

«Теория принятия решений»

Тема 2. Научная и методологическая основа теории принятия решений

Лекция. Моделирование сложных систем

Цель: Изложить основы моделирования систем с позиций системного анализа

Время - 4 часа

Учебные вопросы:

1. Понятие модели и моделирования
2. Классификация видов моделирования систем
3. Принципы и подходы к построению математических моделей систем
4. Этапы построения математических моделей

1. Понятие модели и моделирования

Моделированием называют процесс исследования реальной системы, включающий в себя:

- построение модели;
- изучение свойств модели;
- перенос полученных сведений на моделируемую систему.

Типовыми *целями моделирования* могут быть:

- 1) оценка эффективности решений;
- 2) поиск оптимальных или близких к оптимальным решений;
- 3) определение свойств системы и их чувствительности к изменению значений характеристик;
- 4) установление взаимосвязей между характеристиками системы;
- 5) перенос информации во времени.

Общими *функциями моделирования* являются описание, объяснение и прогнозирование поведения реальной системы.

Термин «модель» имеет многочисленные трактовки. В наиболее общей формулировке *модель* – это объект, который имеет сходство в некоторых отношениях с прототипом и служит средством описания и/или объяснения и/или прогнозирования поведения прототипа.

Важнейшей чертой модели является то, что она дает упрощенный образ, отражающий не все свойства прототипа, а только те, которые существенны для исследования.

Сложные системы характеризуются выполняемыми процессами (функциями), структурой и поведением во времени. Для адекватного моделирования этих аспектов различают функциональные, структурные и поведенческие модели, пересекающиеся друг с другом.

Функциональная модель системы описывает совокупность выполняемых системой функций, характеризует морфологию (построение системы) – состав функциональных систем и их взаимосвязи.

Структурная модель отражает отношения между элементами в виде структурных составляющих (структурных элементов и связей между ними).

Поведенческая (событийная) модель описывает динамику функционирования, в которой фигурируют такие категории как состояние системы, событие, переход из одного состояния в другое, условие перехода, последовательность событий.

Моделирование играет особо важную роль в системах, где натурные эксперименты невозможны по ряду причин: сложность, уникальность, существенные материальные затраты, длительность эксперимента. Натурные испытания некоторых систем свя-

заны с их разрушением, для экспериментальной проверки сложных систем управления требуется длительное время и т.д.

Выделяют три основные области применения моделей:

- обучение;
- научные исследования;
- управление.

При *обучении* с помощью моделей достигается весьма высокая наглядность отображения различных объектов и облегчается передача сведений (знаний) о них. Эти модели позволяют, в основном, описать и объяснить систему.

В *научных исследованиях* модели служат средством получения, фиксирования и упорядочения новой информации, обеспечивая развитие теории и практики.

В *управлении* модели используются для обоснования решений. Такие модели должны обеспечить как описание, так и объяснение, а также предсказание поведения систем.

Основы теории подобия

В качестве основы для замещения одного объекта другим при исследовании выступает *подобие объектов*. Подобие означает, что данные, полученные по одному из объектов, допустимо распространять на другие подобные ему объекты.

Возможны различные виды подобия:

- 1) *физическое* - подобие между объектами с физической природой;
- 2) *структурное* - подобие между структурами объектов;
- 3) *функциональное* - подобие в функциях объектов;
- 4) *математическое* - подобие между величинами в математических выражениях;
- 5) *геометрическое* - подобие между пространственными характеристиками объектов и др.

Различной может быть и степень подобия - от тождества в отдельных аспектах до сходства только в главном. Очевидно, что никакие модели не могут и не должны воспроизводить полностью все стороны изучаемых систем. Достижение абсолютного подобия будет означать тождество, и в этом случае теряется весь смысл моделирования. Наиболее характерными степенями подобия модели исследуемой системе являются *изоморфизм* и *гомоморфизм*. Соответственно говорят об *изоморфных* и *гомоморфных* моделях.

Изоморфизмом (от греч. *isos* - одинаковый и *morphe* - форма) называется отношение тождества систем в каком-либо структурном или функциональном аспекте. Две системы, рассматриваемые безотносительно к природе элементов, являются изоморфными, если каждому элементу одной из них (прообразу), имеющему определенное свойство, соответствует лишь один элемент другой системы (образ) со своим свойством, и наоборот (например, негатив и позитив, чертеж и изготовленная по нему деталь). При моделировании сложных систем достигнуть изоморфизма модели и оригинала довольно сложно и порой нецелесообразно в силу того, что в этом случае модель по сложности может быть сопоставимой с оригиналом и никакого упрощения исследования не будет.

Меньшей степени подобия соответствует *гомоморфизм* (от греч. *homo* - подобный) как обобщение изоморфизма. В гомоморфных системах тождество с прототипом по форме отсутствует, подобие затрагивает лишь самые существенные стороны прототипа. Например, гомоморфны местность и ее карта, программа и ее блок-схема, прибор и его описание.

Однако утверждать, что моделью называется объект, только гомоморфно отображающий оригинал, было бы неправильно, поскольку модель должна быть проще оригинала относительно целей исследования, а не вообще. В других отношениях она может быть и сложнее оригинала. Таким образом, две системы называются моделями не-

которого исследуемого объекта, если их гомоморфные отображения являются изоморфными.

Выяснением условий, при которых рассматриваемые системы могут считаться подобными, занимается теория подобия, лежащая в основе моделирования и опирающаяся на следующие основные понятия.

Подобие - взаимнооднозначное соответствие между двумя объектами, при котором функции перехода от параметров, характеризующих один из объектов, к параметрам другого объекта известны, а математические описания этих объектов могут быть преобразованы в тождественные.

Критерий подобия - безразмерный степенной комплекс, составленный из величин, характеризующих моделируемый объект. Для обозначения критерия подобия используют греческую букву π .

Условия однозначности - совокупность признаков, определяющих индивидуальные особенности того или иного процесса, и выделяющие его из других

Уравнение подобия - функциональная зависимость между критериями подобия.

Необходимыми и достаточными условиями обеспечения подобия двух объектов являются: пропорциональность сходственных параметров, входящих в условия однозначности и равенство критериев подобия. Таким образом, теория подобия является, с одной стороны, руководством для проверки «сходства» оригиналов и моделей, с другой - правилом построения моделей.

Как отмечалось, не всегда возможно и целесообразно строить модель на базе структурного соответствия оригиналу, так как модель предназначена для изучения функционирования оригинала только в аспекте целей исследования. Это означает, что модель будет выполнять свои задачи, если она только в определенном смысле будет вести себя как оригинал. В этом случае говорят, что модель и оригинал *изофункциональны*.

Функциональное моделирование, опирающееся на существование нежесткой связи между структурой системы и реализуемыми ею функциями, получило широкое распространение в практике анализа и синтеза сложных систем и называется кибернетическим

Основные результаты теории подобия формулируются в виде теорем.

Первая теорема указывает необходимые условия подобия. Если системы подобны, у них можно найти сходные критерии подобия с одинаковыми значениями. Символически это записывается как $\pi = \text{idem}$, где *idem* означает «соответственно одинаково для всех рассматриваемых систем».

Вторая теорема указывает на возможность приведения полного уравнения, описывающего поведение системы к критериальному виду. В полном уравнении учитываются все связи между входящими в него величинами, и оно не меняется при любых единицах измерения. Всякое полное уравнение физического процесса, записанное в определенной системе единиц, может быть представлено в виде уравнения подобия. Так, вместо уравнения связи между параметрами процесса и параметрами системы $F(p_1, p_2, \dots, p_k, p_{k+1}, \dots, p_m) = 0$, где p_1, p_2, \dots, p_k - независимые параметры, можно записать критериальное уравнение $\Phi(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{m-k}) = 0$, где $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{m-k}$ - независимые критерии подобия. Это обеспечивает устранение определенной избыточности в описании процессов.

Третья теорема указывает необходимые и достаточные условия, при соблюдении которых процессы будут подобны. Такими условиями являются пропорциональность сходственных параметров, входящих в условия однозначности, и равенство критериев подобия исследуемого процесса. Условиями однозначности называют условия, определяющие индивидуальные особенности процесса и выделяющие его из других процессов. К ним относятся: геометрические свойства системы, в которой протекает

процесс; физические параметры элементов системы и среды, начальное состояние системы; взаимодействие системы с внешней средой.

Если первые две теоремы подобия устанавливают соотношения между параметрами заведомо подобных систем, то третья теорема является руководством для проверки подобия систем и одновременно правилом для построения моделей.

Согласно теории подобия при построении моделей необходимо выделять те свойства систем, которые для данной задачи выступают как основные (существенные). Модель и прототип связываются определенными ограничениями через критерии подобия. Применительно к моделированию на ЭВМ, теория подобия дает установки для масштабирования величин, замены совокупностей параметров критериями подобия и оценки допустимой погрешности результатов вычислений.

2. Классификация видов моделирования систем

Многообразие и сложность реальных явлений вынуждают исследователей пользоваться различными моделями. Провести полную классификацию моделей довольно трудно. Ограничимся частичной классификацией, главным образом, с точки зрения реализации.

Модели могут быть реализованы с помощью физических объектов, абстрактных объектов или сочетания тех и других. Соответственно различают *физические* (вещественные), *абстрактные* (изобразительные) и *смешанные* (комбинированные) типы моделей.

Физические модели. Находятся в отношении физического подобия к моделируемым системам. Исторически этот тип моделей появился первым. При физическом моделировании воспроизводят изучаемый оригинал с сохранением его физической природы. Преимущества этого вида моделирования перед натурным экспериментом заключаются в том, что условия реализации процесса-модели могут существенно отличаться от условий, свойственных процессу-оригиналу, и выбираются исходя из удобства и простоты исследования. Поскольку при физическом моделировании нет необходимости сохранять, например, размеры сооружений, скорости течения газов и жидкостей, нагрузки на элементы конструкций и т.д., то становится возможным получать выигрыш во времени и стоимости исследования. К физическому моделированию целесообразно прибегать при исследовании сложных систем, для которых не представляется возможным получить математическое описание с требуемой точностью, а экспериментальное получение необходимых характеристик связано с нарушением оборудования и режимов функционирования.

Среди физических моделей выделяют *модели геометрического подобия* и *аналоговые модели*.

Системы считаются *геометрически подобными*, если при соответствующем расположении можно добиться их совпадения за счет одинаковой деформации линейных размеров. Геометрическая модель отличается от оригинала только масштабом и позволяет исследовать свойства объекта (макеты и др.). Эти модели отличаются большой конкретностью и наглядностью, но требуют больших затрат на создание.

В *аналоговых моделях* набор одних физических свойств используется для отображения набора совершенно других физических свойств. Например, электрические процессы в колебательном контуре выступают аналогом механических колебаний и наоборот. Для этих моделей характерна меньшая специфичность, с ними легче оперировать. Особенно удобны такие модели при моделировании систем с непрерывными параметрами. Однако им, также как и моделям геометрического подобия, присущи ограниченности исследования и недостаточная точность. Попытки расширения возможностей и повышения точности этих моделей связаны с большими трудностями (повышается стоимость и сложность моделирования).

Абстрактные модели. Для их построения используются знаки, входящие в алфавиты естественных и искусственных языков. Основное преимущество абстракт-

ных моделей над физическими заключается в более простой реализации. Рассматриваемые модели выступают весьма удобным и компактным средством передачи информации во времени.

Класс абстрактных моделей представляется *словесными, графическими и математическими* моделями. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, определяющие их практическое использование.

Словесные модели представляют собой обычные описания. Для них характерна универсальность, доступность и неоднозначность. Используются, как правило, на начальном этапе исследования системы.

К графическим моделям относят различные номограммы, графики, диаграммы. Они отражают количественные соотношения и дают возможность вести прогнозирование изменений параметров.

Математические модели представляют собой совокупность математических соотношений, описывающих изучаемую систему и позволяющих проводить исследование математическими методами. Для построения математических моделей могут использоваться любые математические средства (дифференциальное и интегральное исчисление, теория множеств, теория вероятностей, математическая логика и т.д.). В системных исследованиях данным моделям отводится роль основного инструмента по количественному обоснованию решений. Они позволяют оценивать решения и обеспечивают поиск оптимальных решений. При помощи математических моделей можно получать результаты, обладающие высокой точностью. С ростом производительности ЭВМ математические модели находят все большее применение.

Классификация математических моделей проводится по следующим признакам.

Характер связи между входными параметрами и результатом. Модели делятся на *детерминированные, вероятностные и неопределенные.*

Возможности модели. Принято выделять *оценочные и оптимизационные* модели.

В *оценочных моделях* обеспечивается оценка эффективности системы (на вход модели подается решение, с выхода снимается значение его эффективности). Поиск оптимального решения связан с необходимостью многократного использования модели при реализации набора допустимых решений. Пример оценочной модели - СМО.

Оптимизационные модели наряду с оценкой эффективности позволяют находить непосредственно и оптимальный вариант системы. Это все модели математического программирования.

Структура модели (способ воспроизведения моделируемой системы или операции). Два основных класса: *аналитические и статистические (имитационные).*

В *аналитических моделях* зависимости между параметрами системы и критерием эффективности имеют аналитический вид (алгебраические уравнения, дифференциальные уравнения и т.д.). Решение на основе аналитической модели может быть получено в результате однократного выполнения действий безотносительно к конкретным значениям характеристик, то есть в общем виде. Это вполне удобно и наглядно для выявления закономерностей. Однако аналитические модели удается построить только для относительно простых систем. В случае усложнения последних, как правило, нужны большие упрощения.

В *имитационных моделях* многократно воспроизводится последовательность элементарных операций системы с использованием случайных выборок значений переменных в соответствии со своими законами распределения. По ним проводится определение выходных характеристик и осуществляется статистическая обработка результата. По сравнению с аналитическими эти модели позволяют учесть большее число факторов и не требуют грубых упрощений. Недостаток же их в том, что такие модели трудно сделать стандартными.

Учет движения времени. Выделяют *статические и динамические* модели.

В *статических моделях* не учитывается изменение параметров со временем. *Динамические модели* строятся с учетом изменения параметров во времени.

Тип параметров. Параметры систем могут быть дискретными и непрерывными. Соответственно различают *дискретные* и *непрерывные* модели.

Применяемые математические методы. Выделяют *модели массового обслуживания, сетевые модели, игровые модели, модели математического программирования (линейного, нелинейного, динамического)* и т.д.

Смешанные модели - это сочетания физических и абстрактных моделей. Та часть системы, которая не поддается математическому описанию, моделируется физически.

Выбор типа модели определяется целями исследования, характером исходных данных, уровнем изученности объекта, возможностями практической реализации модели. Из всех типов моделей наиболее широкое применение находят математические модели.

3. Принципы и подходы к построению математических моделей систем

Математическое моделирование считается в большей степени искусством, нежели стройной и законченной теорией, переходящей в технологию. В моделировании велика роль опыта, интуиции и других интеллектуальных свойств исследователя. Поэтому отсутствует формализованная инструкция, однозначно определяющую, как должна строиться модель той или иной системы. В то же время, отсутствие точных правил не мешает опытным специалистам строить удачные модели. К настоящему времени накоплен значительный опыт, дающий основание сформулировать принципы и подходы к построению моделей. Каждый из них сам по себе представляется довольно очевидным. Но совокупность взятых вместе принципов и подходов далеко не тривиальна. Нарушение этой методологии чревато ошибками и неудачами в практике моделирования.

В общем случае **принципы** устанавливают соответствие между объективными требованиями и субъективной деятельностью человека. Применительно к рассматриваемой тематике *принципы определяют общие требования, которым должна удовлетворять правильно построенная модель.* К этим принципам относятся следующие.

1. *Адекватность.* Этот принцип предусматривает соответствие модели целям исследования по уровню сложности и организации, а также соответствие реальной системе относительно выбранного множества свойств. Модель должна правильно отражать исследуемую систему.

2. *Соответствие модели решаемой задаче.* Модель должна строиться для решения определенного класса задач или для конкретной задачи исследования системы. Построить практически применимую универсальную модель, нацеленную на решение разнообразных задач, не представляется возможным в силу резкого возрастания сложности этой модели. Опыт свидетельствует, что для решения конкретной задачи необходимо строить свою модель, отражающую исследуемые аспекты. Этот принцип тесно связан с предыдущим.

3. *Упрощение модели при сохранении существенных свойств системы.* В некоторых отношениях модель должна быть проще прототипа – в этом смысл моделирования. Чем сложнее рассматриваемая система, тем по возможности более упрощенным должно быть ее описание, умышленно утрирующее типичные и иг-

норирующее менее существенные свойства. Здесь должно идти абстрагирование от второстепенных деталей.

4. Соответствие между требуемой точностью результатов моделирования и сложностью модели. По своей природе модели всегда носят приближенный характер. Какова должна быть степень этого приближения? С одной, для отражения сколь-нибудь существенных свойств модель необходимо детализировать. С другой стороны, строить модель, приближающуюся по сложности к реальной системе, нецелесообразно и даже невозможно. Нахождение решения не должно затрудняться вследствие сложности модели. Компромисс между этими требованиями порой достигается путем проб и ошибок. Практические рекомендации по снижению сложности модели заключаются в следующем:

- изменение числа переменных, достигаемое либо исключением несущественных переменных, либо их объединением (агрегирование);
- изменение природы параметров: переменные параметры рассматриваются в качестве постоянных, дискретные – в качестве непрерывных и т.д.;
- изменение функциональной зависимости между переменными: нелинейная зависимость заменяется линейной, дискретная функция распределения вероятностей - непрерывной и т.п.;
- изменение ограничений: добавление, исключение, модификация;
- ограничение точности модели: известно, точность результатов модели не может быть выше точности исходных данных.

5. Баланс погрешностей разных видов. В соответствии с этим принципом необходимо добиваться, например, баланса систематической погрешности моделирования за счет отклонения модели от оригинала и погрешности исходных данных, точности отдельных элементов модели, систематической погрешности моделирования и случайной погрешности при интерпретации и осреднении результатов.

6. Многовариантность реализации элементов модели. Разнообразие реализаций одного и того же элемента, отличающихся по точности (следовательно, и по сложности), обеспечивает регулирование соотношения «точность/сложность».

7. Блочное построение. При соблюдении этого принципа облегчается разработка сложных моделей и появляется возможность использования накопленного опыта и готовых блоков с минимальными связями между ними. Выделение блоков проводится с учетом разделения модели по этапам и режимам функционирования системы.

В зависимости от конкретной ситуации возможны следующие **подходы** к построению моделей:

- непосредственный анализ функционирования системы;
- проведение ограниченного эксперимента на самой системе;
- использование аналога;
- анализ исходных данных.

1. Непосредственный анализ функционирования системы. Имеется целый ряд систем, допускающих проведение непосредственных исследований по выявлению существенных параметров и отношений между ними. Затем либо применяются известные математические модели, либо они модифицируются, либо предлагается новая модель.

2. При проведении ограниченного эксперимента выявляется значительная часть существенных параметров и их влияние на эффективность системы. Такую цель преследуют, например, деловые игры.

3. Если метод построения модели не совсем ясен, но ее структура очевидна, то можно воспользоваться *сходством с более простой системой*, модель которой уже существует. Например, и однопрограммная ЭВМ и канал связи могут интерпретироваться системой массового обслуживания.

4. К построению модели можно приступить на основе *анализа исходных данных*, которые либо известны, либо могут быть получены. Анализ позволяет сформулировать гипотезу о структуре системы, которая затем апробируется. Так появляются первые модели использования новых образцов техники конкурентов при наличии данных о их технических параметрах.

Таким образом, построение моделей - это в определенной мере творческий процесс, осуществляемый человеком. Он решает все главные вопросы исследования: какие факторы имеют отношение к данной системе и какие взаимосвязи между ними необходимо ввести в модель, какие значения входных параметров использовать при моделировании, как выполнять проверку, анализ и истолкование получаемых результатов моделирования.

Разработчики моделей находятся под влиянием двух взаимно противоречивых тенденций: стремления к полноте описания и стремления к получению требуемых результатов более простыми средствами. Компромисс обычно достигается построением серии моделей, начинающейся с предельно простых и восходящих до высокой степени сложности. Простые модели позволяют на первых порах глубже осознать проблему. Усложнение модели используется для анализа влияния различных факторов на результаты моделирования. Такой анализ позволяет исключить некоторые факторы из рассмотрения. Сложные системы требуют разработки целой иерархии моделей. Выделяют такие уровни: вся система, подсистемы, управляющие объекты и др

4. Этапы построения математических моделей

Сущность построения математической модели состоит в том, что реальная система упрощается, схематизируется и описывается с помощью того или иного математического аппарата. Можно выделить следующие основные этапы построения моделей.

1. *Содержательное описание моделируемого объекта*. Объекты моделирования описываются с системных позиций. Исходя из цели исследования устанавливаются: совокупность элементов, взаимосвязи между элементами, возможные состояния каждого элемента, существенные характеристики состояний и соотношения между ними. Например, фиксируется, что если значение одного параметра возрастает, то другого убывает и т.п. Вопросы, связанные с полнотой и единственностью набора характеристик, не рассматриваются. В таком словесном описании возможны логические противоречия и неопределенности. Возникает исходная естественнонаучная концепция исследуемого объекта. Такое предварительное, приближенное представление системы называют *концептуальной моделью*. Для того, чтобы содержательное описание служило хорошей основой для последующей формализации, требуется обстоятельно изучить моделируемый объект. Нередко естественное стремление ускорить разработку модели уводит исследователя от данного этапа непосредственно к решению формальных вопросов. В результате построенная без содержательного базиса модель оказывается непригодной к использованию.

На этом этапе моделирования широко применяются качественные методы описания систем, знаковые и языковые модели.

2. *Формализация содержательного описания.* Следующим этапом является собственно разработка математической модели. Математические методы, лежащие в основе математического моделирования, безотносительны к физической природе исследуемого объекта. Поэтому математические модели относятся к классу абстрактных, а сущность разработки таких моделей сводится к описанию объекта моделирования формальными средствами. Необходимо отметить, что в качестве объекта моделирования или формализации выступает концептуальная модель, создаваемая на этапе постановки задачи.

В процессе построения математических моделей можно выделить два относительно самостоятельных этапа. На первом осуществляется переход от описания концептуальной модели в терминах предметной области к ее описанию в терминах выбранного математического метода, то есть *формализация содержательного описания (построение формальной модели)*. В результате объект исследования теряет свою физическую сущность и становится абстрактным. Второй этап связан с описанием формализованной модели математическими средствами, то есть собственно *построением модели математической*.

Разработка модели может рассматриваться как решение некоторой математической задачи - *дескриптивной* или *оптимизационной*. Первая имеет целью построение удовлетворительного описания исследуемого объекта, вторая - оценку предельных значений показателей качества или поиск варианта исходных данных, обеспечивающего экстремальное значение критерия качества.

Замена содержательного описания формальным – процесс итеративный.

3. *Проверка адекватности модели.* Следующий этап построения модели - это оценка качества модели, центральное место в котором отводится *оценке адекватности* модели. На данном этапе осуществляется проверка того, насколько разработанная модель равнозначна объекту-прототипу, а значит и пригодна к использованию. По результатам проверки модели на адекватность принимается решение о возможности ее практического использования либо о проведении корректировки.

Исходный вариант модели предварительно проверяется по следующим основным аспектам:

- Все ли существенные параметры включены в модель?
- Нет ли несущественных параметров?
- Правильно ли отражены функциональные связи между параметрами?
- Правильно ли определены ограничения на значения параметров?

Для проверки рекомендуется привлекать специалистов, которые не принимали участия в разработке модели. Они в состоянии более объективно рассмотреть модель и заметить ее слабые стороны с отличием от разработчиков. Такая предварительная проверка адекватности позволяет выявить грубые ошибки.

После этого приступают к реализации модели. Полученные результаты моделирования подвергаются анализу на соответствие известным свойствам исследуемого объекта. Для установления соответствия создаваемой модели оригиналу используют следующие способы;

- 1) сравнение результатов моделирования с отдельными экспериментальными результатами, полученными при одинаковых условиях;
- 2) использование других близких моделей (предпочтительно разработанных другими авторами);
- 3) сопоставление структуры и функционирования модели с прототипом.

Главным критерием проверки адекватности модели исследуемому объекту выступает практика. Однако она требует накопления статистики, которая не всегда бывает достаточной для получения надежных данных. Поэтому для многих моделей первые два способа приемлемы в меньшей степени. В этом случае остается один вариант: заключение о подобии модели и прототипа на основе сопоставления их структур и реа-

лизуемых функций. Такие заключения являются неформальными, поскольку основаны на опыте и интуиции исследователя.

По результатам оценки адекватности принимается решение о возможности практического использования модели или о ее корректировке.

4. *Корректировка модели.* На этом этапе могут уточняться существенные параметры, ограничения на значения параметров и т.д. После внесения изменений в модель вновь выполняется оценка адекватности.

5. *Оптимизация модели.* Сущность оптимизации моделей состоит в их упрощении при заданном уровне адекватности. Основными показателями, по которым возможна оптимизация модели, выступают время и затраты средств для проведения исследований на этой модели. В основе оптимизации лежит возможность преобразования моделей из одной формы в другую. Преобразование может выполняться либо с использованием математических методов, либо эвристическим путем.