

**ТЕХНОЛОГИЯ СИНТЕЗА ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ
ЭКСПЕРТНЫХ ЗНАНИЙ****А. В. Горохов, В. А. Путилов (Апатиты)**

Синтез моделей сложных систем представляет собой итерационный процесс взаимодействия «человек – модель», в ходе которого развивается как модель, так и знания эксперта. К созданию моделей сложных систем привлекаются коллективы экспертов, поэтому актуальной является задача интеграции и согласования их знаний. Каждый эксперт обладает собственной ментальной моделью системы, которую он формулирует в некотором поле основных понятий, присущих его предметной области – здесь причины терминологической несогласованности, а порой и понятийной противоречивости. Поэтому актуальна задача создания методов и средств формализации знаний о сложной системе, закономерностях и динамике протекающих в ней процессов. Одним из путей решения проблемы является применение специализированного метода имитационного моделирования – системной динамики [1].

Метод системной динамики позволяет исследовать поведение сложных систем, опираясь на возможности компьютерного моделирования. В отличие от «традиционных» методов компьютерного моделирования системная динамика не требует построения математической модели исследуемого объекта в традиционной форме, а дает исследователю инструментарий для моделирования в виде реализованных на компьютере аналитических описаний системных элементов и связей между ними. Важная составляющая системной динамики – формальные языки описания процесса изменения моделируемого объекта. Один из них – язык системных диаграмм – позволяет описать процесс, формализуя внутренние характеристики создаваемой компьютерной модели (они называются «уровнями») и представляя скорость их изменения в виде суммы, каждый элемент которой называется «темпом». Таким образом, системная диаграмма – это формализация модели исследуемого процесса. Но построение системных диаграмм в случае, когда объект исследования является сложной системой, становится затруднительным, и синтез приемлемой для практического использования динамической модели может занимать до нескольких лет. Поэтому основной упор проведенных исследований делался на поиски путей формализации и автоматизации этого процесса. В качестве аппарата для этого выбрано концептуальное моделирование. Концептуальная модель (КМ) используется для перехода от знаний экспертов к их единому формальному описанию, после чего становится возможен формальный синтез модели системной динамики.

Концептуальное моделирование сложных систем

В силу ограниченности рационального мышления человека в масштабах сложных систем, знания экспертов удобно представлять в виде древовидных структур. Такие модели дают возможность оперировать небольшим количеством объектов и связей на каждом уровне иерархии сложной системы. Причем количество элементов (понятий) можно оставлять всегда примерно одним и тем же, изменяя степень их агрегирования. Одним из таких подходов к созданию КМ является функционально-целевой подход (ФЦП), развитый для класса задач с древовидными моделями предметной области [2]. Исходная посылка ФЦП – решение проблем через формирование системы целей. Цель достигнута, если решена соответствующая задача. Решение задач обеспечивается соответствующими функциями синтезируемой системы. ФЦП обеспечивает структурный синтез систем, функции которых (т.е. поведение системы) обеспечивают решение соответствующих задач. Методами ФЦП синтезируется КМ предметной области в виде

многоуровневой древовидной системы целей. В ФЦП эта иерархия целей используется не только как обычное средство наглядного структурного описания, но и как инструмент структурно-алгоритмического проектирования системы, обеспечивающей учет особенностей структуры предметной области.

Согласно теореме о покрытии [2], система в целом должна строиться из таких подсистем, которые обеспечивают покрытие соответствующих подзадач основной целевой задачи системы. Декомпозиция КМ выполняется экспертами, образуя тем самым альтернативные варианты декомпозиции компонентов КМ. Для экспертов обязательными являются: ограничение на структуру создаваемого фрагмента КМ – он должен быть древовидным; единая идентификация компонентов нижнего уровня КМ. Глубина декомпозиции определяется экспертами по достижении примитивных целей (примитивов), т. е. неделимых в пределах моделируемой системы. Каждый эксперт для каждого примитива КМ определяет набор покрывающих действий.

Окончательным вариантом декомпозиции компонента КМ является объединение всех вариантов декомпозиции, где из каждого класса альтернативных вариантов выбран один представитель, предпочтительный с точки зрения принятых критериев качества.

Таким образом, получена единая КМ сложной системы, объединяющая формализованные знания группы экспертов в виде одной или нескольких древовидных структур, что обеспечивает в дальнейшем формальный синтез моделей системной динамики.

Синтез моделей системной динамики из типовых шаблонов

Концептуальная модель объекта моделирования реализуется в виде базы знаний. В качестве декларативных знаний выделяются:

- дерево целей сложной системы Tr , содержащее цели, полученные в результате декомпозиции глобальной цели, и материальные связи между ними;
- множество шаблонов;
- множество экземпляров шаблонов;
- справочник (эта структура данных содержит необходимую, по мнению экспертов, информацию о предметной области моделируемого объекта).

В свою очередь дерево целей, являющееся представлением концептуальной модели предметной области, может быть формально записано как объединение множества вершин всех уровней декомпозиции и множества примитивов – вершин, для которых дальнейшее разбиение цели не проводится:

$$Tr = \bigcup_{k=1}^{n_k} V^k \cup L ,$$

где k – уровень иерархии, n_k – количество вершин дерева целей на k -м уровне иерархии.

Множество V^k объединяет вершины нижестоящего уровня.

Множество L – множество примитивов дерева целей концептуальной модели. Выделение этих вершин в отдельное множество обусловлено наличием группы специальных процедур вывода, выполняющих действия только над элементами из этого множества.

Под шаблоном [3] подразумевается некоторая конструкция, имеющая установленную во времени структуру и набор входных, выходных параметров и начальных значений. В работе шаблон реализуется в виде конструкции на языке системной динамики, и спецификация шаблона производится с учетом этого фактора.

Формально понятие шаблона можно представить следующей записью на языке теории множеств: $P = \{ St , Fn , X , Y , I \}$, где St – структура шаблона; Fn – закон

функционирования шаблона; X – множество входных параметров шаблона; Y – множество выходных параметров шаблона; I – множество начальных значений.

В работе шаблон рассматривается как отдельный объект, обладающий своей внутренней структурой [3]. Данный объект исследуется как «черный ящик», имеющий входные и выходные параметры и выполняющий определенную функциональную нагрузку.

Необходимо отличать шаблон, заданный его спецификацией, от определенного значениями шаблона, который будем называть экземпляром. Таким образом, экземпляр шаблона – это наполненный шаблон, содержащий информацию не только о своем составе и структуре, но и конкретные значения входных, выходных и начальных параметров, кроме того, каждый экземпляр адресован экспертом одному из примитивов дерева целей.

Реализация КМ в виде базы знаний обеспечивает возможность использования экспертных знаний без участия самих экспертов при решении задач синтеза моделей системной динамики. Данные задачи решаются путем преобразования декларативных знаний о предметной области в процедурные знания системной динамики с помощью набора формальных правил.

Декларативная база знаний содержит факты, к которым относятся: набор шаблонов, сопоставленных примитивам, дерево целей, набор вспомогательных переменных, справочники и кодификаторы, содержащие текстовые знания об исследуемой предметной области.

Процедурные знания экспертов реализованы в базе знаний в виде процедур вывода, которые позволяют формализовать процесс синтеза динамической модели. На вход процедур подаются декларативные знания базы знаний, на выходе получают элементы моделей системной динамики. Процедуры вывода представляют собой отображения структуры концептуальной модели в структуру системно-динамических моделей.

База знаний содержит три группы процедур вывода.

1. Процедуры вывода, определяющие для каждого шаблона модели покрывающие действия (процедуры сопоставления). Назначение данных процедур – осуществить покрытие примитива дерева целей концептуальной модели экземпляром шаблона. Для любого шаблона из множества шаблонов модели существует экземпляр только тогда, когда каждому элементу структуры шаблона найдется соответствующий элемент множества понятий и терминов и когда каждому начальному значению шаблона будет задано значение из нормативной базы – множества коэффициентов и констант.
2. Процедуры вывода, определяющие материальные связи между шаблонами в динамической модели. В общем случае при условии, что все шаблоны после их заполнения становятся экземплярами, процедуру можно представить как отображение некоторого подмножества экземпляров на декартово произведение этого подмножества на себя.
3. Процедуры вывода, определяющие информационные связи между шаблонами в динамической модели. Рассматриваются три типа информационных связей: связь между элементами структуры двух шаблонов; связь между вспомогательной переменной и элементом структуры шаблона; связь между элементом структуры шаблона и вспомогательной переменной.

Применение к соответствующим наборам декларативных знаний данных процедур обеспечивает формальный синтез состава и структуры системно-динамической модели. Последовательность применения процедур задается алгоритмами синтеза модели на основе шаблонов.

Заключение

Предложена информационная технология концептуального синтеза динамических моделей сложных систем. Технология основана на использовании концептуальной модели, интегрирующей коллективные экспертные знания о предметной области. Реализация концептуальной модели в виде базы знаний обеспечивает использование экспертных знаний автономно (без участия экспертов) для автоматизированного синтеза динамических моделей. Разработаны формальные процедуры, обеспечивающие синтез на основе концептуальной модели соответствующей динамической модели из набора типовых шаблонов. Использование формализованных коллективных экспертных знаний на ранних этапах синтеза существенно повышает корректность создаваемых моделей и сокращает сроки их разработки. Эффективность технологии показана на задачах поддержки управления региональным развитием.

Литература

1. **Forrester, Jay W.** 1961. *Industrial Dynamics*, Portland, OR: Productivity Press. 464 pp.
2. **Игнатьев М. Б., Путилов В. А., Смольков Г. Я.** Модели и системы управления комплексными экспериментальными исследованиями. М.: Наука, 1986. 232 с.
3. **Шебеко Ю. А.** Имитационное моделирование и ситуационный анализ бизнес-процессов принятия управленческих решений (учебное и практическое пособие). М.: Диаграмма, 1999.