

ПРИНЦИПЫ И ПРАВИЛА МОДЕЛИРОВАНИЯ

ПЕРЕХОД ОТ СИСТЕМЫ К МОДЕЛИ

В зависимости от того, какие сведения преобладают в описании моделируемой системы, различают модели функционирующих и проектируемых систем. В первом случае

структура систем мало изучена и зачастую может считаться неизвестной, но поведение системы при заданных внешних воздействиях доступно для экспериментального исследования. Используемые здесь методы моделирования хорошо освещены в литературе и могут считаться традиционными. Во втором случае известна предполагаемая структура проектируемой системы и данные о функционировании ее отдельных элементов, но отсутствуют данные о функционировании системы в целом.

Во многих случаях для получения математической модели нужны подробные сведения или значительные экспериментальные возможности, которых может и не быть, и приходится прибегать к эмпирической модели. Конечно, точная математическая и чисто имитационная модели представляют собой две крайности. Обычно используемые модели занимают промежуточное положение. В частности, можно использовать неполные теоретические представления для указания подходящего класса математических функций, которые могут быть после эмпирически подогнаны. Это означает, что число параметров модели и их численные значения оцениваются по экспериментальным данным.

В завершении данного параграфа рассмотрим так называемый итеративный подход к построению моделей (рис. 2.1).

Из взаимодействия теории и практики выбирается класс моделей (для достижения поставленной цели).

Так как этот класс слишком обширен для непосредственной подгонки к данным, развиваются грубые методы идентификации подклассов этих моделей. Такие методы идентификации используют имеющиеся данные и знание

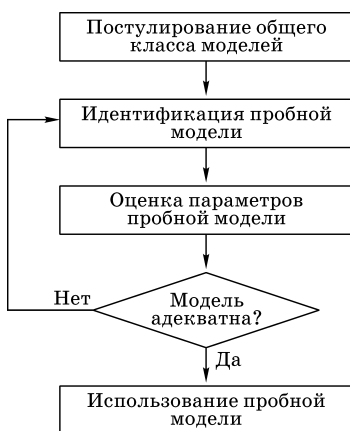


Рис. 2.1
Итеративное построение модели

системы и дают для опробования соответствующие экономические подклассы моделей. Кроме того, процесс идентификации может быть использован для получения грубых предварительных оценок параметров модели.

Пробная модель подгоняется к данным, оцениваются ее параметры. Грубые оценки, получаемые на этапе идентификации, можно использовать как начальные значения в более точных методах оценки параметров.

Диагностические проверки позволяют выявить возможные дефекты подгонки и диагностировать их причины. Если такие дефекты не выявлены, модель готова к использованию. Если обнаружено какое-либо несоответствие, итеративные циклы идентификации, оценок и диагностические проверки повторяются до тех пор, пока не будет найдено подходящее представление модели.

ПРИНЦИПЫ И ПРАВИЛА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Обсуждаемые в дальнейшем эвристические приемы построения моделей можно условно разделить на принципы и правила.

Принципы (π) определяют общие свойства, которым должна обладать построенная модель.

Правила (ρ) дают способы получения нужных свойств модели.

Рассматриваемые порознь, принципы и правила могут показаться очевидными. Однако список правил полезен в качестве памятки даже для опытного проектировщика, а система из нескольких принципов и правил зачастую оказывается совсем не тривиальной.

Перечислены основные принципы построения модели.

(π -1) — *компромисс между ожидаемой точностью (надежностью) результатов моделирования и сложностью модели.*

(π -2) — *баланс мощностей, т. е.:*

(π -2-а) — *соразмерность систематической погрешности моделирования (отклонения модели от описания системы)*

с погрешностью в задании параметров описания (исходная неопределенность);

(π -2-б) — соответствие точностей отдельных элементов модели;

(π -2-в) — соответствие систематической погрешности моделирования и случайной погрешности при интерпретации и усреднении результатов моделирования.

Сложность модели, фигурирующая в первом принципе, характеризуется, в конечном счете, временем и стоимостью конструирования модели и экспериментирования с ней. При моделировании на компьютере сложность явно выражается через требуемое быстроедействие и оперативную память машины и между этими параметрами также существует разумный компромисс.

Устанавливая баланс точности в соответствии с принципом (π -2), необходимо помнить, что при сравнительном исследовании вариантов системы достигается уменьшение случайных погрешностей и компенсация неточностей при задании параметров описания. Отсюда вытекает правило:

(ρ -1) — *поиск возможности параллельного моделирования конкурирующих вариантов проектируемой системы с оценкой разности или отношения соответствующих показателей.*

Хотя принципы (π -1) и (π -2) естественно следуют из опыта проектирования, теоретически не вызывают изменения и поэтому могут считаться почти тривиальными, многие ошибки и неудачи практики моделирования являются прямым следствием нарушения этих принципов (в частности, излишнего усложнения моделей). Поэтому оказывается правомерным непосредственное использование принципов (π -1) и (π -2) в качестве грубых критериев правильности составления модели. Вместе с тем эти принципы оказывают косвенное влияние на процесс построения модели, стимулируя формирование других принципов и правил.

Практическая реализация принципов (π -1) и (π -2) возможна лишь при наличии гибкой управляемой системы элементов модели, позволяющей создать достаточное разнообразие вариантов модели, на которых ищется компро-

мисс или ведется выравнивание точностей. Это требование постулируется как принцип:

(п-3) — *достаточное разнообразие элементов модели.*

Следующий принцип отражает тот факт, что построение модели есть творческая задача, решаемая человеком:

(п-4) — *наглядность модели для исследования и для потребителя-заказчика.*

Здесь фиксируется спорное с терминологических позиций, но психологически совершенно естественное свойство модели. Работа с наглядными, т. е. привычными для исследователя (или коллектива) и заказчика представлениями, предупреждает ошибки и позволяет использовать различные ассоциации при трактовке результатов исследования.

Принцип наглядности определяет наше отношение к эвристическим правилам. Отказываясь от трактовки этих правил как элементов машинной эвристической программы, заменяющей человеческую деятельность, мы будем считать их скорее средством «предварительной настройки» мышления специалиста (или коллектива специалистов), строящего модель.

(п-5) — *блочное представление модели.*

Предположим, что нами построена полная модель μ_w , отражающая все, содержащиеся в описании ω , сведения о системе. В соответствии с принципом (п-5) для упрощения этой модели необходимо:

- находить группы тесно связанных элементов модели μ_w (блоки), в частности блоки, допускающие аналитическое экспериментальное исследование, блоки, ранее исследовавшиеся методом моделирования или удобные для автономного (частичного) моделирования;
- принимать решение о существенности или несущественности каждого блока для данной задачи и в соответствии с этим сохранить структуру описания в пределах этого блока, заменять ее упрощенным эквивалентом или удалять блок из модели.

Разделение на блоки неоднозначно и зависит от того, какие части системы ранее анализировались автономно, от имеющихся стандартных программ, от традиций иссле-

дователя и т. п. Однако при прочих равных условиях здесь следует соблюдать правило:

(р-2) — обмен информацией между блоками должен быть по возможности минимальным.

Упрощение блочной структуры регламентируется несколькими эвристическими правилами.

При решении вопроса о допустимости удаления блока без замены его эквивалентом полезно правило:

(р-3) — несущественными и подлежащими удалению считаются блоки модели, мало влияющие на принятый критерий интерпретации результатов моделирования.

Правила замены блоков упрощенными эквивалентами разделяются в зависимости от характера взаимодействия этих блоков с оставшейся частью системы.

(р-4) — удаление окончных блоков, составляющих описание взаимодействующего с моделируемой системой «потребителя» при формировании критерия интерпретации результатов моделирования.

Рассмотрим теперь способы замены блока, осуществляющего «воздействие» на исследуемую часть системы. Вообще говоря, это воздействие зависит не только от структуры блока, но и от реакции со стороны исследуемой части. Поэтому характеристики воздействия в общем случае нельзя однозначно определить при автономном исследовании блока и блок нельзя заменить одним, независимым от исследуемой части, эквивалентом. В том случае поведение исследуемой части следует изучать во всем этом диапазоне, что приведет к многократному моделированию при различных значениях параметров воздействия в пределах диапазона.

(р-5) — блок модели μ_w , осуществляющий воздействие на исследуемую часть системы, в общем случае можно заменить множеством упрощенных эквивалентов, не зависящих от исследуемой части. Каждый эквивалент формирует одно из возможных воздействий в пределах заданного диапазона, а моделирование проводится в нескольких (по числу воздействий) вариантах.

Переход к множеству раздельно исследуемых моделей ведет к большим затратам машинного времени.

(р-6) — *при упрощении блока, воздействующего на моделирующую часть системы, следует сопоставить возможности:*

- прямого упрощения замкнутого контура, образуемого этим блоком и исследуемой частью системы, без разрыва обратной связи;
- построения вероятностного эквивалента с оценкой его статистических характеристик путем автономного исследования упрощаемого блока;
- замены блока наихудшим, по отношению к исследуемой части системы, воздействием.

При отсутствии этих возможностей следует пользоваться более общим правилом (р-5).

Введем еще несколько правил и принципов моделирования не нуждающихся в особых пояснениях:

(п-6) — *специализация моделей, постулирующая:*

- целесообразность использования набора малых условных моделей, предназначенных для анализа функционирования системы в узком диапазоне;
- возможность неформального суждения о системе в целом по совокупности частных показателей, полученных на условных моделях.

(р-7) — *для проверки соответствия модели μ полной модели μ_w следует попытаться построить условные модели μ_i , $i = 1, 2, \dots, n$, эквивалентные в типовых для проектируемой системы ситуациях, и выполнить сравнительное исследование μ_i и μ в этих ситуациях.* Близость полученных результатов считается основанием для суждения о близости μ_w и μ в соответствующих ситуациях.

(р-8) — *проверку соответствия модели μ и полной модели μ_w следует вести по сходимости результатов, получаемых на моделях возрастающей сложности.*

(р-9) — *расчет допусков выполняется по наиболее простой модели, включающей все неточные параметры описания.*

Иерархическая структура сформированных выше рекомендаций задает скелет неформальных («правдоподобных») рассуждений, выполняемых при построении модели.

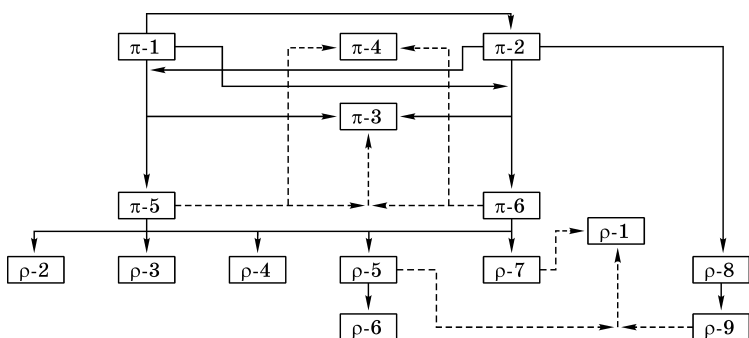


Рис. 2.2
Взаимосвязь принципов и правил моделирования

В случае, если сходная с моделируемой системой ω , система ω' находится в эксплуатации, контроль точности моделирования облегчается. Вместо процента последовательного усложнения модели μ (правило (ρ -8)), сходимость которого не гарантируется, можно использовать, например, проверку сходной модели μ' по отдельным экспериментальным точкам (правило (ρ -7)).

На рисунке 2.2 приведена общая схема рассуждений. Сплошная стрелка соединяет более общие принципы или правила с частными, его реализующими. Пунктирная стрелка означает возможность использования принципа или правила, на которые она направлена, при реализации другого принципа или правила.