругие свойства материала одинаковы во всех его точках) и изотропности (упругие свойства одинаковы во всех направлениях) твердого тела, что позволило теоретически сформулировать и практически использовать целый ряд важнейших физических и механических характеристик материала.

При проектировании инженерных сооружений, как правило, не удастся ввести в расчет их реальную форму, а придется довольствоваться ее упрощенным, идеализированным представлением, что позволяет применить имеющиеся в распоряжении проектировщика физические модели и математические методы. Моделирование формы и построение расчетной схемы сооружения - один из самых ответственных этапов процесса проектирования строительных объектов.

Таким образом, инженеру в любом случае следует быть готовым к тому, что результаты расчета сооружения, полученные с помощью самых современных математических методов и сверхмощных компьютеров, лишь приближенно выражают его действительное напряженно-деформированное состояние.

Расчетная модель - совокупность принимаемых для расчете условий, таких как выбор расчетной схемы, принятие упрощающих предпосылок, составление исходных уравнений состояния и т. д. Расчетные модели конструкций и оснований должны отражать действительные условия работы здания, сооружения, отвечающие рассматриваемой расчетной ситуации. При этом следует учитывать факторы, определяющие напряженное и деформированное состояний, особенности взаимодействия элементов конструкций между собой и с основанием, пространственную работу конструкций, геометрическую и физическую нелинейности, пластические и реологические свойства материалов и грунтов, наличие трещин в железобетонных конструкциях, возможные отклонения геометрических размеров от их номин



Расчетная схема интересует инженера не сама по себе, а в качестве промежуточной модели для определения напряженно-деформированного состояния конструкции, для оценки инженером таких показателей конструкции, как ее **способность быть возведенной, надежно эксплуатируемой, экономичной** и т. д. В этой связи в процессе получения результирующей информации расчет условно можно разбить на четыре этапа. **Первый этап** - переход от **реальной конструкции (РК)** к **физической модели (ФМ)**. **Второй этап** - переход от физической модели к **механической или математической ее модели (ММ)**. **Третий этап** - переход от непрерывной механико-математической модели к **дискретной модели или расчетной схеме (РС)**, приспособленной к возможностям конкретного инструмента вычислений. **Четвертый этап** - описание этой расчетной схемы доступными средствами избранного программного обеспечения, проведение самого расчета, **получение численных результатов расчета (ЧР)**. И, наконец, **последний этап** связан с интерпретацией и анализом результатов расчета и **получением итоговой информации (ИИ)**. Итак,

РК => ФМ => РМ (ММ+РС) => ЧР => ИИ.

На каждом из этих этапов роль или степень участия инженера-расчетчика и роль используемого программного обеспечения различны, равно как и различна их

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ

Общие проблемы моделирования неоднократно служили темой исследований, и их авторы выдвигали разнообразные правила , построения расчетных моделей. Так, в свое время Н. М. Герсеванов выдвинул принципы создания расчетных моделей сооружений:

- методы расчета должны исходить из форм разрушений и деформаций, подтвержденных опытом строительной практики;
- расчетная гипотеза, которая может быть достаточно условной, должна ставить конструкцию в менее благоприятные условия, чем те, в которых находится действительная конструкция;
- набор расчетных гипотез должен обеспечивать не только прочность и устойчивость, но и экономичность конструкции.

По мнению авторов, эти принципы, однако, не являются полными и их следует дополнить следующим образом:

- целесообразно иметь не одну модель, а систему аппроксимирующих моделей работы сооружения, каждая из которых имеет свои границы применения;
- аппроксимирующая модель работы сооружения должна не только правильно и полно отражать работу реального объекта, но и быть настолько простой, чтобы расчет не становился чрезмерно громоздким.

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ

Особую роль, играют общие модели конструкций и их элементов — **стержень, пластина, оболочка** и т. п., с помощью которых конструируются полные расчетные схемы одних сооружений и части расчетных схем других, более сложных, объектов.

Такие модели являются базовыми, они должны изучаться со всей доступной нам степенью строгости и служить в дальнейшем основой для рассмотрения других расчетных моделей. Тогда использование указанных моделей становится привлекательным в силу их изученности, а инженер во многом предугадывает результат анализа (по крайней мере его качественные особенности).

По-видимому, наиболее правильной стратегией является выполнение тщательного анализа некоторых типичных моделей на уровне сложности, доступном современной вычислительной технике, и сопоставление результатов такого расчета с упрощенным. Такого рода вычислительное экспериментирование позволяет определить (для некоторого класса задач), не является ли заметное расхождение между расчетом и экспериментом следствием неудовлетворительной идеализации.

Порой формальная разбивка конструкции в дискретной расчетной схеме на тысячи конечных элементов приводит лишь к кажущейся эффективности и повышению точности в решении задачи, тогда как на самом деле точность может даже понизиться в связи с неизбежным наращиванием погрешностей вычислений при увеличении по порядку количества неизвестных в дискретной схеме.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Постановка задачи - это наиболее ответственный шаг в проектном деле.

Выбирая конструкцию, план и форму сооружения, организуя строительство новых районов города, проектировщики решают не только градостроительные и инженерные задачи, но и направляют труд тысяч людей на изготовление конструкций, их перемещение, монтаж. Поэтому если не учитывать затрат ресурсов, то теряется осмысленность труда непосредственных исполнителей проекта.

Экономия ресурсов - одна из основных социальных пред-посылок творчества проектировщиков.

«Расчленение на части», или анализ - любимое занятие инженера. Каждая сторона задания таит в себе ворох проблем, каждую нужно понять, ощутить ее влияние и связи с другими. В это время определяются элементы, не подверженные впоследствии изменениям, от них и начинается разработка проекта. Немаловажное значение для проектировщика будет иметь и погружение в море неизвестной ранее информации, ведь проектирование всегда начинается при неполном знании объекта. Преодоление этой неопределенности необходимо не только для выбора лучшего решения, но и для доказательной защиты в экспертизе.

«Соединение частей по-новому», или синтез - время высокого творчества, вдохновенных догадок и озарений. Именно на этой ответственной стадии совершаются крупные открытия или, напротив, не менее значительные ошибки, когда может восторжествовать узость мышления или неоправданный оптимизм.

ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Проектирование конструкций условно можно разбить на четыре этапа: **замысел, расчет, конструирование и графическое оформление проекта.**

На первом этапе наиболее ярко проявляется талант конструктора, его способность мыслить нестандартно, находить в сложных ситуациях эффективные решения. Не в последнюю очередь в это время играет характер взаимоотношений с архитектором. понимание задач партнера, способность вовремя предложить ему наилучшее решение из многих.

Второй этап характеризует профессиональную эрудицию конструктора, его знание теории сооружений, теории упругости, математики, механики фунтов и многих других предметов. Теоретическая подготовка инженера-конструктора Должна включать в себе умение владеть компьютерными технологиями, знание расчетных программ, возможность самому в ряде случаев вносить в них «усовершенствования».

Третий этап - конструирование - должен содержать представление о принципах работы конструкций из различных материалов, о способах их производства, об ограничениях, которые необходимо учитывать в своей работе и которые содержатся в нормативных документах.

Четвертый этап подготовки проекта зависит сегодня от оснащенности проектировщика техникой.

ЗАРОЖДЕНИЕ ЗАМЫСЛА КОНСТРУКЦИИ

Из внимательного изучения исходных данных: технического задания заказчика, результатов первичных инженерно-геологических изысканий, архитектурных набросков сооружения вырисовываются образы возможных конструктивных решений, некоторые из них нравятся больше, другие меньше. После этого начинается приближенная инженерная оценка отобранных конструкций. Основные невыгодные сочетания внешних воздействий, планировки дают возможность представить вероятные образы сооружения в виде расчетной схемы. Предварительные расчеты покажут основные усилия в элементах конструкции и нагрузки на фундаменты. Если конструкция вписывается в образ сооружения или сама конструкция этот образ создает, усиливая его художественные характеристики и поддерживая функцию, то при приемлемых экономических показателях можно приступить к следующей операции - точному расчету. Но до этого предстоит решить чрезвычайно важную задачу - заглянуть за пределы видимого - недооценка геологической и гидрологической обстановки может обернуться в лучшем случае неоправданными затратами, а в худшем - бедой.

ЗАРОЖДЕНИЕ ЗАМЫСЛА КОНСТРУКЦИИ

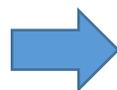
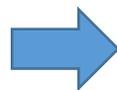
Инженер-конструктор — специальность творческая. Став инженером-конструктором, можно получить много возможностей для творческого самовыражения, не меньше, чем архитектор.

Берясь за конструирование сложных инженерных систем, следует помнить:

- архитектура — это художественная осмысленность рациональности;
- рациональная конструкция — это структура, обеспечивающая при минимально возможном расходе материалов надежную работу сооружения при расчетных нагрузках;
- форму конструкции определяет характерное сочетание нагрузок;
- ошибочный выбор формы невозможно «вылечить» повышенной затратой материала: неверно распределенный в пространстве, он во многом определяет будущие «болезни» здания в целом;
- количество элементов, слагающих конструкцию, - еще одно условие, влияющее на выбор конструкций;
- чем больше изделий входит в структуру, тем интенсивнее накапливаются начальные несовершенства и существенно снижается степень надёжности сооружения.

АНАЛОГИИ С ПРИРОДОЙ

В природе все развито органично, природные организмы приспособлены к постоянно меняющимся статическим и динамическим нагрузкам. В лучших своих творениях талантливые инженеры-конструкторы приближаются к «природному конструированию». Их конструкции работают в трех измерениях и потому называется пространственными.



УРОКИ ИЗ ОШИБОК, ДОПУЩЕННЫХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Урок первый. Нельзя проектировать сложнейшие инженерные системы, ориентируясь только на собственное знание. Необходимо расширять информационное поле, на котором идет поиск наилучшего решения; неукоснительно следовать нормативным документам; изучать осуществленные объекты, приближенные к будущему сооружению; анализ первых и вторых - необходимая часть работы творческой бригады.

Урок второй. Нельзя допускать, чтобы одна из исходных позиций проектирования - форма сооружения – принималась в отрыве от характера статической и динамической работы сооружения.

Урок третий. Нельзя архитектору не знать правил создания рациональных и надежных пространственных структур.

Урок четвертый. Нельзя конструктору послушно следовать за неграмотными «фантазиями» архитектора.

Урок пятый. Нельзя при проектировании сложных и уникальных конструкций ограничиваться расчетами линейных моделей. Физическая и геометрическая нелинейность обязательно должны учитываться при анализе конструкций.

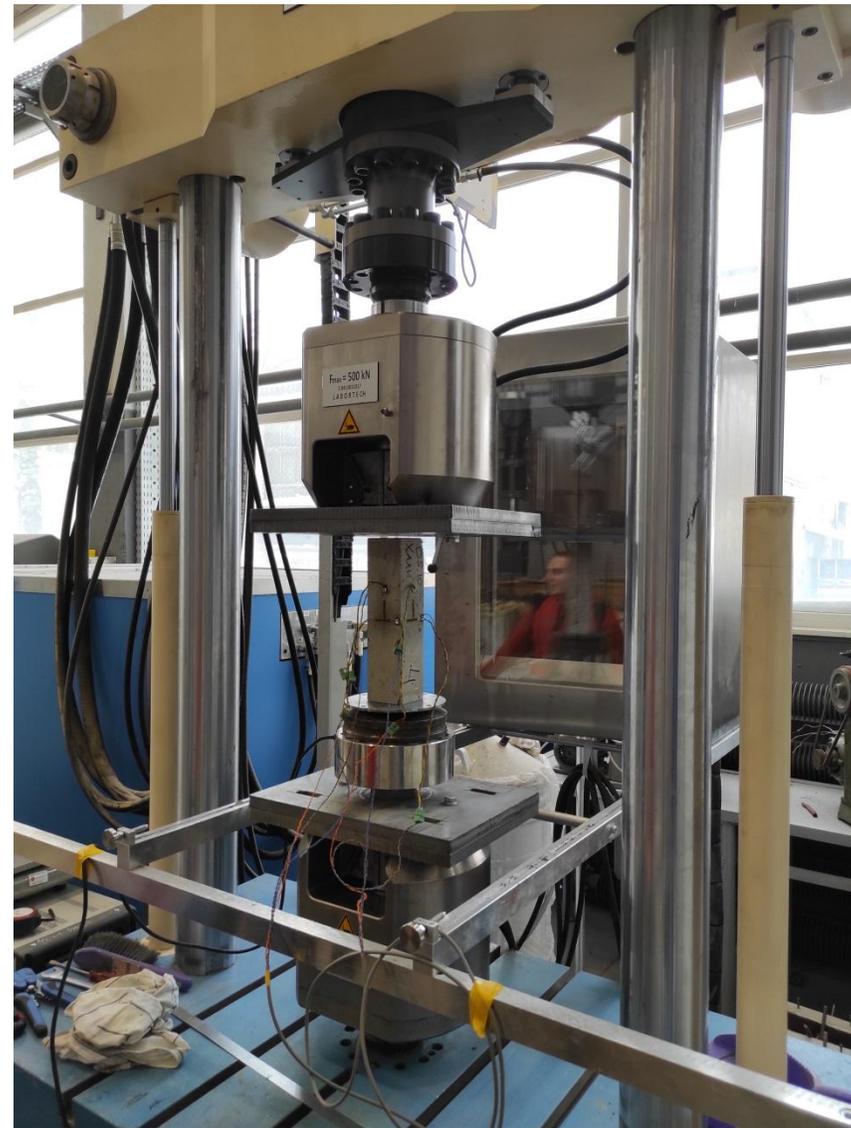
Урок шестой. Нельзя в сегодняшних условиях работать в изоляции от строительной науки.

Урок седьмой. Нельзя, проектируя ответственное сооружение, не анализировать инженерно-геологические характеристики участка, на котором предстоит «жить» будущему зданию,

Урок восьмой. Нельзя никогда переступить грань, отделяющую уверенность в себе от самоуверенности, хотя уловить ее порой чрезвычайно трудно.



Обрушение покрытия Трансвааль-парка
спустя 2 года после открытия,
2004 год, Москва



**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ**