



Перельмутер Анатолий Викторович, доктор технических наук, академик РААСН, главный научный сотрудник НПО SCAD Soft. Область научных интересов: строительная механика, строительные конструкции, надежность и безопасность, информационные технологии.

ISBN 978-5-903683-22-2



9 785903 683222

ISBN 978-5-930939-51-4



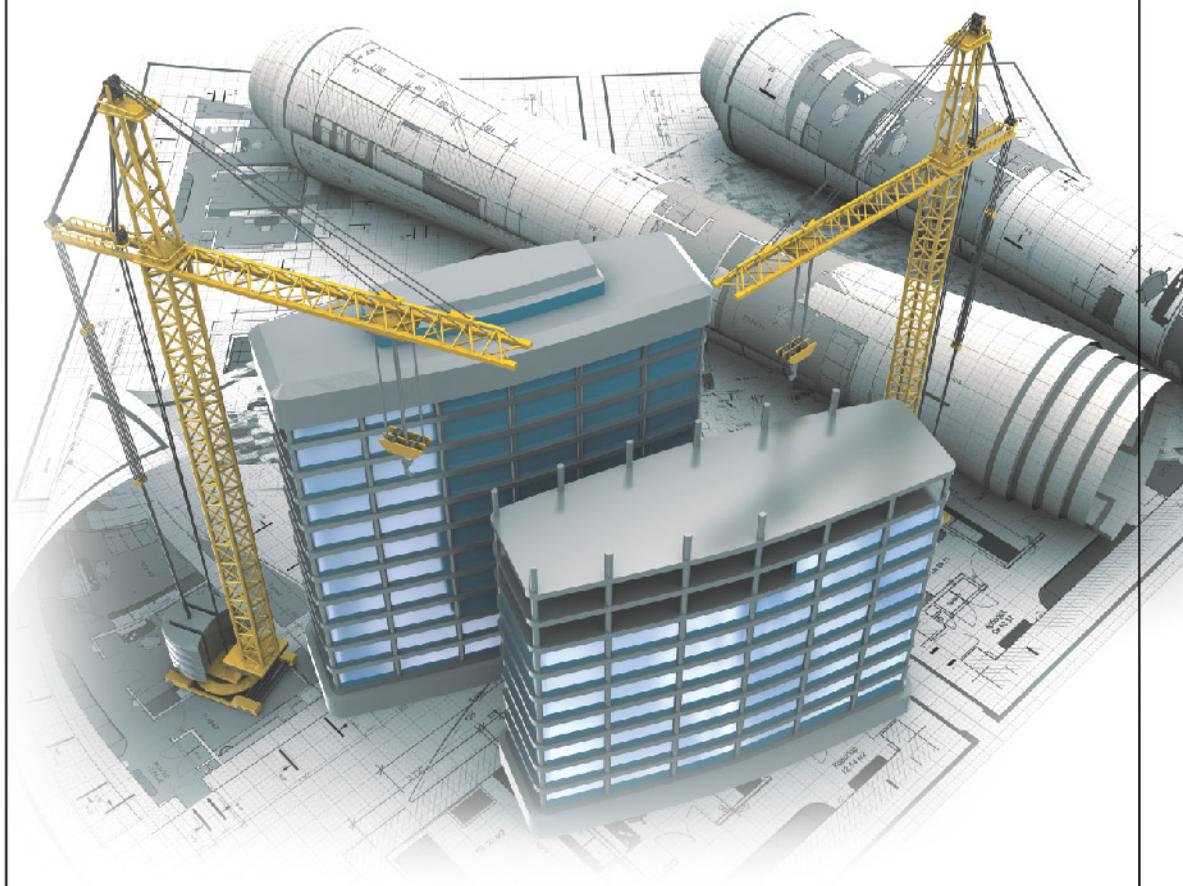
9 785930 939514

БЕСЕДЫ О СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ

Перельмутер А. В.

Перельмутер А. В.

БЕСЕДЫ О СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ



А.В. Перельмутер

**БЕСЕДЫ
О СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ**

**Краткий курс лекций
для повышения квалификации**

**Издательство SCAD Soft
Издательство Ассоциации строительных вузов**

Москва 2014

Рекомендовано к изданию:

Кафедрой строительной механики Томского государственного архитектурно-строительного университета, заведующий кафедрой действительный член РААСН, доктор технических наук, профессор Ляхович Л.С.

Кафедрой строительной механики Киевского национального университета строительства и архитектуры, заведующий кафедрой член-корреспондент Академии педагогических наук Украины, доктор технических наук, профессор Баженов В. А.

УДК 624.0/07**Перельмутер А.В.**

Беседы о строительной механике. Научное издание.— М.: Издательство SCAD Soft, издательство ассоциации строительных вузов, 2014.— 250 с.

В книге обсуждаются некоторые принципиальные вопросы современной строительной механики, которые, как показывает опыт общения с пользователями программных средств, недостаточно усваиваются во время учебы в высшей школе. Целью книги является углубленное изложение основ тех методов, которые используются в расчетных программах с упором на анализ основных предпосылок и объяснение физического смысла расчетных операций.

Книга не рассчитана на студентов, только приступивших к изучению курса строительной механики, она ориентирована на инженеров-строителей, желающих углубить свою теоретическую подготовку. Книга также может быть рекомендована аспирантам и магистрантам строительных вузов и служить для них учебным пособием.

Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, а также размещение в Интернете, если на то нет письменного разрешения владельца.

ISBN 978-5-903683-22-2**ISBN 978-5-930939-51-4**

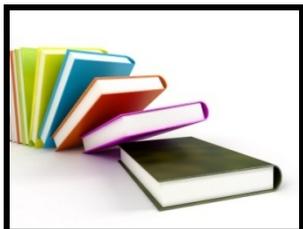
© Издательство SCAD Soft, 2014

© Издательство АСВ, 2014

© А.В. Перельмутер

Предисловие





Если ты не знаешь никакой теории, то это еще не означает, что ты практик.

Хачиян Л.Г. Избранные труды.— М.: МЦНМО, 2009 - 520 с.

Цель расчета — не число, а понимание.

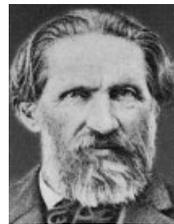
Р.В.Хемминг. Численные методы для научных работников и инженеров.— М.: Наука, 1972.— 400 с

Чем более высоких стандартов достигает теория, тем непонятней становятся книги. А для написания простых учебников не хватает энтузиазма и вдохновения, присущих этапу рождения идеологии...

В. Босс. Лекции по математике. Том 7.— М.: КомКнига, 2006.— 216 с.

Замысел

В начале двадцатого века в Санкт-Петербурге собирался небольшой кружок, где выдающийся инженер и профессор, воспитавший несколько поколений русских инженеров, В.Л. Кирпичев вел беседы о механике. Они затем были изданы в виде книги [4], выдержавшей много изданий и до сих пор не утратившей своей актуальности. Автору показалось, что имеется необходимость в какой-то мере воспроизвести этот опыт в наше время, рассмотрев ту область знаний, которую называют *строительная механика в широком смысле этого слова*.



В.Л. Кирпичев

Дело в том, что практический расчет любой мало-мальски сложной системы в настоящее время выполняется с использованием компьютерных технологий. Как показывает опыт, во многих случаях обучение пользованию программными системами для расчета конструкций, такими как ЛИРА, SCAD, ANSYS и др., позволяет пользователю только научиться нажимать кнопки, чтобы вызвать к жизни ту или иную функцию программы. Выясняется также, что любое руководство к программе почти бессмысленно, если пользователь не понимает основ тех методов, которые использованы в программной системе.

При этом важно *понимание* основных принципов, которые, к сожалению, не очень хорошо излагаются в современных вузовских учебниках. Я неоднократно задавал начинающим инженерам вопрос: можно ли создать предварительное напряжение в статически определимой системе? И слишком часто получал положительный ответ. А в подтверждение своей точки зрения указывалось, что существуют преднапряженные железобетонные балки. О том, что они являются статически неопределимыми, студенту не сказали.

Важным аспектом проблемы является соотношение между знанием и пониманием (вряд ли нужно доказывать, что это не одно и то же). Понимание приходит тогда, когда одному и тому же явлению дается несколько интерпретаций, сопоставляя которые можно понять значительно больше, чем из самого подробного описания, независимо от формы этого описания (чертеж, схема, математическая модель и т.п.).



Блестящим примером является вопрос, который Кириаки Самсонович Завриев, профессор Тбилисского института инженеров путей сообщения задавал своим студентам¹:

Работа несущей конструкции во многом определяется плечом внутренней пары. У фермы оно равно расстоянию между поясами, в арке — расстоянию от замка до затяжки, у купола — примерно расстоянию между вершиной и опорным кольцом. А каково плечо внутренней пары у оболочки двоякой кривизны на прямоугольном плане?

К. С. Завриев

Ответ на этот вопрос требует понимания работы конструкции «в целом», что во многом противоположно практикуемому детальному анализу напряженно-деформированного состояния. Такой анализ направлен на изучение деталей (отыскание пиков напряжений, мест с максимальными прогибами и т.п.), и иной раз уводит от рассмотрения целостной картины явления. По образному выражению А. Пуанкаре «...стал ли бы думать какой-нибудь натуралист, что он достаточно знает слона, если бы он всегда изучал это животное под микроскопом?» [3, стр. 165].

Содержание этой книги во многом определилось теми вопросами, которые задавали разработчикам пользователи программной системы SCAD. Они наивно полагали, что разработчики программ должны восполнить недостатки их образования, а нам очень хотелось вместо точного ответа на заданный вопрос отослать вопрошающего к определенной странице университетского учебника. Но приходилось выступать с разъяснениями и давать ответы на наивные вопросы:

Тогда возник замысел написания соответствующей книги. Автор самонадеянно полагает, что практикующие инженеры-расчетчики захотят прочитать эту книгу, основной целью которой является обучение сознательному использованию современных компьютерных методов расчета сложных и ответственных строительных конструкций. Впрочем, надежда на Юзера², читающего что-либо, кроме программного Help, не слишком реалистична, и эта простая мысль заставляет автора разнообразить свое изложение неформальными сравнениями и вставными байками. А вдруг поможет.

¹ Мне об этом рассказывал Л.Г. Дмитриев, ученик Кириаки Самсоновича.

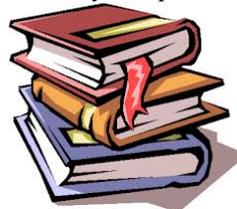
² Юзер (от английского user—пользователь) — наверное, самая многочисленная часть компьютерного населения нашей планеты (уже не Чайник и еще не Ламер) — Юзер-ламерский толковый словарь PC ARGО.

По такому же поводу В. Босс [2] говорит — «*Переупростить, даже приврать слегка, ибо дозирование правды краеугольный камень объяснения. Результаты, перегруженные деталями, не пролезают куда надо*»

Форма изложения

Поскольку мы ориентируемся на читателя, который хотя бы формально прослушал университетский курс строительной механики, изложение ведется во фрагментарном стиле, без обязательного следования структуре какого-нибудь учебника. Пропущена, например, тема о вычислении коэффициентов канонических уравнений метода сил и метода перемещений, поскольку в форме, ориентированной на сокращение ручных вычислений, эти сведения достаточно подробно представлены в университетском курсе.

По возможности автор старался излагать материал в простой форме (как говорят «без формул»), опускаясь в некоторых случаях до простых иллюстраций излагаемых положений. Более подробно излагаются разделы устойчивости и динамики, которые в современных университетских курсах почти не освещаются. Очень часто некоторые важные свойства систем того или иного вида излагаются как «данные свыше».



Если читатель не поверит автору и начнет искать доказательства (сам или в литературе), то автор будет считать, что он достиг своей цели, а именно — он возбудил любопытство к предмету изложения. Вообще, читатель, желающий иметь более строгие доказательства, может обратиться к другим источникам, и такое обращение со стороны автора не встретит ничего, кроме одобрения.

В современных условиях компьютеризованного проектирования красивые аналитические построения решений частных задач постепенно (но неуклонно) уступают место достаточно универсальным численным методам расчета, реализуемым во множестве широко распространенных программных разработок. Само собой разумеется, что это не означает полного отказа от приведения аналитических решений, в особенности тогда, когда они несут в себе информацию качественного характера или являются примерами, выпукло поясняющими отдельные аспекты теории.

Но сегодня, по мнению автора, более важно глубокое изучение принципиальных аспектов теории, позволяющее инженеру осознанно (и придирчиво!) пользоваться имеющимся у него под рукой инструментом вычислений, а также оценивать хотя бы на качественном уровне результаты таких вычислений. А достижимость этого напрямую зависит и от понимания инженером принципов (а в некоторых случаях и деталей), на которых основано используемое программное обеспечение.

Имитируя стиль бесед, изложение построено таким образом, что основные сведения по каждому из рассматриваемых вопросов вложены в уста *лекторов*, вопросы задают *ученики*, а отвечают на них *знатоки*. У многих из этих персонажей имеются реальные или виртуальные прототипы, однако представлены они в книге набором условных картинок, лишь отдаленно (и то, только для автора) напоминающих реальных людей. А сами картинки беззастенчиво взяты из Интернета (спросить у кого-либо разрешение на их использование не удалось).

Благодарности

В книге используются, подчас в упрощенной форме, выдержки из ранее издававшихся работ автора, написанных им самим или в соавторстве с В.И.Сливкером, вклад которого в формирование многих идей этой книги трудно переоценить. Многие методологические приемы заимствованы из прекрасного учебного пособия А.Р. Ржаницына [5], глубокой монографии В.И. Сливкера [6], учебника А.В. Александрова, В.Д. Потапова и др. [1], фундаментального трехтомника А.П. Филина [8], из упомянутой книги В.Л. Кирпичева [4] (откуда заимствована и идея заглавия) и блестящей работы В.И. Феодосьева [7]. Всем этим великим предшественникам, которых, увы, уже нет среди нас, мой глубокий поклон и неизменная добрая память.

Во время работы над рукописью я знакомил с ней (целиком или отдельными частями) моих коллег и друзей. Их замечания и предложения были с благодарностью мною приняты. Упомяну тех из них, которые оказали наибольшее влияние — это академик РААСН, проф. Л.С. Ляхович, проф. В.Н. Гордеев, проф. О.В.Кабанцев.

Большую помощь в работе над книгой и в подготовке ее к изданию оказали мне И.Ф.Лайкона, А.А.Маляренко, Г.Э.Едигаров и другие сотрудники фирмы СКАД Софт. Весьма признателен им, и благодарю за эту товарищескую поддержку.

Литература

1. *Александров А.В. и др.* Строительная механика: В 2-х кн. Кн. 1. Статика упругих систем / В.Д. Потапов, А.В. Александров, С.Б. Косицын, Д.Б. Долотказин.— М.: Высшая школа, 2007. Кн. 2: Динамика и устойчивость упругих систем / А.В. Александров, В.Д. Потапов, В.Б. Зылев.— М.: Высшая школа, 2008.
2. *Босс В.* Интуиция и математика. — М. 2003.
3. *Пуанкаре А.* О науке. — М.: Наука, 1983.
4. *Кирпичев В.Л.* Беседы о механике / Издание 5-е.— М.-Л.: Гостехтеориздат, 1951.
5. *Ржаницын А.Р.* Строительная механика. – М.: Стройиздат, 1982.
6. *Сливкер В.И.* Строительная механика. Вариационные основы.— М.: Издательство АСВ, 2005.
7. *Феодосьев В.И.* Десять лекций-бесед по сопротивлению материалов. — М.: Наука, 1969.
8. *Филин А.П.* Прикладная механика твердого деформируемого тела. В 3-х томах. – М.: Наука, 1978.

Предисловие	3
Литература.....	8
Цикл 1. Основы статики и кинематики	9
Беседа 1.1. Немного о расчетной модели: анализ гипотез.....	11
Беседа 1.2. Основные понятия. Начало возможных перемещений.....	18

Беседа 1.3: Статические и кинематические уравнения	24
Беседа 1.4: Свойства решений	29
Беседа 1.5. Сопоставление свойств статически определимых и неопределимых систем.....	39
Беседа 1.6. Повторение — о методе сил и методе перемещений.....	46
Беседа 1.7. Предварительное напряжение системы.....	56
Беседа 1.8. Вариационные принципы.....	62
Литература.....	66
Цикл 2. Метод конечных элементов.....	68
Беседа 2.1. Идея метода конечных элементов.....	70
Беседа 2.2: Граничные условия и условия связи.....	80
Беседа 2.3: Параметры сеточного разбиения. Сходимость МКЭ.....	84
Беседа 2.4. Конечные элементы бывают разными.....	92
Беседа 2.5. Разбиение на конечные элементы.....	97
Беседа 2.6. Кое-что о расчетных моделях МКЭ.....	100
Беседа 2.7. Приемы анализа результатов расчета.....	106
Литература.....	109
Цикл 3. Нелинейные задачи статики.....	110
Беседа 3.1. Первоначальные сведения о нелинейных задачах.....	112
Беседа 3.2. Проблемы физической нелинейности.....	119
Беседа 3.3. Работа упругопластической системы при росте нагрузки..	125
Беседа 3.4. Экстремальные свойства предельного состояния текучности.....	129
Беседа 3.5. Геометрическая нелинейность.....	135
Беседа 3.6. Конструктивная нелинейность.....	145
Беседа 3.7. Генетическая нелинейность.....	153
Литература.....	158
Цикл 4. Устойчивость равновесия.....	159
Беседа 4.1. Основные понятия теории устойчивости.....	161
Беседа 4.2. Устойчивость системы с одной степенью свободы.....	167
Беседа 4.3. О роли начальных несовершенств.....	175
Беседа 4.4. Устойчивость в большом. Верхняя и нижняя критическая нагрузка.....	182
Беседа 4.5. Устойчивость систем с несколькими степенями свободы..	189
Беседа 4.6. Многопараметрическое нагружение. Теорема Папковича..	197
Беседа 4.7. Расчетные длины.....	203
Литература.....	206
Цикл 5. Основы динамического анализа.....	208
Беседа 5.1. Колебания системы с одной степенью свободы.....	210
Беседа 5.2. Кое-что о резонансе.....	221
Беседа 5.3. Уравнения движения системы с несколькими степенями свободы.....	225
Беседа 5.4. Свойства форм собственных колебаний.....	232
Беседа 5.5. Вынужденные колебания систем с конечным числом степеней свободы.....	237
Литература.....	247
Оглавление.....	250