

## Методы построения ММ технологических объектов

В процессе преобразования наших знаний о технологической системе в ее математическую модель мы должны определить: назначение модели; какие компоненты системы должны быть включены в состав модели; переменные и параметры, относящиеся к этим компонентам; функциональные соотношения  $F$ ,  $f$  между компонентами, параметрами и переменными.

Побочным результатом этой фазы общей ориентировки явится определение точной цели или назначения данной программы компьютерного моделирования. Вычислительные эксперименты проводятся с весьма разнообразными целями, в числе которых могут быть: оценка – определение, насколько хорошо технологическая система предлагаемой структуры будет соответствовать некоторым критериям; сравнение – сопоставление конкурирующих технологических систем; прогноз – оценка поведения системы при некотором предполагаемом сочетании рабочих условий; анализ чувствительности – выявление из большого числа действующих факторов тех, которые в наибольшей степени оказывают влияние на функционирование технологической системы; оптимизация – определение условий осуществления (режимов функционирования) технологических процессов в объекте или конструктивных параметров технологического объекта, при которых заданный критерий достигает экстремального значения.

Этот список никак нельзя считать исчерпывающим: в нем просто перечислены некоторые наиболее распространенные цели компьютерного моделирования. Четкое определение назначения модели оказывает существенное влияние на весь процесс ее конструирования и экспериментальной проверки.

После того как мы определили (по меньшей мер качественно) конкретную цель, для которой понадобилось создание модели, наступает этап определения необходимого состава компонентов модели. После составления полного списка компонентов для каждого из них решается вопрос, следует ли включить его в состав модели. Но сделать это трудно, поскольку на данном этапе разработки модели не всегда ясно, насколько важен тот или иной компонент для достижения общей цели моделирования. При этом необходимо уточнить: следует ли включить данный компонент в состав модели или же в состав окружающей среды?

Назначение компонентов системы состоит в том, чтобы преобразовывать входные сигналы в выходные. Имеются три разных вида компонентов, составляющих основные функциональные блоки сложных систем: 1) элементы преобразования, в которых один или несколько входных сигналов, будучи обработанными некоторым наперед заданным образом, преобразуются в один или несколько выходных сигналов; 2) элементы сортировки, в которых один или несколько входных сигналов распределяются (сортируются) по двум или нескольким разным выходам; 3) элементы обратной связи, в которых входной сигнал некоторым образом меняется в зависимости от входного сигнала.

При решении вопроса о том, какие компоненты надо включить, а какие исключить, важным соображением является число переменных, которое необходимо включить в модель. Определить число выходных переменных, как правило, не трудно, если хорошо проработан вопрос о целях и назначении исследования. Трудности возникают при определении, какие входные переменные и переменные состояния вызывают наблюдаемые эффекты и какими из этих переменных необходимо манипулировать, чтобы получить желаемые эффекты. К тому же здесь мы сталкиваемся с противоречием: с одной стороны, мы стремимся сделать модель как можно проще, чтобы облегчить ее понимание, упростить задачу ее конструирования и повысить эффективность компьютерного моделирования; с другой стороны, мы хотим получить как можно более точную модель. Следовательно, реальную технологическую систему необходимо упрощать до тех пор, пока это не приводит к существенной потере точности.

Коль скоро решено, какие компоненты и переменные мы включаем в нашу модель, необходимо далее определить функциональные связи между ними, а также значения используемых параметров. Здесь перед нами снова встают труднопреодолимые проблемы. Во-первых, может быть трудно (а то и просто невозможно) количественно определить или

измерить некоторые переменные, важные для поведения технологической системы. Во-вторых, соотношения между компонентами и переменными могут быть неопределенными. В-третьих, необходимая нам информация и числовые данные могут либо отсутствовать, либо быть в непригодном для использования виде. Все эти обстоятельства более подробно мы рассмотрим в следующих разделах пособия.

По методу составления уравнений (функциональных зависимостей  $F, f$ ) ММ их можно подразделить на формальные (эмпирические, регрессионные) и неформальные (аналитические). При построении эмпирических (регрессионных) ММ структура функциональных зависимостей  $F, f$  задается на основе некоторых формальных соображений, не имеющих связи с типом технологического объекта, его конструктивными особенностями, механизмами протекающих процессов. Задание  $F, f$  в формальных ММ производится с учетом удобства последующего использования уравнений или простоты определения вектора  $a$  по экспериментальным данным. Под удобством использования ММ понимается возможность получения аналитического решения  $y(x, a)$  или экономичного нахождения приближенного решения на ЭВМ.

Следует отметить, что формальные ММ применяют для описания стационарных и нестационарных объектов только с сосредоточенными координатами. При этом модели динамики всегда выбираются линейными, а уравнения статики задаются в таком виде, чтобы решение  $y(x, a)$  было линейным по  $a$ .

Для составления таких моделей не требуется глубокого изучения объектов; необходимая точность описания достигается увеличением размерности вектора  $a$ .

При построении неформальных (аналитических) ММ функции  $F, f$  выводятся на основе теоретического анализа физико-химических процессов, происходящих в технологическом объекте.

При выводе уравнений ММ технологических объектов учитывают: гидродинамические режимы перемещения веществ; скорости химических превращений, диффузии, передачи тепла, хемосорбции и т.д.; уравнения материального и энергетического (теплового) баланса; уравнения фазовых превращений и др. В функции  $F, f$  входят (в явной или косвенной форме) основные конструктивные размеры аппарата (поверхность теплообмена, диаметры и длины труб реакторов, объемы и число реакторов смешения и т.п.). Чем детальнее и полнее неформальная ММ, тем сложнее структура  $F, f$  и выше размерность вектора  $a$ , компонентами которого являются параметры уравнений кинетики (константы скоростей, энергии активации, коэффициенты тепло- и массоотдачи, диффузии и т.п.) и характеристики веществ (теплоемкости, плотности и т.д.).

В процессе вывода уравнений ММ приходится применять ряд допущений, например, об (не)учете некоторых физико-химических процессов, протекающих в технологическом объекте. Вследствие этого составлению ММ предшествует трудоемкий этап экспериментального исследования этих процессов на лабораторных установках с целью определения уравнений кинетики и оценки значимости скоростей этих процессов. В зависимости от принимаемых допущений ММ одного и того же технологического объекта могут иметь существенно различный вид. Тем более могут различаться структуры функций  $F, f$  неформальных ММ объектов разного типа.

Неформальные ММ технологических объектов, как правило, нелинейны, нахождение их приближенных решений  $y(x, a, \xi)$  обычно осуществляется численными методами на ЭВМ. Решения  $y(x, a, \xi)$  чаще всего нелинейны по  $a$ , что значительно затрудняет определение параметра по экспериментальным данным. Эти обстоятельства, а так же большая трудоемкость лабораторных исследований процессов и вывода уравнений, сдерживают использование неформальных ММ.

Неформальные ММ технологических объектов содержат разнообразную и обширную информацию о конструкциях объектов, механизмах и скоростях протекающих в них физико-химических процессов. Это позволяет использовать неформальные ММ для исследования на ЭВМ технологических объектов, оптимизации режимов их работы, оптимального проектирования объектов, оптимального управления ими.

В зависимости от способа построения  $F, f$  и определения вектора параметров  $a$  можно указать три метода построения ММ технологических объектов (рис. 1.2): экспериментальный, аналитический и комбинированный [5].

При экспериментальном методе построения формальных ММ параметры  $a$  определяются по опытным данным  $y^3, x^3$ , полученным на действующем объекте.

Построенные этим методом ММ (будем называть их экспериментальными) не нуждаются в проверке на адекватность, но они справедливы только для того объекта, на котором проводились опыты.

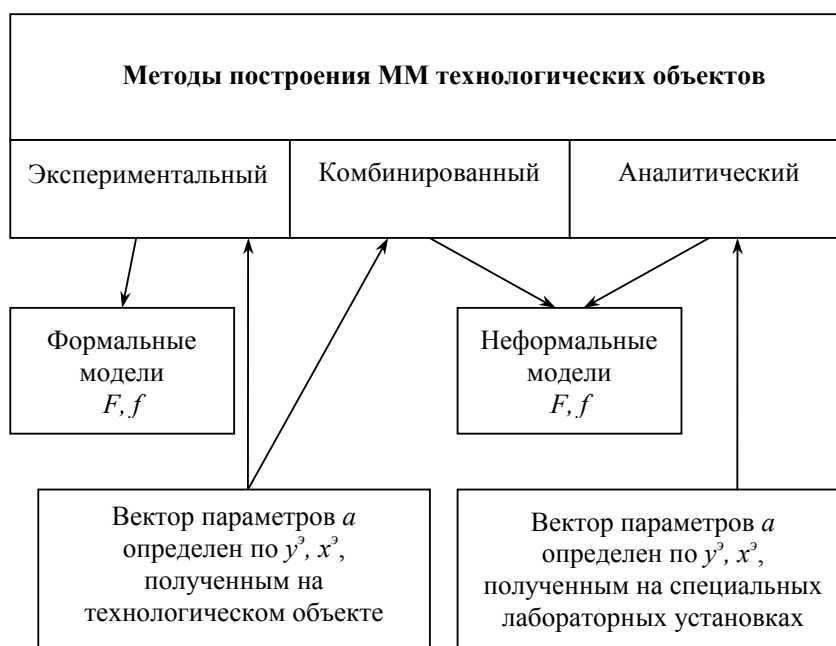


Рис. 1.2 – Схема классификации методов построения ММ

Аналитический метод построения ММ заключается в теоретическом расчете или определении параметра  $a$  неформальных уравнений статики и динамики по опытным данным  $y^3, x^3$ , которые получены при исследовании отдельных физико-химических процессов, происходящих в объекте, на лабораторных установках. В аналитических ММ параметр  $a$  имеет отчетливую физическую трактовку и представляет собой самостоятельную ценность, так как может быть использован в других задачах. Поэтому к задаче определения вектора параметра  $a$  предъявляются следующие требования: единственности  $a$ , устойчивости  $a$  к ошибкам измерения  $y^3$  и расчета; адекватности ММ объекту.

Комбинированный (экспериментально-аналитический) метод построения ММ заключается в нахождении параметра  $a$  неформальных уравнений статики и динамики по сигналам  $y^3, x^3$ , полученным на действующем объекте. Модели полученные таким методом, назовем комбинированными. Параметр  $a$  в таких ММ имеет физическую трактовку, поэтому к задаче определения вектора  $a$  предъявляются те же требования, что и при аналитическом методе.

Математические модели построенные экспериментальным и комбинированным методами, используются для оптимизации статических режимов действующего объекта и расчета систем автоматического регулирования. Аналитические модели можно применять для оптимального проектирования технологических объектов и конструирования систем автоматического управления ими.