

Глава 3. Алгоритм построения модели

3.1. Технологии моделирования

Ранее мы рассмотрели принципы моделирования (принцип информационной достаточности, принцип осуществимости, принцип множественности моделей объекта, принцип агрегатирования, принцип параметризации). Степень реализации этих принципов в каждой конкретной модели может быть различной, что в значительной степени зависит от соблюдения исследователем (субъектом моделирования) технологии моделирования.

Технологии комплексного моделирования представляют собой последовательность следующих действий:

- 1) определение цели моделирования;
- 2) разработка концептуальной модели;
- 3) формализация модели;
- 4) программная реализация модели;
- 5) планирование модельных экспериментов;
- 6) реализация плана эксперимента;
- 7) анализ и интерпретация результатов моделирования.

Соответственно, общая схема моделирования имеет следующий вид:

- 1) проблема;
- 2) постановка задачи;
- 3) описание исходных данных;
- 4) формализация задачи, выбор временной и пространственной шкал модели;
- 5) выбор метода построения модели;
- 6) планирование эксперимента;
- 7) получение и обработка экспериментальных данных;
- 8) идентификация неизвестных характеристик модели;
- 9) выбор метода решения задачи;
- 10) вычислительный эксперимент;
- 11) анализ и интерпретация результатов моделирования;
- 12) принятие решений об использовании результатов;
- 13) практическое использование модели.

Для прикладного использования в моделировании технологических процессов представляется целесообразным рассмотреть отдельно алгоритмы построения аналитической и эмпирической моделей.

3.2. Алгоритм построения аналитической модели

1. Выявление противоречия и формулирование проблемы.
2. Определение объекта исследования. Постановка задачи (задач) исследования.
3. Анализ априорной информации. Формулирование гипотезы исследования.
4. Выбор входных и выходных факторов.
5. Формализация задачи.
6. Построение модели.
7. Планирование и проведение эксперимента.
8. Интерпретация результатов моделирования.
9. Оценка пригодности модели.
10. Решение задачи оптимизации (если таковая имеется).
11. Использование модели. Документирование результатов.

3.3. Алгоритм построения эмпирической модели

1. Выявление противоречия и формулирование проблемы.
2. Определение объекта исследования. Постановка задачи (задач) исследования.
3. Анализ априорной информации. Формулирование гипотезы исследования.
4. Выбор входных и выходных факторов.
5. Формализация задачи.
6. Планирование и проведение эксперимента.
7. Обработка результатов эксперимента.
8. Построение модели.
9. Проверка адекватности модели.
10. Интерпретация результатов моделирования.
11. Оценка пригодности модели.
12. Решение задачи оптимизации (если таковая имеется).
13. Использование модели. Документирование результатов.

Различия алгоритмов начинаются с шестого этапа и объясняются различиями в методах построения модели (см. об этом выше).

3.4. Краткая характеристика основных этапов алгоритмов построения аналитических и эмпирических моделей

Этап выявления противоречия и формулирования проблемы

Данный этап моделирования является первым и самым ответственным. От правильности формулирования проблемы исследования зависят результаты моделирования и затраты (материальные, финансовые, временные) на моделирование и исследование объекта. Однако не стоит к результатам,

полученным в финале этого этапа, относиться как к догме: в ходе моделирования формулировка и содержание проблемы часто корректируются, уточняются. К тому же на всех последующих этапах построения модели возможно возвращение к самому началу работы с целью лучшего понимания исследуемой проблемы.

Этап определения объекта исследования и постановки задачи (задач)

На этом этапе проблему необходимо «раздробить»: выделить задачи, четко их сформулировать и определить стратегию и тактику решения каждой из них. Все задачи исследования должны быть хорошо структурируемыми – это позволит быстрее найти пути их решения. Очень важно также правильно и корректно поставить вопрос в каждой задаче (задача может быть прямой или обратной – см. об этом выше) и определить ее приоритет и место в общем списке решаемых задач.

Этап анализа априорной информации, формулирования гипотезы исследования

Анализ априорной информации базируется на изучении уже имеющихся результатов исследования подобных объектов и решения подобных задач другими исследователями и выявлении аналогов с целью повышения эффективности собственного исследования. Источниками априорной информации являются отчеты по научно-исследовательской работе, книги, периодические издания, материалы конференций, информационные ресурсы Интернета.

Результаты анализа априорной информации должны быть следующими:

- четкое уяснение сути собственного исследования и возможных методик его проведения;
- осмысление причин удач и неудач предшествующих исследователей;
- предварительный выбор входных и выходных факторов и их обозначений;
- выбор метода построения и исследования модели;
- формулирование гипотезы о возможном характере математической модели.

Этап выбора входных и выходных факторов

Фактор – измеряемая переменная величина, принимающая в каждый момент времени некоторое определенное значение из своей области определения.

При моделировании технологических процессов можно сформулировать следующие требования к входным факторам:

- они должны быть взаимно независимыми;

- количественными и сравнительно легко измеряемыми;
- простыми и иметь физический смысл;
- они должны быть универсальными и полными с точки зрения описания свойств и структуры исследуемого объекта.

Выходной фактор должен быть однозначным (в статистическом смысле этого слова).

В обратных задачах (задачах оптимизации) выходной фактор часто называют критерием оптимизации.

Выделяют следующие виды критериев оптимизации:

- экономические критерии оптимизации: прибыль, себестоимость, затраты;
- технический (или технологический) – производительность;
- технико-экономические: безотказность, восстанавливаемость и т.д.;
- прочие критерии оптимизации: экологические, эргономические, эстетические и т.д.

В технологических процессах машиностроения критериями оптимизации могут быть стойкость режущего инструмента, точность базирования, точность и шероховатость обработанных поверхностей, сила и температура резания и т. д.

Если фактор не имеет количественного измерения (например, носит качественный характер), можно использовать *ранжирование*.

Ранг – субъективная количественная оценка качественного фактора, измеренная по заранее выбранной шкале и не имеющая физической размерности.

Этап формализации задачи

Современный математический аппарат требует, чтобы для решения задача была поставлена формально, т.е. в виде математической формулы. Следовательно, необходим переход от *вербального описания* априорной информации об объекте (схемы, текста, таблицы, графика и пр.) к *количественным соотношениям* между выходными и входными факторами (а в модели – переменными).

Под формализацией будем понимать «перевод» задачи исследования и априорной информации об объекте с языка вербального описания на язык математического описания.

Формализация позволяет повысить качество и скорость решения задач моделирования объектов и процессов (так как в абсолютном большинстве случаев используется уже разработанное математическое и программное обеспечение, например, MATLAB, MATHCAD, MAPLE, STATISTICA, STSTGRAPHICS и др.).

Этап построения модели

При построении аналитической модели можно использовать «модели-заготовки» – в них подставляют конкретные граничные и начальные условия для решения поставленной задачи.

При построении эмпирической модели сначала нужно провести эксперимент. Затем результаты экспериментальных исследований обрабатываются математическим аппаратом статистического анализа (регрессионного, дисперсионного, корреляционного и т.д.). Построение регрессионных моделей будет рассмотрено нами далее.

Этап планирования и проведения эксперимента

Основой планирования эксперимента является *теория планирования факторного эксперимента*, позволяющая определить необходимое и достаточное количество опытов эксперимента. В алгоритме построения эмпирической модели этот этап обязательно предшествует построению модели. В алгоритме построения аналитической модели планирование и проведение эксперимента осуществляется после построения модели и выполняется для оценки точности аналитической модели. При построении аналитических моделей нередко случаи, когда для проверки точности разрабатываемой модели объекта используются экспериментальные данные, полученные другими исследователями в другом месте и в другое время.

При планировании эксперимента определяются окончательное количество самих входных факторов и количество их уровней.

Уровень фактора – конкретное значение фактора из его области определения при экспериментальном исследовании объекта.

Совокупность уровней входных факторов объекта (по одному уровню от фактора) определяет одно состояние объекта.

Если число уровней всех входных факторов одинаково, то число всех состояний объекта (N_c) можно определить по формуле

$$N_c = p^k,$$

где k – общее количество входных факторов;

p – число уровней каждого фактора.

Цель планирования эксперимента – определить количество факторов и их уровней для получения необходимой и достаточной информации об объекте исследования.

Подробно вопросы планирования эксперимента будут рассмотрены нами далее.

Этап проверки адекватности модели (для эмпирических моделей)

Адекватность (от лат. *adaequatus* – приравненный) модели характеризует ее соответствие экспериментальным данным. Проверка осуществляется по специальным критериям (см. об этом далее).

Этап интерпретации результатов моделирования

Интерпретация – «перевод» для пользователя результатов моделирования исследуемого объекта с языка математики на язык вербального описания (в схемы, графики, таблицы и т.д.).

На этапе интерпретации оценивается, насколько результаты моделирования (в частности, модель) соответствуют здравому смыслу и существующей информации о поведении и свойствах объекта.

Этап решения задачи оптимизации

Задачи оптимизации – одни из наиболее распространенных научно-технических задач. Они возникают в тот момент, когда установлена возможность осуществления процесса и требуется найти наилучшие (оптимальные) условия его реализации. Всегда необходимо четко формулировать, в каком смысле условия должны быть оптимальными. Это влияет на выбор целей исследования. Выше были рассмотрены прямые и обратные задачи. Обратные задачи по своей сути и являются задачами оптимизации.

При решении задачи оптимизации необходимо выбрать метод поиска оптимального решения в зависимости от особенностей исследуемого объекта, модели и решаемой задачи и применить его для получения «наилучших» характеристик или вариантов поведения объекта или воздействия на него.

Этап использования модели и документирования результатов

После получения и проверки модели для ее дальнейшего использования необходимо оформить результаты моделирования.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные этапы алгоритма построения аналитической модели.
2. Назовите основные этапы алгоритма построения эмпирической модели.
3. Расскажите о различиях в алгоритмах построения аналитической и эмпирической моделей.

4. Назовите источники априорной информации.
5. Что является результатом анализа априорной информации?
6. Какие требования предъявляются к входным и выходным факторам?
7. Что такое критерий оптимизации? Перечислите виды критериев оптимизации.
8. Что такое ранг?
9. Что такое формализация?
10. Что такое интерпретация?