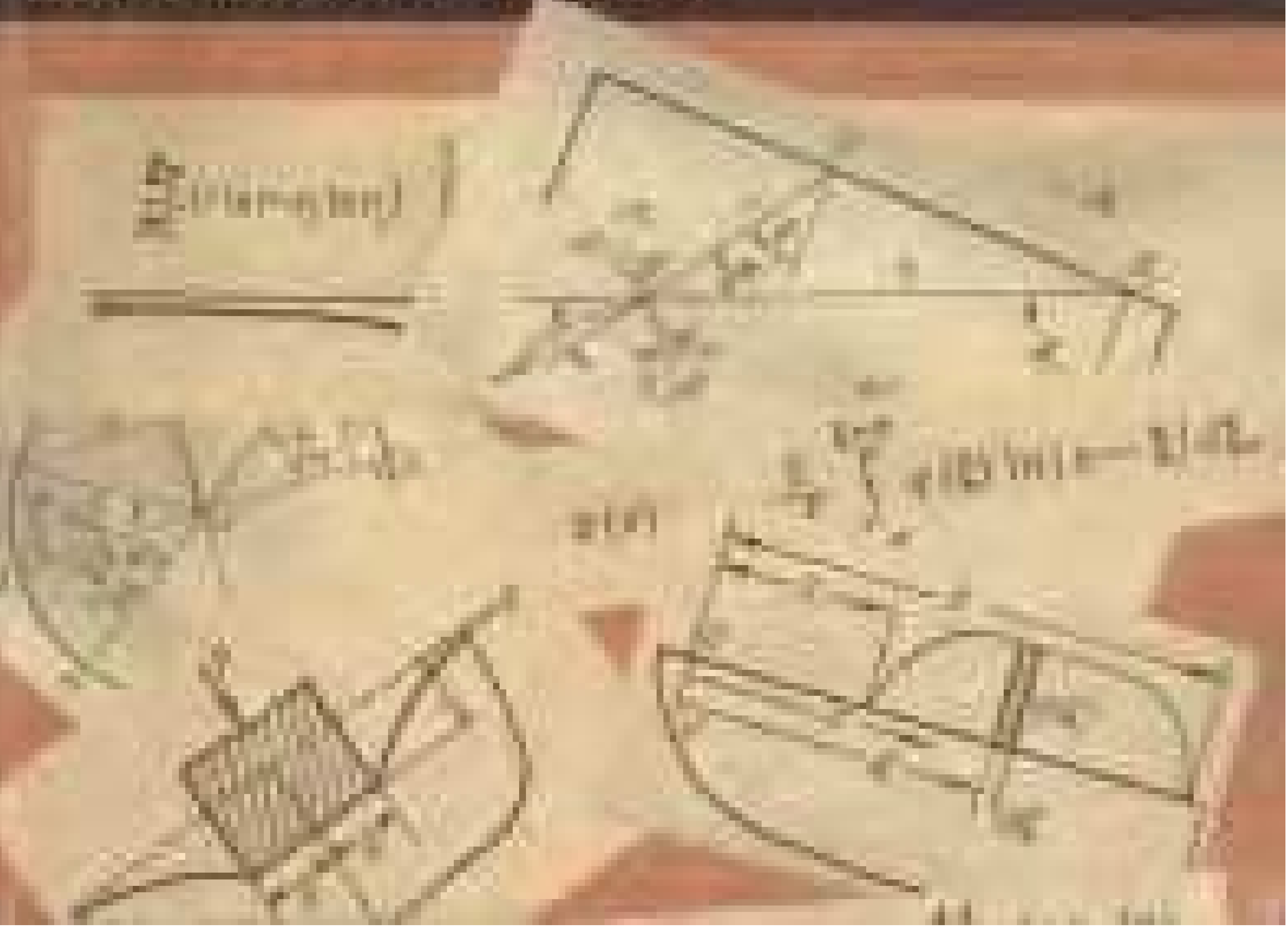
В.М. Бондаренко
В.И. Колчунов

Расчетные модели силового сопротивления железобетона



Бондаренко Виталий Михайлович,

Колчунов Владимир Иванович

Расчетные модели силового сопротивления железобетона

Издательство «АСВ»

Год 2004

УДК: 624.12.45.04

Описание.

В монографии обобщены и систематизированы состояние, теории и современные методы оценки силового сопротивления железобетона. Рассмотрены экспериментальные основы построения эффективных расчетных моделей деформирования и разрушения железобетонных конструкций. Большое внимание в книге уделено практическим приложениям разработанных моделей к исследованиям различных типов конструкций. Пособие предназначено для научных и инженерно-технических работников, научно-исследовательских, проектных и строительных организаций, а также аспирантов и студентов строительных вузов.

Количество страниц: 472

ISBN: 5-93093-279-4

Содержание

Предисловие

Окружающая человека природная среда – биота, плазма, газы, жидкости, твердые тела, различные поля, находясь в непрерывном движении и обмениваясь энергией, конфликтуя между собой и преображаясь из одного состояния в другое (режимно, наследственно и флюктуирующе), эволюционирует; испытывает многочисленные возмущения, неравномерно и даже хаотично распространяющиеся в пространстве и времени.

Исследование, формулирование и обобщение глубинных связей между различными областями знания – это процесс познания мира, начатый еще в древности, который остается и в настоящее время ключевым фактором целостного прогноза и управления судьбами человечества.

В связи с этим необходимо подчеркнуть, что если до самого последнего времени задача исследователя состояла в поиске осуществляемого за счет новых технологий компромисса между природопользованием и природосбережением, то ныне, когда масштабы необратимого разрушения человеком биосферы превысили все критические значения и экологическая катастрофа почти неотвратима, речь идет сначала только об относительной, а затем и об абсолютной минимизации потребления и загрязнения окружающей среды.

Строительная наука, являясь неотъемлемой частью науки в целом, выполняет свои, не передаваемые другим научным областям, задачи и обеспечивает ресурсо- и энергосберегающую и экологосбалансированную оптимизацию среды жизнедеятельности человека и общества. Итак, двумя составляющими строительной науки являются ресурсо- и энергосбережение и экологическая сбалансированность.

Важнейшая методическая задача исследований состоит в выявлении внутренних связей строительной науки и смежных базовых областей науки, факторов и следствий процессов и явлений и соответствующего согласования с ними полученных результатов.

Реализуя оптимизацию среды жизнедеятельности человека, строительная наука вносит свой вклад в решение экологических и социальных проблем общества.

Решение технических задач всегда предполагает привлечение и разработку моделей объектов исследования. Более того, совокупность определяющих понятий и закономерностей, по сути, скорее относится к моделям и лишь опосредованно – к реальным процессам и явлениям.

В последнее время возникают новые модели, которые развивают классические модели сред и идентифицируются со средами, имеющими микроструктуру; например, в механике твердых деформируемых тел появились различные моментные теории, учитывающие явные и неявные признаки нелокальности (ориентированные, мультиполярные, микрополярные, несимметричные среды).

Вместе с тем, термин «модель» чрезмерно перегружен, часто применяется неадекватно, даже «вульгарно». Видимо целесообразно под термином «модель» понимать разные её функции на различных этапах исследований. Нам, следуя И.И. Гольденблату, В.А. Копнову, В.Л. Бажанову [62], кажется методически правильным принять следующую понятийную иерархию: физическая модель, расчетная модель, математическая модель.

При этом физическая модель понимается, как по возможности полное описание объекта исследования в физически содержательных терминах. Очевидно, что физическая модель не может быть создана путем чисто эмпирического наблюдения обследуемого класса объектов, ибо само понимание эксперимента невозможно без аналитического осмысления и обобщений экспериментальных данных. Построение физической модели основывается на синтезе информационного множества, иногда хаотического и противоречивого, эмпирических и интуитивных соображениях, на данных смежных областей и аналогий и последующем формулировании исходных принципов и положений, часто свободных от привычных ограничений или конкурирующих с традиционными представлениями. В физическую модель должны входить без всяких упрощений все известные функциональные и прочие соотношения и связи между параметрами процесса, которые могут иметь как детерминированный, так и стохастический характер.

Однако недостаточная полнота определенности, нередко чрезвычайная сложность связей между факторами, а также трудности логической и математической интерпретации обуславливают необходимость перехода к следующей ступени исследования – к расчетной модели.

Расчетная модель, освобождаясь от второстепенных и малозначащих факторов, заменяя или восполняя недостаток первичной информации с помощью гипотез и инвариантов и тем самым упрощая физическую модель, делает ее, во-первых, инженернообозримой и, во-вторых, разрешаемой современными средствами. Однако переход от физической модели к расчетной, например с помощью линеаризации или осреднения временных процессов, необходимо делать крайне осторожно, чтобы сохранить устойчивость решений, не изменить качество описываемых процессов и обеспечить приемлемую точность получаемых результатов [68]. Чрезмерное увлечение упрощениями чаще приносит больше вреда, чем пользы.

Бесперспективность и даже ошибочность подобной линеализации в теории железобетона показаны А.А. Гвоздевым [53], а позднее подробно рассмотрены в [36, 37].

Расчетные модели обычно позволяют определить вид и структуру ожидаемых решений, при этом необходимо убедиться в сущностной адекватности выбранных моделей.

Вместе с тем, реализация расчетной модели, инженерная обозримость и значимость результатов зависят от применяемого математического аппарата. Поэтому, в конечном счете, многое зависит от принимаемой математической модели. Например, общая теория тонких оболочек Коши–Пуассона, основанная на асимптотических представлениях в рядах, отвергнута К. Кирхгофом, в виду того, что примененные ряды явно расходятся, а затем заменена другой теорией.

Математическая модель представляет собой совокупность уравнений, других соотношений, алгоритмов и их решений, наконец, программ, согласованных с возможностями имеющейся вычислительной техники. Математическая модель должна быть воспроизводимой.

Разумеется, что использование в исследованиях описанной схемы само по себе не гарантирует получения искомого результата, который зависит от таланта и удачи исследователя.

Одновременно, необходимо заметить, что далеко не все расчетные и математические модели удается свести к приемлемым для построения инженерных решений формам.

Только достаточно полное и однозначное представление объекта или процесса исследования (физическая модель) и мотивированное применение общих и специфических исходных гипотез и инвариантов (расчетная модель), используемых совместно с корректно поставленными экспериментами (особенно в части точности измерений), статистической оценкой опытных данных, построение непротиворечивых эмпирических аппроксимаций и удачная математическая реализация (математическая модель) могут привести теоретическое изучение проблемы к достоверному результату.

Если у разных исследователей при решении аналогичных задач привлекаемые гипотезы и инварианты одинаковы, а значит и расчетные модели совпадают, то и результаты будут отличаться друг от друга только значениями опытных параметров и формой представления, зависящей от используемой математической модели. Отличными такие результаты могут быть лишь в частностях.

Здесь неизбежно встает вопрос о мнимой новизне результатов, научной преемственности или добросовестности исследования.

Продолжая обсуждение взаимосвязи расчетных и математических моделей необходимо отметить, что механика сплошной среды существенно способствует развитию многих разделов математики (например, теории интегральных уравнений, теории комплексных переменных и отображений, теории подобия, теории краевых задач и др.). Как тут не вспомнить известное высказывание Лапласа о том, что знание начальных условий достаточно для восстановления прошлого и прогноза будущего.

Указанный экскурс представлен с целью подчеркнуть, что нелинейная неравновесная, в т.ч. анизотропная и режимно-наследственная постановка задач механики сплошных сред, являясь общей, включает как частную, так и внережимную и линейную теории. Эта констатация существенна для оценки значимости конкурирующих предложений, в частности для оценки эволюции и диалектики развития механики твердых деформируемых тел и др., включая такие научно-строительные проблемы, как проблемы силового сопротивления, износа, повреждений, эксплутационной пригодности, надежности и конструктивной безопасности зданий и сооружений и т.п.

Авторы благодарны доктору технических наук, профессору Андрею Ивановичу Звездову и доктору технических наук, профессору Владилену Павловичу Чиркову за советы и рекомендации, которые использованы при редактировании рукописи пособия.

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Позиция и обзор

Механика твердого деформируемого тела, как часть механики сплошной среды, является базой для теории силового сопротивления сооружений и, в частности, таких ее разделов как строительная механика, включая сопротивление материалов, теорию упругости, теорию пластичности, теорию ползучести, механику горных пород и грунтов, механику разрушения материала, расчета строительных конструкций, оснований и фундаментов. Естественно, что в механике твердого деформируемого тела, как и в согласующихся с ней перечисленных дисциплинах, используются некоторые общие исходные позиции, например:

– понятие о «малости» элементарного объема тела по сравнению с генеральными размерами;

– гипотеза о сплошности, используемая часто в виде условия о совместности деформации компонентов композиционных материалов (заметим, что в сыпучих средах, когда нет сил сцепления, возможно образование разрывов сплошности без изменения внутренней энергии);

– постулат о суперпозиции состояний, перенесенный из квантовой механики (Е. Шредингер), вводимый в виде предпосылки о «равнодоступности» Фрама–Каминского, заимствованный из физхимии, или в виде гипотезы о взаимонезависимости частных деформаций (С.Е. Фрайфельд, В.М. Бондаренко);

– принцип суперпозиции для деформации ползучести (В. Больцман–Б. Персоц);

– энтропийная постановка Гульдберга–Вааге для процессов, протекающих во времени при отсутствии внешних возмущений;

– закон сохранения энергии для тел конечных размеров с надежной энергетической изоляцией.

Кроме того, при решении прикладных задач инженерных дисциплин используются инварианты, вытекающие непосредственно из опытов или из следующих за ними обобщений. К таким инвариантам, например, относятся:

– применяемые повсеместно инварианты аффинноподобия;

– энергетические инварианты теории прочности, в частности о постоянстве потенциальной энергии разрушения материала вне зависимости от режима нагружения М. Рейнера;

– о независимости площади петли гистерезиса от частоты при стационарных колебаниях тел Н.Н. Давиденкова.

Аналогично, можно проследить преемственную связь между теорией разрушения физики твердого тела и инженерными прогнозами прочности материалов, несущей способности конструкций.

Система собственно разрешающих уравнений для расчетно-конструкторских дисциплин содержит силовые условия равновесия; геометрические условия деформирования, в том числе их возможные изменения во времени и по мере трансформации напряженно-деформированного состояния; уравнения связи напряжений, деформаций и времени, которые могут отражать влияние старения, износа, повреждений материалов; граничные условия – их качество, распределение в пространстве, изменчивость во времени.

Далее, инженерная оценка результатов расчета конструкций и сооружений осуществляется сравнением результатов решения с допустимыми (или предельными) характеристиками движения (перемещениями, скоростями, ускорениями, частотами); прочности, работоспособности и данными энергосопротивления.

Речь идет о надежности и эксплуатационной пригодности конструкций и сооружений.

Здесь очерчены рамки области, внутри которой возможно множество сочетаний, вариантов, детализация и упрощение, вытекающие из опытных или инженерных реалий, обслуживающих конкретные интересы практики и удовлетворяющие различные требования по точности и достоверности оценок и прогнозов. Указанные рамки могут быть расширены включением смежных разделов механики сплошной, а также физической химии и др.

Решения перечисленных задач, как и другие задачи, отмеченные выше, осуществляются строителями на базе отраслей фундаментальной науки и с помощью собственных научных исследований.

Данное пособие можно считать альтернативой монографии Н.И. Карпенко «Общие модели механики железобетона» [105] применительно к так называемому внережимному нагружению.

В качестве иллюстрации к вопросу о режимном наследственном деформировании вводится лишь пункт 3.4.

Отличительной особенностью силового сопротивления железобетона, составляющих его компонентов и их совместного функционирования, помимо анизотропии и необратимости, является режимно-наследственная специфика нелинейного неравновесного деформирования. Игнорирование этого факта неизбежно приводит к качественным потерям и количественным ошибкам. Одновременно с этим известно, что имеющиеся решения физики и термодинамики твердого тела, как и существующая пружинно-поршневая имитация механизма деформирования таких тел, не позволяют применительно к бетону и железобетону количественно удовлетворительно прогнозировать их силовое сопротивление. Поэтому современные научные и расчетно-конструкторские разработки, согласовываясь с фундаментальными положениями механики, физики и термодинамики, развиваются в феноменологическом направлении. Последнее реализуется как в традиционных интегральных моделях железобетона с использованием преимуществ вычислительной техники, так и в дискретных моделях, следующих за сетевыми методами механики твердого деформируемого тела. Объективно по содержанию и хронологически во времени дискретные модели наследственны по отношению к интегральным моделям.

Логической базой феноменологических методов являются опытно-статистическая оценка факторов и следствий процессов деформирования и разрушения материалов и конструкций, выявление и анализ существующих качественных и количественных связей между ними, обобщение полученных результатов с последующим формулированием системы гипотез и инвариантов, достаточной для построения прикладной теории и предопределяющей структуру решения задач [39]. Все экспериментальные исследования, посвященные силовому деформированию бетона, рассматривают раздельно мгновенные деформации и деформации ползучести; в этом, по сути, реализуется, предпосылка о взаимонезависимости и сложении частных деформаций [1, 37, 64, 220]. Обработка экспериментальных данных осуществляется в рамках инварианта С.В. Александровского–В.Д. Харлаба

$$\frac{\dfrac{1}{E_0^M(t_0)}-\dfrac{1}{E_0^M(t_0)}}{C_0^*(t,t_0)-C_0(t,t_0)}=1, \tag{1.1}$$

где E_0^M – модуль мгновенной деформации;

C_0 – мера простой ползучести без учета влияния старения бетона;

C_0^* – мера простой ползучести стареющего бетона;

t_0, t – начало нагружения, время.

Одновременно, в связи с экспериментально-феноменологической сущностью методики изучения и с учетом режимно-наследственного характера деформирования бетона во времени, особое значение приобретают выбор эталонных режимов силового нагружения и построение адекватных соотношений для напряжений, деформаций и времени, а также поиск, формулирование и оценка связей между эмпирическими эталонными записями и уравнениями ползучести при других возможных режимах нагружения [54, 280].

Большинство теорий силового деформирования бетона в качестве эталонного режима принимают неизменные во времени напряжения:

$$\sigma = const \qquad \frac{d\sigma}{dt}=0 \tag{1.2}$$

Заметим, что деформации ползучести, соответствующие эталонному режиму называются деформациями простой ползучести. Кривые ползучести, соответствующие неизменным во времени различным напряжениям для однородного напряженно-деформированного состояния образцов и так называемые изохроны σ–ε, соответствующие разным фиксированным моментам времени, приведены на рис. 1.1.

В области линейного деформирования:

$$\frac{\varepsilon_{ni}(\sigma_i,t_0,t)}{\varepsilon_{nk}(\sigma_k,t_0,t)}=\frac{\sigma_i}{\sigma_k}. \tag{1.3}$$