

		24.12.2010	18.01.2011	25.01.2011	11.02.2011
№	Дидактическая единица	Процент студентов, освоивших ДЕ, %			
1	Механика	60	70	76	96
2	Молекулярная (статистическая) физика и термодинамика	72	80	100	96
3	Электричество и магнетизм	68	50	100	96
4	Механические и электромагнитные колебания и волны	70	90	84	100
5	Волновая и квантовая оптика	56	80	76	100
6	Квантовая физика, физика атома	70	100	92	100
Процент студентов, освоивших все ДЕ дисциплины		30	46	61	88

В заключение отметим, что для целенаправленной подготовки студентов к интернет-экзамену необходимо вводить в лекционный и практический материал некоторые варианты тестовых заданий. Это, безусловно, повысит качество знаний студентов и уровень их подготовки к моменту испытания. На сегодняшний день тренировочных онлайн-тестов разной направленности на кафедре физики имеется достаточное количество.

А.А. САЛАНГИН

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

Дан обзор этапов развития методологии системного проектирования технических систем. Описаны принципы и методы формализации построения моделей проектируемых комплексов и даны обоснования некоторых из них.

За последние десятилетия сложность технических объектов значительно выросла и поэтому вместе с усложнением проектов постоянно совершенствовались методы и средства проектирования. Основанием для их развития послужило становление общей теории систем и системотехники, с одной стороны, накопление и систематизация опыта создания комплексов определенного назначения – с другой. Разработка таких комплексов разделяется на два направления:

- системное проектирование (СП), связанное с выбором принципов построения и функционирования комплекса в целом, требуемых характеристик его элементов;
- техническое проектирование, связанное с реализацией элементов комплекса, которые должны обладать заданными характеристиками.

Все задачи системного проектирования делятся на внешние и внутренние: внутренние – это задачи выбора структуры и параметров изделия, внешние – задачи выбора этапов и направлений СП с оптимальным распределением ресурсов на разработку (т. е. проектирования самой технологии проектирования). Сегодня упор делается на решение проблем внутреннего проектирования. Предметом СП является весь жизненный цикл объекта, включая его создание, использование, развитие и ликвидацию.

Выбор оптимального варианта построения технического комплекса и способа его применения, соответствующих заданным требованиям, осложняется появлением специфических проблем, связанных с высокой степенью неопределенности целей, среды и поведения противника (партнера), поэтапным изменением свойств объекта и условий применения, ограничениями на сроки и стоимость разработки. При этом важным является правильное сочетание аналитических методов, имитационного моделирования и натуральных испытаний. В соответствии со сказанным методология СП включает следующие аспекты:

- классификация принципов построения и функционирования комплексов определённого назначения;
- технология СП, схема и особенности синтеза;
- структурный анализ и распределение требований к элементам на ранних стадиях СП;
- принципы и правила построения имитационных моделей проектируемых комплексов;
- методы оценки показателей функционирования проектируемых комплексов в процессе разработки;
- методы параметрического синтеза проектируемых комплексов;
- управление процессами создания новой техники.

Становление и развитие методологии СП можно условно разбить на три этапа [1, 2]: Первый этап (1975–1983 гг.) был связан:

- с разработкой технологии СП и общих принципов имитационного моделирования;
- с появлением обобщающих работ по методам анализа и оптимизации сложных систем;
- с появлением первых публикаций по распределению ресурсов и по учёту изменения свойств объекта в ходе разработки.

Второй этап (1984–1988 гг.) был связан:

- с формулировкой общих законов строения и развития технических объектов;
- систематизацией принципов построения технических комплексов второго и третьего поколений;
- с формализацией процессов принятия технических решений;
- систематизацией опыта управления разработками и развитием предприятий.

Третий этап (с 1989 г.) связан:

- с разработкой принципов построения технических комплексов четвёртого и пятого поколения;
- с формулировкой и обоснованием принципов сочетания способов отработки проектируемых комплексов;
- с формализацией и обоснованием методов решения задач распределения ресурсов и управления проектами.

Соответственно, можно сейчас говорить об эволюции математического моделирования при проектировании систем. На первых этапах речь чаще всего идет о математической записи отдельных феноменологических наблюдений над реальными объектами. Для них характерна простота описаний, типична линейность уравнений и малая размерность (часто воспроизводится всего одна или две переменных). Методы анализа связаны в основном с получением аналитических решений [3, 4]. Затем появляются модели, описывающие объект в виде «системы» – модель отражает его структуру и законы, по которым он функционирует. Модели становятся существенно нелинейными, а чисто математический аппарат дополняется логико-семантическим. Возрастает размерность, достигая нескольких десятков. Такие модели называются «большими», а рабочим инструментом на этом этапе становится вычислительный эксперимент [5]. На следующем этапе эти модели объединились в информационно-технологические комплексы для работы с реальными фирмами, предприятиями и отраслями [6–9]. На этом этапе наряду с дальнейшим усложнением модели появляются новые требования в адекватности модели – адекватность понимается как макро-характеристика всего моделирующего комплекса. Наконец, в настоящее время начинается переход к очередному поколению математических моделей – моделям виртуального мира – воспроизведение трехмерного мира компьютерными средствами.

С помощью моделирования решаются две задачи:

- исследование естественных и искусственных объектов и процессов – это задача системного анализа;
- проектирование, конструирование искусственных объектов и процессов – это задача системного синтеза.

Различие в анализе и синтезе объектов отображено на рис. 1, 2.

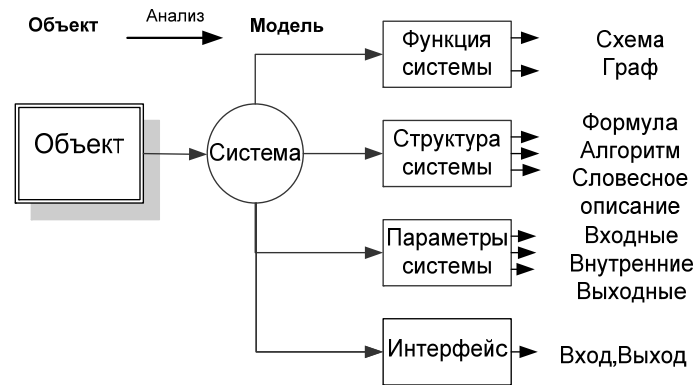


Рис. 1. Этапы анализа объекта

При аналитическом подходе объект представляется системой. Построение модели начинается с выяснения трёх вопросов: во-первых, что делает система, каково её функциональное назначение (функциональный анализ); во-вторых, как система устроена (структурный анализ); в-третьих, насколько эффективно она функционирует (параметрический анализ); в-четвёртых, как представляется информация для исследователя (информационный анализ). Далее, строится описание модели системы на структурном уровне с помощью схем, графов и др.; на функциональном уровне с помощью формул, алгоритмов и др.; на параметрическом уровне путём задания входных, выходных и внутренних параметров, а также показателей функционирования системы.

В задаче синтеза наоборот – объекта нет, и его надо создать, спроектировать. Для решения этой задачи надо сделать четыре шага: выявить функцию системы (абстрактный синтез), разработать структуру системы (структурный синтез), определить параметры системы так, чтобы обеспечить критерий функционирования системы (параметрический синтез) и представление информации проектировщику и заказчику (информационный синтез).

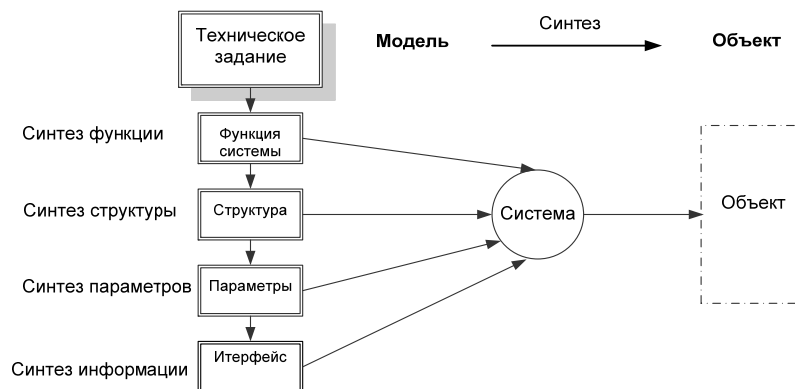


Рис. 2. Этапы синтеза объекта

Несмотря на внешнюю простоту процедуры формального синтеза на практике оказываются очень сложными. Основные проблемы, которые возникают при проектировании сложных технических объектов:

- невозможность наблюдать реакции объекта на конкретные воздействия среды, что не позволяет использовать для построения моделей методы идентификации;
- изменчивость свойств и условий применимости объекта и среды, что не даёт использовать для оценки показателей функционирования (ПФ) классические методы математической статистики;
- необходимость оптимизации стоимости испытаний, а не их количество.

Анализ проектируемых объектов требует разработки и обоснования новых подходов к моделированию, т. е. построению и исследованию моделей [1, 2].

А.И. Кухтенко систематизировал уровни абстрактного описания систем [6], а Н.П. Бусленко – типовые схемы описания элементов и их взаимодействия, опираясь на

которые можно строить ряд усложняющихся моделей [7]. К.А. Пупков и И.Г. Железнов предложили способы учёта при статистической оценке показателя функционирования изменения свойств объекта и среды в процессе системного проектирования, но ограничились их иллюстрацией, или применением в случаях, допускающих получение аналитических выражений [8]. Ю.М. Смирнов строго обосновал эти подходы и распространил их на общий случай произвольной зависимости показателя функционирования от случайных параметров с произвольным законом их распределения. Ю.Г. Поляк сформулировал эвристические приёмы (принципы и правила) [9], которые в большинстве случаев обеспечивают получение достоверных результатов на моделях минимальной сложности, но которые требуют строгого обоснования.

Переход от описания проектируемой системы к модели в общем случае не формализуем. Однако, в отдельных прикладных областях сформированы *эвристические* приёмы построения моделей, которые можно условно разделить на *принципы* и *методы*.

Принципы определяют общие свойства, которыми должна обладать построенная модель, а *методы* дают способы получения нужных свойств модели. На рис. 3 представлена иерархическая структура общих эвристических рекомендаций (принципов и методов), которые задают скелет неформальных («правдоподобных») рассуждений, выполняемых при построении модели [9]. Сплошная стрелка соединяет более общий принцип или метод с частным, его реализующим. Пунктирная стрелка означает возможность использования принципа или метода, на которое она направлена, при реализации другого принципа или метода.

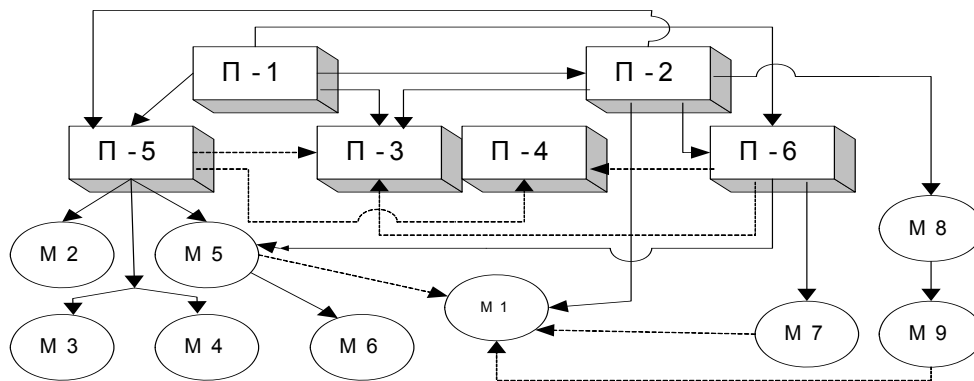


Рис. 3. Иерархическая структура общих эвристических рекомендаций (принципов и методов)

Принципы:

- П 1. Принцип «разумной сложности»
- П 2. Принцип баланса точностей модели и описания.
- П 3. Принцип разнообразия элементов.
- П 4. Принцип наглядности.
- П 5. Принцип структурирования.
- П 6. Принцип специализации.

К указанным принципам следует отнести ещё и принцип аналогии.

Методы:

- М 1. Параллельное моделирование вариантов системы.
- М 2. Минимальный обмен информацией между блоками модели.
- М 3. Удаление блоков, мало влияющих на критерий интерпретации результатов.
- М 4. Удаление окончечных блоков с модификацией критерия интерпретации.
- М 5. Замена внешних воздействий, зависящих от исследуемой части системы, множеством независимых воздействий.
- М 6. Выбор детерминированного, вероятностного или игрового эквивалента при замене входных блоков модели.

М 7. Проверка точности модели на серии условных моделей, эквивалентных более полной модели в типовых ситуациях.

М 8. Проверка точности модели по сходимости результатов, полученных на моделях возрастающей сложности.

М 9. Сравнение моделей различной сложности в пределах допуска, найденного на более простой модели.

Принципы П-1 и П-2 могут быть использованы в качестве грубых критериев правильности составления модели. Для обоснования этих принципов приведём следующие рассуждения.

Пусть моделирование представляет процесс, описываемый уравнениями

$$z = Ax,$$

где A – оператор преобразования входных данных x (в простейшем случае набор дифференциальных уравнений, связывающих z и x) и

$$y = Bz,$$

где B – оператор усреднения (статистическая оценка показателя функционирования).

Всегда задаются неточные исходные данные \tilde{x} , операторы \tilde{A}, \tilde{B} с определённой погрешностью, тогда оценим неточно и результат моделирования (показатель функционирования) \tilde{y} .

$$\tilde{y} - y = \tilde{B}(\tilde{A}\tilde{x}) - B(Ax)$$

Введём относительную погрешность восприятия исходных данных (γ), модели (α) и реализацию операторов обработки данных (β)

$$\gamma = \frac{\|\tilde{x} - x\|}{\|x\|}, \alpha = \frac{\|\tilde{A} - A\|}{\|A\|}, \beta = \frac{\|\tilde{B} - B\|}{\|B\|}.$$

В качестве нормы может применяться, например, евклидова норма $\|x\| = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_m^2}$.

Относительная погрешность результатов моделирования есть сумма относительных погрешностей реализации алгоритма моделирования (α), относительной погрешности усреднения при статистической оценке показателя функционирования (β) и относительной погрешности исходных данных (γ)

$$\frac{\|\tilde{y} - y\|}{\|y\|} \cong \alpha + \beta + \gamma.$$

Изменение относительной погрешности связано с дополнительными затратами на ресурсы.

Пусть $S_\alpha, S_\beta, S_\gamma$ – расход ресурсов, тогда относительная погрешность обратно пропорциональна корню из ресурсов

$$\alpha = \frac{\tau_\alpha}{\sqrt{S_\alpha}}, \beta = \frac{\tau_\beta}{\sqrt{S_\beta}}, \gamma = \frac{\tau_\gamma}{\sqrt{S_\gamma}}.$$

$\tau_\alpha, \tau_\beta, \tau_\gamma$ – коэффициенты, устанавливаемые на основе предыдущего опыта, экспериментальной операции или интуиции.

Действительно, если модель представляет систему линейных дифференциальных уравнений, то матрица содержит n^2 элементов. Погрешность восприятия модели обратно пропорциональна размерности задачи $\alpha \approx 1/n$, а затраты на реализацию модели пропорциональны $S_\alpha \approx n^2$. Отсюда $\alpha \approx 1/\sqrt{S_\alpha}$. Другой пример – относительная погрешность оценки математического ожидания средним арифметическим обратно пропорциональна количеству опытов \sqrt{n} , а затраты – пропорциональны числу опытов n .

Если известна связь относительных погрешностей с соответствующими затратами, то можно минимизировать суммарную погрешность при ограничении на эти затраты, т. е. решить задачу оптимизации.

$$\begin{cases} F = \frac{\tau_\alpha}{\sqrt{S_\alpha}} + \frac{\tau_\beta}{\sqrt{S_\beta}} + \frac{\tau_\gamma}{\sqrt{S_\gamma}} \rightarrow \min \\ G = S_\alpha + S_\beta + S_\gamma = S_0 \end{cases},$$

Эта задача имеет аналитическое решение. Используя уравнения Лагранжа

$$\frac{\partial F}{\partial S_i} + \lambda \frac{\partial G}{\partial S_i} = 0,$$

и введя обозначения $\lambda = \frac{\delta^{3/2}}{2}$, $\tau_i = \mu_i^{3/2}$, находим $S_i = \frac{\mu_i}{\delta}$, где $i = (\alpha, \beta, \gamma)$. Далее, имеем

$$S_\alpha + S_\beta + S_\gamma = S_0 = \frac{\mu_\alpha + \mu_\beta + \mu_\gamma}{\delta}.$$

В итоге находим

$$S_\alpha = \frac{\tau_\alpha^{2/3}}{\tau} S_0, \quad S_\beta = \frac{\tau_\beta^{2/3}}{\tau} S_0, \quad S_\gamma = \frac{\tau_\gamma^{2/3}}{\tau} S_0,$$

где $\tau = \tau_\alpha^{2/3} + \tau_\beta^{2/3} + \tau_\gamma^{2/3}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов Ю.М. Состояние и перспективы развития методов системного проектирования / Сб. трудов «Методы кибернетики и инф. Технологии», вып. 1. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1994.
2. Салангин А.А. Методология системного анализа проектируемых технических комплексов (монография). – Псков : Изд-во ППИ, 2009. – 280 с.
3. Романовский Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С. Математическое моделирование в биофизике. – М.: Наука, 1975.
4. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. – М.: Наука, 1997.
5. Попов Ю. П., Самарский А.А. Вычислительный эксперимент. – М.: Знание, 1983.
6. Кухтенко А.И. Абстрактная теория систем, современное состояние и тенденции развития. – Киев : Наукова думка, 1982. – 328 с.
7. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
8. Железнов И. Г. Сложные технические системы (оценка характеристик): учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 1984. – 117 с.
9. Поляк Ю.Г. Вероятностное моделирование на электронных вычислительных машинах. – М.: Советское радио, 1971. – 400 с.

А.А. САЛАНГИН

ДВУХЭТАПНЫЙ ПОДХОД К РАСПРЕДЕЛЕНИЮ РЕСУРСОВ В СИСТЕМНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Рассматривается способ двухэтапного распределения ресурсов, когда на первом этапе обеспечивается максимальный рост параметрических множителей, характеризующих эффективность затрат по направлениям проекта, а на втором этапе обеспечивается развитие направлений с наибольшим значением параметрического множителя.

В работах [1–3] раскрыты существо системного подхода и основные положения магистрального метода распределения ресурсов (МРР) при параметрическом синтезе. Проблемными остаются вопросы:

- реализации МРР при его эффективности, когда не гарантируется достоверное определение вторых производных от критериальной функции F и функции ограничения G ;
- выбора субоптимальных распределений при нереализуемости или неэффективности МРР.

Данная статья посвящена анализу второй группы вопросов, когда неэффективность или нереализуемость стационарного решения задач распределения ресурсов при реализации проектов сложных технических систем приводит к необходимости использовать другие подходы.