

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА И МЕТОДОВ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

УДК 624.012.4

МОДЕЛИ ПРИ РЕШЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

В. М. Бондаренко, В. С. Федоров***

** Московская государственная академия коммунального хозяйства
и строительства (Россия)*

*** Московский государственный университет путей сообщения (Россия)*

В работе приведены развернутые определения физической, расчетной и математической моделей. На примере совершенствования этих моделей с целью приближения к реальному процессу исследования показана преемственная связь между теорией разрушения твердого тела и исследованиями прочности строительных материалов и несущей способностью конструкций.

Ключевые слова: физические, расчетные, математические модели, гипотезы, инварианты.

The article develops the definitions of physical, rated and mathematical models. Authors designed possibilities of perfection of these models with objective of approximation to actual process of research. Also the show the successive communication between the theory of destruction of a firm body and basic researches of strength of building materials and bearing capacity of designs.

Key words: physical, rated, mathematical models, hypotheses, invariants.

Процесс познания мира, начатый еще в древности и остающийся и в настоящее время ключевым фактором развития человека и общества, представляет собой исследование, формулирование и обобщение глубинных связей между различными областями знаний.

Строительная наука, являясь неотъемлемой частью науки в целом, выполняет свои, не передаваемые другим научным областям, задачи механической безопасности и энергоэффективности зданий и сооружений, обеспечивает ресурсоэнергосберегающую и экологосбалансированную оптимизацию среды жизнедеятельности человека и общества. Решение технических задач всегда предполагает привлечение и разработку моделей исследования. Более того, совокупность известных 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. Вместе с тем, термин «модель» чрезмерно перегружен, часто применяется неадекватно, даже «вульгарно». Зачастую в диссертационных работах в него вкладывается совершенно различное содержание, а при построении модели не учитываются этапы исследования процесса. Вместе с тем, проблема создания моделей имеет фундаментальное значение для теории строительных конструкций. По нашему мнению, следуя И. И. Гольденблату, В. А. Копнову, В. Л. Бажанову [1], методически правильным принять следующую понятийную иерархию: физическая модель, расчетная модель, математическая модель.

Необходимо иметь в виду, что поведение сложных систем может быть представлено как интегральный результат работы их отдельных компонентов, поэтому здесь весьма уместна определенная дискретизация общей расчетной схемы и разделение ее на несколько иерархических уровней. Например, для несущих систем здания принято различать, по крайней мере, четыре основных уровня – материал, элемент (сечение), конструкция и, наконец, несущая система в целом [2]. Заметим, что при строгом системном подходе уровень «работа материала» не является элементарным, и поведение материала следует моделировать на основе анализа накопления повреждений в его структуре [3], что предполагает рассмотрение еще одного или нескольких «структурных» уровней. Достоверность расчетного моделирования поведения сложной системы зависит от адекватности расчетных и физических моделей, принятых для каждого иерархического уровня, действительному характеру работы компонентов системы, и этому во многом способствует четкое и обоснованное формулирование принятых исходных предпосылок и упрощающих гипотез.

Ниже формулируются по возможности развернутые определения употребляемых в этой области понятий, которые иллюстрируются рядом примеров.

Под **физической моделью** понимается 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 обобщения экспериментальных данных. Построение физической модели основывается на синтезе информационного множества, иногда хаотического и противоречивого, эмпирических и интуитивных соображениях, на данных смежных областей знаний и последующем формулировании фундаментальных принципов и положений, часто свободных от привычных ограничений или конкурирующих с традиционными представлениями, но в которых отражалось бы существо изучаемых процессов.

В физическую модель должны входить без всяких упрощений все известные функциональные и прочие соотношения и связи между парамет-

рами процесса, которые могут иметь как детерминированный, так и стохастический характер.

В реальных физических системах или устройствах мы обычно встречаемся не с одним каким-либо классом явлений или процессов, уже хорошо изученных современной наукой. Наоборот, мы обычно имеем дело с взаимодействием различных классов явлений и процессов, а также с новыми, еще недостаточно изученными явлениями, наряду с неполнотой и неопределенностью исходной информации. Нередко наблюдается чрезвычайная сложность связей между факторами, трудности логической и математической интерпретации. В результате всего этого физические модели реальных объектов оказываются обычно весьма сложными и не вполне определенными, что сильно осложняет (или делает невозможным) их анализ. Все это приводит к необходимости освободиться от второстепенных и малозначащих факторов, которые в заданных условиях и границах не оказывают заметного влияния на ход процесса.

Такой недостаток первичной информации, а также недостаточно изученные связи или параметры системы могут восполняться и заменяться с помощью предпосылок, гипотез и инвариантов.

Преобразование физической модели с помощью **мотивированного принятия предпосылок, гипотез и инвариантов** обуславливает переход к следующей ступени исследования – к **расчетной модели**, делает ее, во-первых, инженерно-обозримой и, во-вторых, разрешаемой современными средствами.

Однако необходимо помнить, что переход от физической модели к расчетной, например, с помощью линеаризации, необходимо делать крайне осторожно с научно обоснованным анализом накопленных экспериментов, чтобы сохранить устойчивость решений, не изменить качество описываемых процессов и обеспечить приемлемую точность получаемых результатов. Бесперспективность и даже ошибочность подобной линеаризации, например, в теории железобетона показаны А. А. Гвоздевым [4].

Расчетные модели обычно позволяют определить вид и структуру ожидаемых решений, при этом необходимо убедиться в существенной адекватности выбранных моделей. Очень часто характерной особенностью расчетной модели является введение некоторых функционалов от изучаемых процессов, экстремальные значения которых служат показателями оптимальности или эффективности рассматриваемого процесса.

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, ввиду того, что примененные ряды явно расходятся, а затем заменена другой теорией.

Математическая модель представляет собой совокупность уравнений, других соотношений, приведенные в расчетной модели, алгоритмы их решений, а также составленные на их основе программы, согласованные с возможностями имеющейся вычислительной техники. Математическая модель должна быть воспроизводимой, алгоритмы для решений уравнений должны быть по возможности простыми, но не в ущерб необходимой точности, должны допускать их применение при различных граничных условиях, разнообразном характере внешних воздействий и т. д.

Одновременно необходимо заметить, что далеко не все расчетные и математические модели удастся свести к приемлемым для построения инженерных решений формам. Только достаточно полное и однозначное представление объекта или процесса исследования (физическая модель), мотивированное применение общих и специфических исходных гипотез и инвариантов (расчетная модель), обоснованные результатами корректно поставленных экспериментов (особенно в части точности измерений), статистической оценкой опытных данных, построением непротиворечивых эмпирических аппроксимаций и удачная математическая реализация (математическая модель), может привести теоретическое исследование проблемы или задачи к достоверному результату.

Как правило, совершенствование моделей любой системы следует рассматривать как процесс их постепенного обогащения и уточнения по мере накопления знаний и повышения точности описания реальных особенностей изучаемого процесса.

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 физической химии, или в виде гипотезы о взаимонезависимости частных деформаций (С. Е. Фрайфельд);

- принцип суперпозиции для деформации ползучести (В. Больцман, Б. Персоц);
- энтропийная постановка 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.

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 строительной практики и удовлетворяющие различные требования по точности и достоверности оценок и прогнозов. Указанные рамки могут быть расширены включением смежных разделов механики сплошной среды, а также физической химии и др. Однако решения перечисленных задач, как и другие задачи, отмеченные выше, определяются фундаментальными исследованиями строительной науки и с помощью собственных научных исследований.

Например, отличительной особенностью силового сопротивления железобетона, составляющих его компонентов и их совместного функционирования, помимо анизотропии и необратимости, являются режимно-наследственная специфика нелинейного неравновесного деформирования в эксплуатационных условиях [5] и нелинейное равновесное деформирование бетона при кратковременном высокотемпературном нагреве (наблюдаемые деформации образцов не зависят от температурного режима нагрева при изменении температуры в пределах (0,10...15,0 °С/мин)) [6].

Игнорирование этих фактов 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.

Таким образом, логической базой феноменологических методов исследования являются опытно-статистическая оценка факторов и следствий рассматриваемых процессов и явлений, анализ существующих качественных и количественных связей между ними, обобщение полученных результатов с последующим формулированием системы гипотез и инвариантов, все это определяет построение прикладной теории и структуру решения проблемы.

Список литературы

1. Гольденблат Н. Н., Бажанов В. Л., Копнов В. А. Длительная прочность в машиностроении. – М. : Машиностроение, 1977. – 248 с.
2. Элементы теории реконструкции железобетона / В. М. Бондаренко, А. В. Боровских, С. В. Марков, В. И. Римшин ; под общ. ред. В. М. Бондаренко. – Н. Новгород : Нижегородский гос. арх.-строит. ун-т, 2002. – 190 с.
3. Карпенко Н. И. Общие модели механики железобетона. – М. : Стройиздат, 1996. – 416 с.
4. Гвоздев А. А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. – М. : Стройиздат, 1949.
5. Бондаренко В. М., Колчунов Вл. И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона : монография. – М. : Изд-во АСВ, 2004. – 472 с.
6. Федоров В. С., Левитский В. Е., Молчадский И. С., Александров А. В. Огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций. – М. : АСВ, 2009. – 408 с.