

Министерство образования
и науки Российской Федерации



Е.Б. Солонин

ИСТОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Электронный текстовый ресурс

Подготовлено кафедрой Технической физики, ФТИ

Теоретические материалы к самостоятельным работам по курсу «История и методология интеллектуальных информационных систем» для студентов всех форм обучения.

Ориентированы на обучение студентов основам современных информационных технологий. Предназначены для ознакомления с системными понятиями, которые существенно влияют на разработку интеллектуальных ИС.

Екатеринбург

2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

1.	Системы и их свойства	3
2.	История системных исследований	10
3.	Моделирование систем.....	14
4.	Системный анализ.....	19
	4.1 Корпорация RAND и методика PATTERN.....	19
	4.2 Принципы системного анализа	21
	4.3 Структура системного анализа	22
5.	Исследование операций.....	25
	5.1 Линейное программирование	26
	5.2 Целочисленное линейное программирование.....	28
	5.3 Динамическое программирование.....	31
6.	Другие системные дисциплины.....	33
	6.1 Методы прогнозирования и принятия решений	33
	6.2 Синергетика	36
	6.3 Системная динамика	37
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	39
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	40

1. СИСТЕМЫ И ИХ СВОЙСТВА

Существует много определений термина «система». Обычно под системой понимается множество объектов (предметов, явлений, знаний), находящихся в отношениях и связях друг с другом и образующих определенную *целостность*. Целостность выражается в наличии у системы свойств, которыми не обладают ее части по отдельности. Понятию системы противостоит понятие *совокупности* объектов, не обладающего качеством целостности.

В число наиболее важных особенностей систем включают [2]:

- система представляет собой целостный комплекс взаимосвязанных элементов;
- система находится в единстве с окружающей ее средой;
- исследуемая система обычно является частью системы более высокого порядка;
- части системы, как правило, также являются системами.

Изучение систем независимо от их масштабов природы носит название *системных исследований*. Основная проблематика системных исследований включает [3]:

- проблему порождения свойств целого из свойств элементов;
- проблему иерархического строения систем и поиски вытекающей отсюда специфики взаимосвязи уровней системного объекта;
- проблему управления как специфического способа регулирования взаимосвязей между уровнями системы;
- невозможность детерминистского объяснения строения и жизнедеятельности систем;
- неотделимость описания системы от описания условий ее существования.

На первых этапах изучения любой системы важно уметь отделить систему от среды, с которой она взаимодействует. Обычно это достигается за счет определения системы через входы и выходы, посредством которых она взаимодействует со средой. Такое представление системы называют *черным ящиком*. В процессе системного исследования граница между системой и средой

оказывается изменчивой: некоторые части системы могут быть перенесены в ее среду, а составляющие среды, имеющие сильные связи с системой, могут быть включены в состав самой системы.

Рассмотрим наиболее важные понятия, связанные с системами [7].

Понятие *подсистемы* подразумевает, что из системы можно выделить часть, также обладающая свойствами системы. Если выделенная часть не обладает системными свойствами, а представляет собой простое множество объектов, то ее принято называть *компонентом*.

Элемент является атомарной частью системы, не подлежащей дальнейшему делению. Признание частей системы элементами – не абсолютно, оно зависит от аспекта рассмотрения. То, что с одной точки зрения является элементом, с другой может иметь сложную структуру. Например, для организационных систем человек является неделимым элементом, а с точки зрения медицины – это сложная система. При делении многоуровневых систем принято использовать термины *подсистемы* или *компоненты*.

Связь – понятие, существенное для определения системы. Связи обеспечивают сохранение системы в качестве целостного объекта. Это понятие характеризует как *структуру*, так и функционирование системы. Связь можно определить как ограничение, налагаемое на составные части системы. Среди прочих выделяют понятие *обратной связи* – воздействие системы или ее подсистем на самих себя в целях саморегулирования.

Структура отражает взаимосвязи частей системы, ее организацию, устройство или строение. При этом в сложных системах структура включает не все элементы и связи между ними, а лишь наиболее существенные и устойчивые.

Известны различные виды структур: иерархические (в том числе многоуровневые), матричные структуры, смешанные иерархические структуры с вертикальными и горизонтальными связями, структуры с произвольными связями.

Система может быть представлена различными структурами в зависимости от стадии ее изучения, аспекта рассмотрения, цели работ. Структуры, в том числе

иерархические, существенно помогают в изучении сложных систем. Такие системы изучаются последовательно, с использованием процесса декомпозиции. Возможно, это единственный способ справиться со сложностью систем.

Структура может быть представлена: графически, в виде *матрицы инцидентности*, в форме теоретико-множественных зависимостей и некоторых других видах.

Структурный аспект системного исследования предполагает построение:

- объектной структуры, отражающей состав взаимодействующих объектов предметной области;
- функциональной структуры, отражающей состав и взаимосвязь функций системы;
- структуры управления, включающей события и правила, которые воздействуют на выполнение процессов;
- организационной структуры (для организационных систем), отражающей взаимодействие организационных подразделений и персонала.

Для организационных систем (включающих деятельность человека) важную роль играет понятие цели и связанные с ним понятия *целенаправленности* и *целесообразности*. Цели систем чаще всего формулируется в форме желаемых конечных результатов, достижимых в пределах некоторого интервала времени.

Рассмотрим также понятия, характеризующие функционирование и развитие систем.

Состояние – понятие, характеризующее систему в любой момент ее существования. Состояние характеризуется множеством параметров, которые образуют *фазовое пространство* системы.

Поведение – понятие, характеризующее переход системы из одного состояния в другое, т. е. ее траекторию в фазовом пространстве.

Равновесие – характеристика системы, позволяющая ей как угодно долго сохранять свое состояние при условии отсутствия или постоянства внешних воздействий. Различают ситуации устойчивого и неустойчивого равновесия.

Устойчивость – возможность возвращения системы в исходное состояние после того, как она была из него выведена внешним воздействием.

Развитие – понятие, помогающее объяснить процессы постепенной адаптации систем к изменениям среды. Системы, которые обладают способностью развиваться, называются *самоорганизующимися системами*.

Перейдем к вопросу *классификации систем*. Системы разделяют на классы по различным основаниям. Наиболее важными являются классификации по степени *сложности* и степени *организованности* систем.

Классификация систем по сложности включает:

- сложность с точки зрения количества элементов (*большие системы*)
- сложность с точки зрения функций системы и разнообразия ее элементов (*сложные системы*).

Сложные системы обладают особыми свойствами, например, свойством *робастности*. Робастность означает способность сохранять частичную работоспособность системы при отказе отдельных элементов или целых подсистем. Оно обусловлено функциональной избыточностью сложной системы и проявляется не в отказе, а лишь в снижении ее возможностей в зависимости от интенсивности неблагоприятных воздействий. В противоположность этому, простая система может находиться либо в работоспособном состоянии, либо в состоянии отказа.

Американский экономист К. Боулдинг предложил шкалу сложности систем, состоящую из девяти уровней.

1. Уровень статической структуры. К таким системам можно отнести: расположение электронов в атоме, строение кристалла, анатомию животного и т. п.
2. Простые детерминированные динамические системы. Примеры: Солнечная система, механическое устройство.
3. Уровень управляющего механизма или кибернетической системы. Система характерна тем, что стремится к сохранению равновесия.

4. Уровень открытой системы, уровень клетки. Кроме биологических объектов, к этому уровню можно отнести реки и пожары.
5. Уровень генетического сообщества. Примерами могут являться растения. Характерен специализацией клеток. Система характеризуется разрозненностью приемников информации и неспособностью обрабатывать ее большие объемы.
6. Уровень животных. Системы характеризуются мобильностью, целесообразным поведением, самосохранением. Развитые информационные рецепторы, нервная система, мозг.
7. Уровень человека. Самосознание, отличное от простого самосохранения, рефлексия, речь.
8. Уровень социальной организации.
9. Уровень трансцендентальных систем, не поддающихся анализу, но обладающих структурой.

По степени организованности системы делятся на хорошо организованные, плохо организованные (диффузные) и самоорганизующиеся.

Система считается *хорошо организованной*, если удастся определить все ее компоненты и все их взаимосвязи между собой и с окружающей средой в виде вполне определенных (детерминированных) зависимостей. При этом часто приходится пренебрегать несущественными для конкретного системного исследования аспектами системы.

Плохо организованная (*диффузная*) система является противоположностью хорошо организованной системе. Степень организованности таких систем не позволяет определить все компоненты и связи. Вместо этого система характеризуется набором макропараметров и закономерностями, которые выявляются статистически, на основе представительной выборки элементов, связей и алгоритмов функционирования. Полученные статистическим методом параметры и закономерности применяются затем ко всей системе. При этом важно знать, какова адекватность этой процедуры. При использовании частных

закономерностей их распространение на систему в целом возможно лишь с определенной вероятностью, которую необходимо оценить.

Представление объектов в виде диффузных систем находит широкое применение в сфере массового обслуживания, при определении пропускной способности систем разного рода, необходимых резервных мощностей и др. Для решения подобных задач применяется *теория массового обслуживания*.

Представление объекта в виде самоорганизующейся системы позволяет исследовать наиболее сложные объекты и процессы, связанные с развитием и адаптацией.

Особенности самоорганизующихся систем:

- нестабильность параметров и стохастичность поведения;
- уникальность и непредсказуемость поведения системы в конкретных условиях;
- способность адаптироваться к изменяющимся условиям внешней среды и помехам, вырабатывать варианты поведения;
- способность изменять свою структуру, сохраняя при этом целостность и основные свойства;
- способность и стремление к формированию целей своего функционирования.

Существуют также классификации систем по

- уровню однородности;
- линейности описания;
- типу компонентов системы (технические, экономические, биологические и др.);
- предметной области (математические, физические и др.);
- по детерминированности или стохастичности;
- по объективности существования: материальные и абстрактные.

По признаку однородности системы можно также подразделить на *гомогенные* и *гетерогенные*. Гомогенные системы состоят из структурно-однородных, взаимозаменяемых элементов. Гетерогенные системы состоят из разнородных элементов, не обладающих свойством взаимозаменяемости.

Система называется *линейной*, если она описывается линейными соотношениями (алгебраическими, дифференциальными), в противном случае – *нелинейной*. Линейные системы подчиняются принципу суперпозиции: отклик системы на любую комбинацию внешних воздействий равносителен сумме откликов на каждое из этих воздействий по отдельности.

Сложные системы обычно являются нелинейными. Для упрощения их анализа часто применяют процедуру *линеаризации*, при которой нелинейную систему приближенно описывают линейными уравнениями в некоторой узкой (локальной) области изменения переменных.

Если поведение системы можно однозначно предсказать, т. е. входы системы однозначно определяют ее выходы, то она является *детерминированной*, в противном случае – *недетерминированной (стохастической)*. Детерминированность характерна для относительно простых систем, рост сложности постепенно ведет к недетерминированности.

Выделяют *материальные* и *абстрактные* системы. Первые разделяются на системы неорганической природы (физические, геологические, химические), технические (произведенные человеком) и живые системы (организмы, популяции, виды, экосистемы). Особый класс материальных систем образуют социальные системы (от простейших социальных объединений до социально-экономической структуры общества). Системы, в которых человек играет существенную роль, называются также *эргатическими*.

Абстрактные системы – это логически организованные понятия, гипотезы, теории, научные знания. Для создания абстрактных систем важное значение имеет единый формализм описания.

2. ИСТОРИЯ СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Системные представления существуют уже давно, поскольку одной из важнейших категорий классической философии является категория «целое» в противоположность «части». Слово «система» появилось в Древней Греции и означало сочетание, организацию, союз. Оно выражало и некоторые акты деятельности (система – нечто, приведенное в порядок). Именно в античной философии был сформулирован важнейший системный тезис – целое (система) больше суммы его частей.

Дифференциация наук в XVIII–XIX веках привела к появлению многочисленных научных дисциплин, имеющих собственный научный аппарат и предмет исследования. В то же время, начиная с конца XIX века стало расти число задач, требующих междисциплинарного подхода (освоение новых территорий, строительство железных дорог и др.). Появилась потребность в объединении методов и достижений специальных дисциплин с целью решения подобных задач.

Выдающийся английский ученый Чарльз Дарвин (1809–1882) создал теорию, которая объяснила происхождение видов путем естественного отбора, благодаря которому выживают и оставляют потомство наиболее приспособленные к существующим условиям особи. Виды и среда их обитания рассматриваются им системно, в тесном взаимодействии, которое и является движущей силой эволюции.

Существенный вклад в становление системных представлений внес А.А. Богданов (1873–1928). Основное его сочинение – «Всеобщая организационная наука» (т. 1–2, 1913–1917) [4]. Богданов выдвинул идею создания науки об общих принципах организации – *тектологии*, чем предвосхитил некоторые достижения кибернетики.

Тектология – наука об организации систем и закономерностях структурных изменений в системах. Тектология исходит из фундаментального единства различных систем: живой и неживой природы, общественных и социальных групп и объединений.

А.А. Богданов считал, что всякая человеческая деятельность является организующей или дезорганизующей, и что дезорганизация есть одна из форм организации. В любой области деятельности происходит борьба организационных форм, и в ней побеждают более организованные формы. Причина этого состоит в том, что организационная система есть нечто большее, чем сумма составляющих ее элементов, а дезорганизационная – всегда меньше суммы своих частей.

В своей работе А.А. Богданов явным образом использовал понятие системности. Качество системы по Богданову зависит от уровня равновесия, в котором находятся различные ее аспекты, в результате чего формируются организованные, неорганизованные и нейтральные системы. В самой системе он различал закономерности развития, приводящие к переходу системы из одного состояния в другое, и закономерности функционирования, поддерживающие существование системы в текущем состоянии.

Основоположником *теории систем* считается Л. фон Берталанфи (1901–1972), австрийский ученый, по образованию биолог, с 1949 проживавший в США и Канаде. Еще в 30-х годах XX века Л. фон Берталанфи выдвинул «общую теорию систем», задачи которой состоят в разработке принципов и математического аппарата описания разных типов систем. Он обобщил принципы целостности, организации и изоморфизма в единую концепцию. Основные достижения общей теории систем приходятся на период после Второй мировой войны.

Важной вехой явилось создание в 1954 г. в США «Общества исследований в области общей теории систем» («Society for General System Research»). Его членами-учредителями были Л. фон Берталанфи, известный философ, психолог и специалист по математической биофизике А. Рапопорт, экономист К. Боулдинг и биолог Р. Жерар.

Л. фон Берталанфи сформулировал проблематику построения общей теории систем. Для этого необходимо:

- сформулировать общие принципы и законы поведения систем безотносительно к их специальному виду и природе составляющих их элементов;

- способствовать построению системных моделей для тех областей науки, в которых они отсутствуют;
- заложить основы для синтеза научного знания в результате выявления изоморфизма законов, относящихся к различным сферам деятельности.

Общая теория систем мыслилась им как фундаментальная наука, исследующая проблемы систем различной природы. Основная цель заключалась в выработке адекватного понятийного аппарата. К числу недостатков теории систем Л. фон Берталанфи относят неполное определение понятия «система», отсутствие особенностей саморазвивающихся систем и теоретического исследования связей.

Начиная с 60-х годов XX века исследования в области систем разделились на два больших потока. Первый продолжал традицию общей теории систем, целью второго было практическое использование системных представлений для решения различных технических, экономических и научных задач. Второе направление получило название «прикладные системные исследования».

В настоящее время круг дисциплин, связанных с изучением сложных систем, принято называть *системными исследованиями*, а их применение – *системным подходом*. Системные исследования – это вся совокупность научных и технических проблем, которые сходны в понимании и рассмотрении исследуемых ими объектов как систем, т. е. единого целого, образованного из элементов. Главной задачей системного исследования является рассмотрение системы как реальности, обладающей особыми свойствами и требующей применения специальных исследовательских средств.

В 60-е годы XX века при решении сложных проблем проектирования и управления получило распространение направление под названием системотехника (в оригинале – System Engineering). основополагающий труд в данной области – Г. Гуд, Р. Маколл, «Системотехника. Введение в проектирование больших систем».

Термин «системотехника» традиционно используется в приложении к техническим системам, а для других направлений был предложен термин «*системология*», введенный в 1965 г. И.Б. Новиком.

В области задач управления получил распространение термин *кибернетика*, использованный Н. Винером в качестве названия созданной им новой науки. Американский математик Н. Винер (1894–1964) в своем фундаментальном труде «*Кибернетика*» (1948) сформулировал основные положения этой науки. Предметом изучения в кибернетике стали управление, связь и обработка информации в технике, живых организмах и человеческом обществе. Первоначально кибернетика претендовала на то, чтобы стать философией всего направления, связанного с изучением и созданием систем. В дальнейшем основное развитие получила ветвь кибернетики, связанная с разработкой и изучением сложных технических систем – *техническая кибернетика*.

Наряду с общенаучными требовалось решение и практических системных задач. Так, в связи с задачами военного характера (планирование военных операций) возникла дисциплина *исследование операций*. В ней использовались методы оптимизации, статистики и математического программирования. Однако дисциплина «исследование операций» оказалась плохо приспособленной к проектированию сложных систем.

Еще одно традиционное направление – *системный анализ*. Данный термин впервые появился в 1948 году в опубликованных работах корпорации RAND в связи с задачами разработки дорогостоящих систем вооружения. В результате этих исследований была разработана первая методика системного анализа – RATTEN. В настоящее время системный анализ широко используется при проектировании сложных технических систем, для организации эффективного управления в масштабах предприятия, корпорации, региона, государства и даже цивилизации в целом (проблемы экологии, народонаселения, мирового промышленного развития).

В качестве других системных дисциплин можно назвать *теорию прогнозирования и принятия решений, синергетику, системную динамику*.

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ

При исследовании и проектировании систем традиционно важную роль играет *моделирование*. Под моделированием понимается процесс отображения реально существующего или проектируемого объекта в форме идеального образа или *модели*. Процесс моделирования включает построение модели, изучение ее свойств и перенос полученных результатов на реальный объект. Следует иметь в виду, что и сама модель может являться самостоятельным объектом изучения.

Существует разветвленная классификация видов моделирования, основные деления приведены на рис. 1.

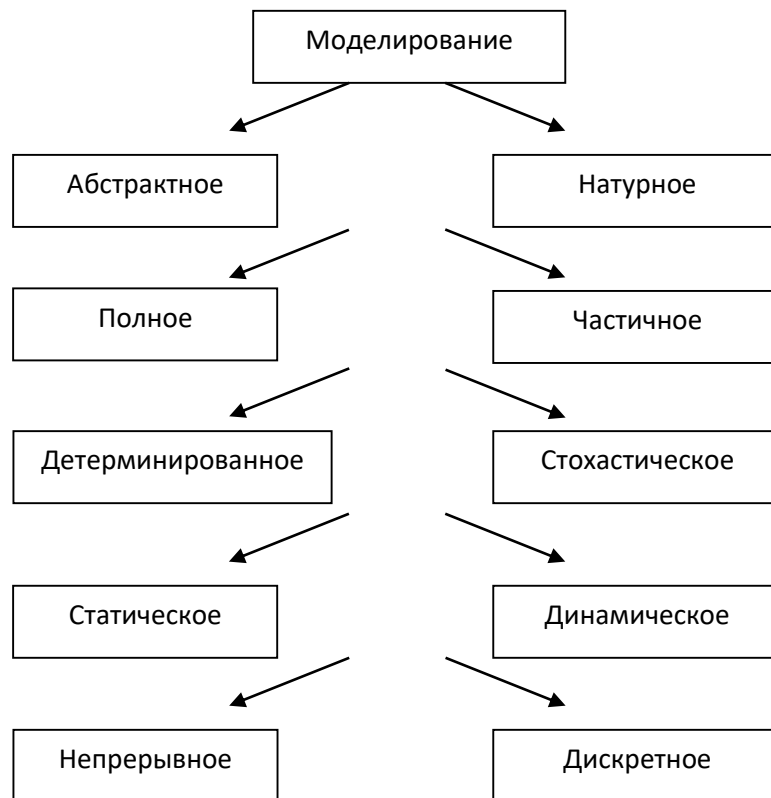


Рис. 1. Классификация видов моделирования

По своему назначению модели делятся на:

- функциональные модели, описывающие совокупность функций, выполняемых системой;
- модели поведения, которые описывают динамику функционирования в таких терминах как состояние системы, событие, последовательность событий, переход из одного состояния в другое;

- модели управления;
- информационные модели, отражающие структуры данных и их взаимосвязи;
- модели морфологии (структура системы и ее элементов).

Абстрактное моделирование (рис. 1) применяется в случаях, когда *натурное* моделирование невозможно или экономически нецелесообразно. Основную роль в абстрактном моделировании играет *математическое моделирование*, являющееся процессом установления соответствия между реальным объектом и его математическим аналогом, который называется математической моделью. Вид математической модели зависит как от природы реального объекта, так и от задач его исследования.

Составляющие математического моделирования:

- аналитическое моделирование;
- имитационное моделирование;
- информационное моделирование;
- структурное моделирование;
- ситуационное моделирование.

Аналитическое моделирование представляет собой запись в форме математических соотношений основного закона или алгоритма функционирования объекта. Применяется главным образом для моделирования функционального аспекта системы. Аналитическая модель исследуется несколькими методами:

- аналитическим, когда стремятся получить в общем виде зависимости, связывающие искомые характеристики с начальными условиями, параметрами и переменными состояниями системы;
- численным, когда не удается решить уравнения в общем виде; в этом случае стремятся получить числовые результаты для конкретных исходных данных;
- качественным, когда при отсутствии явного решения можно найти некоторые свойства решения – например, устойчивость.

Пусть $T = [t_0, t_1]$ – временной интервал моделирования системы S (интервал модельного времени). Построение модели начинается с определения параметров и переменных, определяющих процесс функционирования системы. *Параметры* системы $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m$ – это характеристики системы, остающиеся постоянными на всем интервале T.

Переменные бывают зависимые и независимые.

Независимые – это входные воздействия (в том числе управляющие):

$$u = u(t) = (u_1(t), \dots, u_n(t)) \in U,$$

воздействия внешней среды:

$$v = v(t) = (v_1(t), \dots, v_m(t)) \in V,$$

и состояния системы:

$$x = x(t) = (x_1(t), \dots, x_k(t)) \in X.$$

Состояния x отличаются от параметров p тем, что характеризуют свойства системы, изменяющиеся во времени. X – это *пространство состояний* или *фазовое пространство*. Последовательность x для $t_1 < t_2 < \dots < t_N$ называется *фазовой траекторией* системы.

Зависимые – *выходные характеристики (сигналы)*

$$y = y(t) = (y_1(t), \dots, y_p(t)) \in Y.$$

Множество переменных u, v, p, x, y вместе с законами функционирования $x(t), y(t)$ называется математической моделью системы.

Если t непрерывно, то модель называется непрерывной, иначе – дискретной. Если модель не содержит случайных элементов, то она называется *детерминированной*, в противном случае – *вероятностной*.

Если математическое описание модели слишком сложное и частично или полностью не определена, то в этом случае используются *агрегированные модели*. Сущность такой модели заключается в разбиении системы на конечное число взаимосвязанных подсистем, каждая из которых допускает стандартное математическое описание. Эти подсистемы называются *агрегатами*.

При *имитационном моделировании* воспроизводится функционирование системы – полностью или в некоторых аспектах. Основным преимуществом имитационного моделирования перед аналитическим является возможность решения более сложных задач. Имитационная модель должна отражать логику и закономерности поведения объекта, она включает большое число параметров, описывающих все его аспекты.

В имитационном моделировании часто используются аппроксимации экспериментальных зависимостей и метод Монте-Карло – численный метод, который применяется для моделирования случайных величин и функций, вероятностные характеристики которых совпадают с таковыми для самой системы. Метод состоит в многократном воспроизведении процессов, являющихся реализациями случайных величин и функций, с последующей статистической обработкой полученной информации.

Комбинированное моделирование позволяет объединить достоинства аналитического и имитационного моделирования. Производится предварительная декомпозиция функциональной модели системы на функциональные блоки. Для тех из них, где это возможно, строятся аналитические модели, а для остальных – имитационные.

Информационное моделирование связано с построением моделей как множества функциональных блоков, имеющих ряд входов и выходов, причем входы и выходы могут быть связаны между собой. При этом отсутствует непосредственное подобие процессов, происходящих в реальном объекте и в модели. Изучается реакция модели на подаваемые на входы воздействия.

Структурное моделирование включает выявление, исследование и построение структур различных типов (иерархических, матричных и др.). Развитием структурного моделирования является объектно-ориентированное моделирование, которое объединяет функциональные и морфологические структуры в классы, включающие как данные, так и функции.

Ситуационное моделирование воспроизводит действия человека-эксперта в той или иной ситуации. Основой построения модели является описание объекта в

виде совокупности элементов (фреймов), связанных между собой отношениями, отражающими семантику предметной области. Ситуационная модель имеет многоуровневую структуру.

Натурным моделированием называют проведение исследований на реальном объекте или его натурной модели с последующей обработкой результатов на основе теории подобия. Натурное моделирование подразделяется на:

- научный эксперимент;
- комплексные испытания, в которых путем многократного повторения испытаний выявляются закономерности функционирования объектов;
- производственный эксперимент; здесь возможна реализация натурального моделирования на основе обобщения данных, накопленных в ходе реальной производственной деятельности.

При *полном моделировании* модели адекватны объекту по структуре и функционированию. Для *неполного* моделирования эта идентичность не сохраняется. Моделируется часть объекта или часть его функций.

Детерминированное моделирование отображает процессы, в которых отсутствуют случайные воздействия. *Стохастическое* моделирование учитывает вероятностные воздействия или изменения параметров самой системы. Выделяют две разновидности стохастического моделирования: без противника и с противником. Второй случай служит предметом *теории игр*.

Статическое моделирование служит для описания состояния объекта в фиксированный момент времени, а *динамическое* – для исследования поведения объекта во времени. При этом динамическое моделирование гораздо более распространено.

Модели также могут быть *дискретными, непрерывными и смешанными*. Для дискретного моделирования часто используется представление конечных автоматов и аппарат теории графов, а для непрерывных – теорию дифференциальных уравнений.

4. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

4.1 Корпорация RAND и методика PATTERN

Термин *системный анализ* впервые появился в 1948 году в публикациях корпорации RAND (**R**esearch **a**nd **D**evelopment – «Исследования и разработка») – американского исследовательского центра, основанного в городе Санта-Моника в 1948 г. с целью конструирования самолетов и ракетной техники в интересах ВВС США.

С начала 1950-х годов RAND работает по заказам американских правительственных организаций. В сфере ее интересов – исследования по проблемам национальной безопасности, оценка качества и стоимости перспективных вооружений, а также рисков, связанных с их разработками. Начавшееся в 1950-х годах создание принципиально новых типов вооружений послужило развитию прикладных системных исследований, в том числе и в RAND Corporation. С начала 1960-х специалисты RAND занимаются также вычислительной техникой и программированием.

Первоначально системный анализ базировался главным образом на применении сложных математических приемов. Довольно скоро выяснилось, что одна только математика недостаточно эффективна при анализе междисциплинарных проблем, которые возникают при разработке принципиально новой техники. Постепенно стала вырабатываться такая концепция системного анализа, в которой упор делается преимущественно на разработку и применение системных принципов и подходов, включая анализ систем с учетом их реальной сложности и внутренних конфликтов. Здесь на первый план выдвигаются процедуры и логика принятия решений, а математические методы играют роль инструмента анализа.

Первой методикой системного анализа стала PATTERN (Planning Assistance Through Technical Evaluation from Relevant Number – поддержка планирования посредством относительных показателей технической оценки) фирмы «Хониуэлл», входящей в корпорацию RAND. Ее назначением было

перспективное планирование разработки дорогостоящих систем вооружения с учетом прогноза развития науки и техники. Глубина планирования в методике PATTERN составляла 10–15 лет, что примерно соответствует длительности жизненного цикла военной техники. В системе PATTERN использовались такие понятия как относительная важность целей, взаимная полезность достижений науки и техники, влияние одних разработок на другие. Структура методики представлена на рис. 2. В последующем PATTERN стала применяться и в других областях – научные программы (НАСА), проектирование и создание сложных систем.

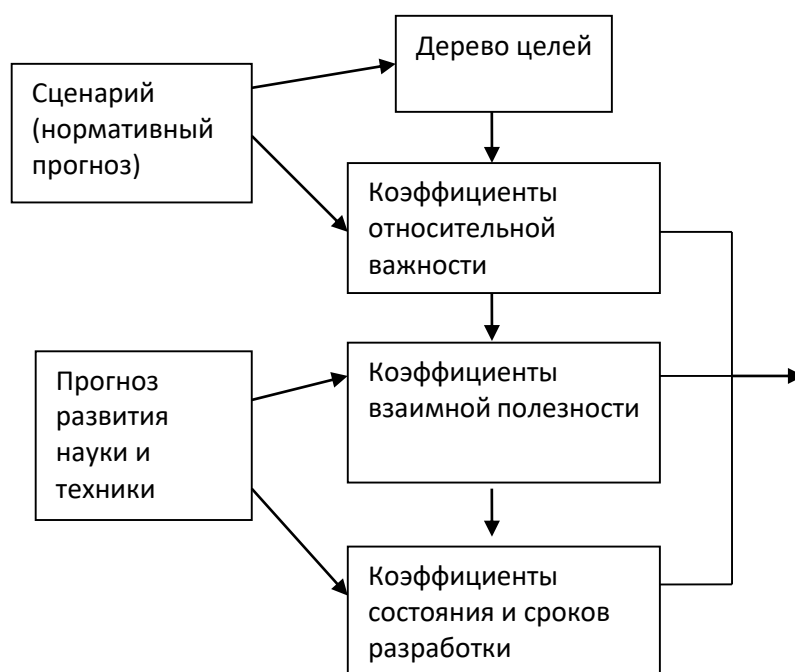


Рис. 2. Компоненты методики PATTERN

Основой PATTERN является формирование *дерева целей*, причем логика формирования структуры дерева целей вырабатывалась вне методики, экспертами в конкретной области. Иерархия целей могла быть, например, такова:

- национальные цели;
- направления деятельности;
- задания;
- программы.

Системный анализ [1] предлагает в качестве основного метода расчленение сложной проблемы (анализ) на более простые, обозримые и лучше поддающиеся исследованию, при сохранении целостного (системного) представления о проблеме. Сохранение целостности достигается за счет применения противоположного анализу приема – *агрегирования*.

Системный анализ использует как концептуальные, так и формализованные методы, привлекая весь спектр достижений наук о системах. Методики системного анализа в целом схожи с методиками проектирования или исследования сложных систем, однако специфика системного анализа состоит в том, что в любых своих действиях он должен опираться на понятие системы и использовать закономерности систем.

Какой-либо единой, общепризнанной методики системного анализа не существует. Существуют лишь методики отдельных организаций, особенно консалтинговых – McKinsey и др., – для решения определенного класса системных задач. Тем не менее, можно назвать принципы, свойственные всем методикам.

4.2 Принципы системного анализа

Принцип конечной цели. При проведении системного анализа следует прежде всего определить цель исследования. Это касается как задачи исследования существующей системы, так и разработки новой системы. От формулировки цели зависят такие фундаментальные понятия как показатели качества системы и критерии их оценки, а для проектируемых систем сверх того – их функции и структура.

Принцип измеримости. Необходимы количественные оценки качества системы, в особенности применительно к надсистеме (государству, региональной экономике, рынку и др.) Такими количественными оценками занимается специальное научное направление – теория эффективности.

Принцип иерархии. Сложные системы не могут создаваться или исследоваться иначе как на основе иерархической декомпозиции. Введение иерархии подсистем упрощает разработку системы и определяет порядок ее исследования.

Принцип модульного построения. При исследовании или проектировании сложных систем необходимо выделение относительно независимых модулей с обеспечением возможности их отдельного рассмотрения или создания. Здесь необходимо определение интерфейса в терминах вход/выход.

Принцип развития означает учет изменчивости системы во времени, возможность ее адаптации к изменяющимся условиям и требованиям. В основу создаваемой системы следует закладывать возможность наращивания масштаба, расширения функций, других усовершенствований. Для определения возможной динамики системы принцип развития также требует учета предистории системы и действующих тенденций. Одним из основных понятий здесь является *жизненный цикл системы*.

Принцип неопределенности – это необходимость учета неопределенностей и случайностей в системе. Можно изучать или проектировать систему, в которой существует неполнота или неопределенность информации в отношении структуры, функционирования или воздействия внешней среды. Принцип неопределенности приводит к вариантности анализа: можно отдельно оценивать «наихудшие» ситуации и проводить оценку *гарантированного результата*. Часто рассматривают три варианта: наилучший (оптимистический), наихудший (пессимистический) и усредненный (наиболее вероятный).

4.3 Структура системного анализа

Системный анализ начинается с *декомпозиции*, которая включает:

- выделение системы из среды;
- определение общей цели и основной функции;
- описание воздействующих факторов;
- описание тенденций развития;
- описание как «черного ящика»;
- функциональная, компонентная и структурная декомпозиция.

Базовыми структурами при декомпозиции являются последовательное или параллельное соединение элементов, в том числе с помощью обратной связи.

Структурная декомпозиция (по подсистемам) имеет смысл, если границы подсистем в процессе анализа существенно не изменяются.

При функциональной декомпозиции осуществляется разбиение на функциональные подсистемы, основываясь на единстве функций, выполняемых их частями. Выявляются основные процессы в системе, их роль, условия осуществления. Определяется стадийность процессов и смен состояния элементов, условия начала и окончания процессов. Исследуется степень управляемости процессов. Для управляемых процессов выявляются управляющие воздействия, их источник и механизм влияния на процесс.

Для выделения системы из среды исследуются основные внешние воздействия на систему (входы): их тип (информационные, материальные), степень влияния на систему, основные характеристики. Определяются также те элементы внешней среды, на которые воздействуют основные выходы системы. Оценивается влияние случайных и неопределенных факторов на основе *анализа чувствительности* поведения системы. Случайные и неопределенные факторы обычно рассматриваются как внешние по отношению к системе.

По завершении декомпозиции начинается фаза анализа, которая может включать:

- функционально-структурный анализ;
- генетический анализ;
- анализ аналогов;
- анализ эффективности;
- формирование требований к системе.

Функционально-структурный анализ существующей системы позволяет сформулировать требования к создаваемой системе. Он включает определение состава и алгоритмов функционирования элементов, их взаимодействия, разделение управляемых и неуправляемых параметров, анализ целостности системы.

Генетический анализ представляет собой анализ предыстории системы, причин существующей ситуации и ее тенденций к изменению.

Анализ аналогов должен включать оценку возможности их адаптации для целей данной системы, а также возможность совместного применения нескольких аналогов, если функциональных возможностей каждого из них по отдельности не достаточно.

Анализ эффективности включает выбор показателей эффективности, формирование критериев оценки, оценивание и последующий анализ полученных оценок.

Завершает системный анализ стадия *синтеза*, включая

- разработку модели системы;
- синтез структуры;
- синтез параметров;
- оценивание системы.

Под синтезом понимается либо синтез проекта (модели) объекта, либо синтез новой (более совершенной) системы в целом.

Разработка модели обычно включает создание пакета моделей – информационной, структурной, функциональной и других моделей.

Синтез структуры подразумевает создание и рассмотрение альтернативных структур будущей системы, которые в принципе способны решить задачу системного анализа.

5. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ

Первые формальные разработки по исследованию операций (ИО) были инициированы в Англии во время Второй мировой войны, когда команда британских ученых сформулировала и нашла решение задачи наиболее эффективной доставки военного снаряжения на фронт. После окончания войны эти идеи были перенесены в гражданскую сферу для повышения эффективности и продуктивности экономической и производственной деятельности. Сегодня теория исследования операций является основным и неотъемлемым инструментом при принятии решений в самых разнообразных областях человеческой деятельности.

Основой исследования операций является математическое моделирование. Хотя данные, полученные в процессе исследования математических моделей, являются основой для принятия решений, окончательный выбор обычно делается с учетом многих других, не имеющих числового выражения факторов (таких как человеческое поведение), которые невозможно отобразить в математических моделях.

При решении любой конкретной задачи применение методов исследования операций предполагает:

- построение математических моделей для задач принятия решений и управления в сложных ситуациях или в условиях неопределенности;
- изучение взаимосвязей, определяющих возможные последствия принимаемых решений;
- установление критериев эффективности, позволяющих оценивать относительное преимущество определенного варианта действий.

При решении задач ИО ставятся следующие вопросы:

- каковы переменные модели, т. е. чем можно управлять;
- что представляет собой целевая функция;
- какие ограничения должны быть учтены.

Наиболее известны следующие методы исследования операций: методы математического программирования, теория игр, теория массового обслуживания, эвристические методы.

Математическое программирование, в свою очередь, включает:

- линейное программирование, когда целевая функция и все ограничения являются линейными;
- целочисленное линейное программирование, когда все переменные должны принимать целые значения;
- нелинейное программирование, когда целевая функция и (или) ограничения являются нелинейными;
- динамическое программирование, при котором решение задачи оптимизации разбивается на ряд последовательных этапов,

Задачи математического программирования могут быть *детерминированными* и *вероятностными*. Для детерминированных задач характерна определенность всех соотношений модели и критерия оптимальности. Случайные отклонения от этих соотношений допускаются, но считаются пренебрежимо малыми. В отличие от этого, вероятностные задачи носят существенно статистический характер, т. е. случайность составляет здесь неотъемлемую часть модели.

Обычно методы исследования операций не позволяют получить решение в конечном виде, т. е. в виде формул. Они лишь порождают итеративные алгоритмы, пошагово приближающие к решению. Их практическая реализация обычно невозможна без использования компьютеров и специализированных программных средств.

5.1 Линейное программирование

Линейное программирование (ЛП) как научная дисциплина ведет начало от работ Л.В. Канторовича, лауреата Нобелевской премии по экономике, выполненных в 30-х годах XX века. Значительным является вклад экономиста В.В. Леонтьева, предложившего модель «затраты–выпуск». Данная работа была

удостоена Нобелевской премии по экономике за 1973 г. Сам термин «линейное программирование» ввел американский математик Дж. Данциг. Он же предложил наиболее распространенный метод решения задач ЛП – так называемый симплекс-метод.

Задача линейного программирования может быть сформулирована следующим образом [6].

Пусть x_1, \dots, x_n – переменные, причем

$$x_1 \geq 0, \dots, x_n \geq 0.$$

Необходимо найти такие значения $x_i, 0 \leq i \leq n$, чтобы достигался максимум линейной функции

$$L = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (1)$$

при выполнении m ограничений типа неравенств:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &\leq b_1, \\ \dots & \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &\leq b_m. \end{aligned} \quad (2)$$

В качестве простого примера рассмотрим следующую задачу. Пусть имеется предприятие, выпускающее два вида продукции. Обозначим через x_1 суточное производство (в тоннах, т) первого продукта, через x_2 – суточное производство второго продукта. Анализ спроса показал, что производство первого продукта не должно превышать 4 т, а второго – 3 т. Прибыль от продажи одной тонны первой продукции составляет 2500 руб., второго – 3000 руб. Для производства тонны продукта требуется 2 т сырья, второго продукта – 3 т сырья. Суммарный расход сырья ограничен количеством 15 т.

Компания хочет определить наилучшую с точки зрения доходности программу выпуска.

Целевая функция здесь будет

$$z = 2500x_1 + 3000x_2,$$

а ограничения:

$$x_1 \leq 4, x_2 \leq 3,$$

$$2x_1 + 3x_2 \leq 15,$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$$

Для того чтобы найти оптимальное решение, нужно построить множество допустимых решений и на нем определить точку, доставляющую максимум целевой функции. Максимум прибыли достигается при

$$x_1 = 4 \text{ т}, x_2 = 2.333 \text{ т},$$

он равен

$$z = 17\,000 \text{ руб.}$$

Обычно вместо задачи (1), (2) рассматривают так называемую стандартную задачу линейного программирования, переходя в (2) от неравенств к равенствам

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1k}x_k &= d_1, \\ \dots & \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mk}x_k &= d_m, \end{aligned} \tag{3}$$

добавляя к левой части новые неотрицательные переменные x_i . Это, в частности, позволяет использовать упоминавшийся выше симплекс-метод. Данный метод сводит задачу линейного программирования к поиску вершины n -мерного многогранника, в которой достигается максимум линейного функционала, т. е. целевой функции. Симплекс-метод заключается в пошаговом переборе вершин многогранника, осуществляемого таким образом, чтобы на каждом шаге значение функционала возрастало.

5.2 Целочисленное линейное программирование

В отличие от обычной задачи линейного программирования в целочисленном линейном программировании (ЦЛП) все или некоторые переменные должны принимать целые (или дискретные) значения. Если требования целочисленности относятся лишь к некоторым переменным, то такие задачи называются частично целочисленными.

Приведем пример использования ЦЛП [6]. Имеется пять проектов с заданной прибыльностью, рассчитанных на три года каждый:

Проект	Затраты 1-й год	Затраты 2-й год	Затраты 3-й год	Прибыль
1	5	1	8	20
2	4	7	10	40
3	3	9	2	20
4	7	4	1	15
5	8	6	10	30
Доступно (млн)	25	25	25	

Необходимо выбрать проекты так, чтобы суммарная прибыль была максимальной. Задача сводится к поиску переменных x_1, \dots, x_5 , принимающих значения 0 или 1:

$x_i = 0$, если проект не утвержден,

$x_i = 1$, если проект утвержден.

При этом целевая функция

$$z = 20x_1 + 40x_2 + 20x_3 + 15x_4 + 30x_5$$

должна достичь максимума. Ограничения:

$$5x_1 + 4x_2 + 3x_3 + 7x_4 + 8x_5 \leq 25,$$

$$x_1 + 7x_2 + 9x_3 + 5x_4 + 6x_5 \leq 25,$$

$$8x_1 + 10x_2 + 2x_3 + 1x_4 + 10x_5 \leq 25.$$

Оптимальным целочисленным решением задачи является

$$x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = 1, x_5 = 0,$$

при $z = 95$ млн у. е.

Если пренебречь требованием целочисленности, то получится решение:

$$x_1 = 0.5789, x_2 = x_3 = x_4 = 1, x_5 = 0.7368,$$

при $z = 108.68$ млн у. е. Если прибегнуть к округлению и взять $x_1 = x_5 = 1$, то будут нарушены ограничения задачи.

Вообще говоря, простое отбрасывание дробной части решения обычной задачи ЛП допустимо в практических случаях лишь тогда, когда все x_i достаточно велики. Чем ближе они к нулю, тем выше погрешность – вплоть до получения совершенно неверного результата.

Решение задач ЦЛП сводится к решению обычной непрерывной задачи с последующим введением дополнительных ограничений, связанных с минимизацией дробной части переменных и изменяющих область допустимых решений.

Существует два таких метода: метод ветвей и границ, метод отсекающих плоскостей (сечений).

Метод ветвей и границ сводится к исключению из области допустимых решений тех значений переменной, которые заведомо являются дробными. Пусть, например, при решении задачи ЛП мы получили значение 4.22 для целой переменной x_i . В соответствии с методом ветвей и границ исходная задача заменяется задачами ЛП1 и ЛП2 с дополнительными ограничениями:

$$x_i \leq 4 \text{ для ЛП1,}$$

$$x_i \geq 5 \text{ для ЛП2.}$$

Задачи ЛП1 и ЛП2 решаются по отдельности; при этом анализируется достигнутое значение целевой функции. Если при решении некоторой дополнительной задачи получены целые значения x_i и при этом величина z отличается менее чем на 1 от z для непрерывного случая, то задачу можно считать решенной. В противном случае аналогично рассматриваются другие переменные. Метод не гарантирует получения результата.

Р. Гомори в конце 50-х годов XX века разработал систематический метод построения сечений, который за конечное число итераций приводит к оптимальному результату.

5.3 Динамическое программирование

В отличие от задач линейного программирования, решаемых за один шаг, задачи динамического программирования являются многоэтапными (многошаговыми). На каждом этапе решается своя частная задача, обусловленная исходной задачей.

Динамическое программирование [5] начало развиваться в 50-х годах XX в. в работах Р. Беллмана. Он сформулировал следующий принцип, называемый *принципом оптимальности*: каково бы ни было состояние системы перед очередным шагом, надо выбрать управление на этом шаге так, чтобы выигрыш на данном шаге плюс оптимальный выигрыш на всех последующих шагах был максимальным.

Отсюда следует, что сначала нужно найти оптимальное управление на n -м шаге, затем на двух последних шагах и т. д. вплоть до первого шага. Но для того, чтобы найти решение на n -м шаге, нужно знать, как мог закончиться $(n-1)$ -й шаг. Здесь используются рекуррентные соотношения, обычно в форме уравнения Беллмана.

Целевая функция в динамическом программировании зависит от управления U и начального состояния x_0 системы: $z = F(x_0, U)$.

Первоначально динамическое программирование использовалось для оптимального управления запасами. Под запасами здесь понимаются любые виды ресурсов, которые пополняются, хранятся и расходуются. Это могут быть материальные ресурсы, денежные средства и др. Уровень запасов в любой момент времени определяется начальным уровнем, приходом и расходом запасов за каждый промежуток времени. Цель управления запасами – минимизация расходов предприятия на хранение, пополнение и расходование запасов. Управлением здесь является принятие решений от расходе или пополнении запасов за весь интересующий период времени.

Задачи динамического программирования подразделяются на детерминированные и стохастические. В первом случае все параметры и переменные определены однозначно. В случае стохастических задач они либо

носят вероятностный характер с известной функцией распределения, либо могут управляться «противником». В этой последней ситуации модель должна быть в состоянии определить *гарантированный результат*, чем занимается дисциплина «Теория дифференциальные игр».

Со временем оказалось, что принципы и методы динамического программирования весьма универсальны, что позволило распространить их на широкий круг технических и экономических задач.

6. ДРУГИЕ СИСТЕМНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1 Методы прогнозирования и принятия решений

Методы прогнозирования и принятия решений используются при принятии долгосрочных программ развития предприятий [11]. Для формирования долгосрочных планов необходимо:

- сформулировать проблему предприятия (организации), связанную с долгосрочной перспективой;
- сформировать цели предприятия (организации) и критерии эффективности ее достижения;
- всесторонне изучить проблему;
- осуществить прогнозирование деятельности предприятия (организации) в системном взаимодействии с внешней средой;
- сформулировать множество допустимых решений, изучить альтернативные решения с учетом заданных критериев;
- принять решение (план, программу);
- исполнить решение и оценить результаты.

Методы прогнозирования и принятия решений подразделяются на количественные и качественные.

Количественные методы основываются на информации, которую можно получить, изучая статистически достоверные зависимости, характеризующие деятельность объекта управления. Здесь используется аппарат теории временных рядов, теории экстраполяции и интерполяции, теории вероятности и математической статистики, теории случайных функций и случайных процессов, регрессионного и корреляционного анализа. При использовании математических методов необходимо убедиться в адекватности имеющихся данных, т. к. неподходящая исходная информация приведет к неверным результатам, даже если сами методы применены корректно.

Качественные методы основаны на оценках специалистов в области принятия решений. К ним относятся экспертный метод, метод эвристического

прогнозирования, морфологический анализ, использование «дерева решений», прогнозирование по аналогии.

Экспертный метод состоит в опросе специалистов в данной области и обработке данных опроса. Используется «метод голосования», когда крайние точки зрения или значения прогнозируемых параметров отбрасываются, а оставшиеся – усредняются. Ключевым фактором здесь является выбор группы экспертов.

Метод эвристического прогнозирования близок к экспертному методу, но является более структурированным. Опрос экспертов заменяется заполнением специально разработанных таблиц, отражающих исходную точку зрения на проблему.

Морфологический анализ подразумевает анализ возможных решений проблемы, образуемых всеми допустимыми вариантами составляющих этих решения. Метод предложен Ф. Цвикки. Согласно методу морфологического анализа, следует выделить ключевые характеристики будущего решения, затем найти все возможные значения этих характеристик, после чего исследовать множество сочетаний характеристик. Метод особенно хорошо зарекомендовал себя при поиске новых путей решения проблем в области техники (технических устройств).

Использование «дерева решений» подразумевает последовательную декомпозицию проблемы, выделение частных проблем, приписывание частным проблемам весов (коэффициентов значимости). На этой основе формулируются сценарии достижения цели, оцениваются риски и возможные затраты.

Прогнозирование по аналогии заключается в использовании опыта предыдущего решения аналогичных задач. Данный метод ориентирован на использование наиболее надежных сведений о проблеме и методах ее решения. Он требует привлечения наиболее опытных специалистов в данной области прогнозирования.

Перейдем к собственно принятию решений. Важнейшими понятиями здесь являются:

- стратегия управления;
- акт управления (операция);
- субъект управления, или оператор;
- ресурсы управления;
- ограничения на управления.

Акт управления, или операция, должен относиться к стабильным, повторяющимся действиям, результат которых можно предвидеть или даже рассчитать. Уникальность операций привела бы к невозможности использования математического аппарата и любых количественных оценок. В тех случаях, когда операция все же является уникальной, следует произвести ее декомпозицию на более простые управленческие действия.

Результат любого акта управления зависит от принятых в организации общих принципов управления, т. е. стратегии. Основой стратегии управления можно считать конкретный способ увязки операций с используемыми ресурсами управления.

В операции могут участвовать один или несколько субъектов управления, возможно, преследующих различные цели. Несовпадение целей создает конфликтную ситуацию. Подобные операции называются многосторонними или конфликтными.

Для достижения цели субъект управления должен располагать некоторым запасом ресурсов, используя которые он может добиваться достижения цели. Сам запас ресурсов, в свою очередь, зависит от поставленной цели.

Возможности субъекта управления при реализации любой стратегии всегда ограничены. Ограничения могут иметь материальный, финансовый, кадровый, правовой характер. Стратегии управления, удовлетворяющие наложенным ограничениям, называются возможными или допустимыми.

Теория принятия решений использует имеющийся аппарат из области исследования операций, но ее особенностью является сочетание точных и эвристических методов при поиске оптимального способа реализации целей организации.

6.2 Синергетика

Синергетика – это системная научная дисциплина, изучающая общие закономерности образования и исчезновения упорядоченных структур в сложных системах, далеких от равновесия. Такие системы могут функционировать лишь при условии взаимодействия с внешней средой – внешних потоков вещества и энергии.

Термин *синергетика* предложен Г. Хакеном [10], немецким физиком. Важный вклад в основополагающие положения синергетики внес И. Пригожин, лауреат Нобелевской премии по химии.

В результате исследований ученых разных специальностей, понятийный аппарат теории неравновесных систем был обогащен такими терминами, как динамический хаос, аттрактор, точка бифуркации. Помимо собственно синергетики, возникли такие новые дисциплины как теория катастроф, теория хаоса, теория фракталов и др.

Теория катастроф занимается изучением бифуркаций, т. е. скачко-образных явлений, происходящих в системах, описываемых гладкими функциями. Автором теории катастроф считается французский математик Р. Том, хотя первые важные результаты были получены А. Пуанкаре. Р. Том рассмотрел семь типов катастроф при достаточно общих предположениях о модели системы. Теория катастроф сегодня применяется в различных областях техники, экономики, в прикладных научных исследованиях.

К настоящему времени известно уже много примеров физических и химических систем, в которых из хаотических состояний возникают высокоупорядоченные пространственные, временные или пространственно-временные структуры. В таких системах проявляются схожие черты поведения при переходе от неупорядоченного состояния к упорядоченному. Следовательно, функционирование таких систем подчиняется одним и тем же фундаментальным принципам. Например, хаотические системы чувствительны к малым воздействиям, как в начальной точке, так и по всей траектории в фазовом

пространстве. Могут наблюдаться сложные, длительные хаотичные переходные режимы, топология которых описывается фрактальной геометрией.

Оказалось, что синергетику можно привлечь для изучения явления самоорганизации, т. е. возникновения порядка из хаоса. В то же время синергетика применима и для изучения обратного процесса – переход упорядоченного состояния в состояние хаоса.

6.3 Системная динамика

Системная динамика – это научная дисциплина, исследующая поведение сложных систем в зависимости от структуры их элементов и взаимодействия между элементами. Системная динамика была предложена Дж. Форрестером в середине 1950-х гг. В 1961 г. Дж. Форрестер опубликовал ставшую классической книгу «Индустриальная динамика». На русском языке эта книга вышла в 1971 г. под названием «Основы кибернетики предприятия» [8].

Особенное внимание в системной динамике уделяется компьютерному моделированию систем. Первоначально все расчеты проводились вручную, что сдерживало распространение метода, однако в 1958 г. был создан первый язык моделирования методом системной динамики, названный SIMPLE. В 1959 г. появилась улучшенная версия SIMPLE – система моделирования DYNAMO (DYNAmic MOdels).

Начавшись с анализа отдельных предприятий, системная динамика позже стала использоваться и для изучения глобальных проблем. В основном, это была тематика Римского клуба, который занимался такими вопросами как экспоненциальный рост населения планеты в условиях ограниченности природных ресурсов. Полученные Дж. Форрестером результаты изложены в книге «Мировая динамика» [9], вышедшей в 1971 г.

Системно-динамическая модель включает несколько основных элементов: уровни, потоки, функции и др.

Уровни представляют собой значения переменных модели, накопленные как разности между входящими и исходящими потоками. Виды уровней

соответствуют видам потоков. *Потоки* – скорости изменения уровней. В системной динамике рассматриваются шесть видов потоков: материалов, оборудования, заказов, денежных средств, рабочей силы, информации.

Функции решений (вентили) – функции зависимости потоков от уровней. Могут выражаться как простейшими линейными зависимостями, так сложными нелинейными уравнениями и алгоритмами. *Переменные* модели – это параметры, необходимые для определения функций. *Каналы информации* – управляющие каналы, соединяющие вентили с уровнями.

Линии задержки служат для задания возможной задержки потоков. Например, это может быть задержка между заказом на какие-либо ресурсы и его исполнением. Линии задержки характеризуются параметрами запаздывания и типом переходного процесса.

Для системно-динамических моделей характерен комплексный подход к выбору переменных. В их число включаются технические, экономические, организационные и другие факторы, каждый из которых может оказать существенное влияние на поведение модели. При этом все факторы измеряются в свойственных им единицах. Таким образом, здесь реализован междисциплинарный подход к моделированию.

Для исследования мировой динамики [9] были выбраны переменные, характеризующие рост населения, капиталовложения, географическое пространство, природные ресурсы, производство продуктов питания, загрязнение окружающей среды.

Системно-динамические модели, отвечающие запросам управления, включают от нескольких десятков до нескольких тысяч переменных. Нижний предел близок к минимуму, который отражает основные типы поведения системы (предприятия). Верхний предел ограничивается нашими возможностями понимания системы, всех ее взаимосвязей и результатов моделирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Знание современных достижений в области системных исследований необходимо как для анализа существующего состояния различных систем, так и для их создания (проектирования). Многообразие системных наук и дисциплин позволяет успешно решать задачи идентификации, анализа, проектирования, оптимизации, прогнозирования систем в различных областях деятельности. Аппарат системных наук продолжает развиваться как в направлении решения проблем отдельных дисциплин, так и в междисциплинарном направлении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонов, А.В. Системный анализ. Учеб. для вузов / А.В. Антонов. – М.: Высшая школа, 2004. – 454 с.
2. Блауберг, И.В. Становление и сущность системного подхода / И.В. Блауберг., Э.Г. Юдин. – М.: Наука, 1973. – 528 с.
3. Блауберг, И.В. Системные исследования и общая теория систем / И.В. Блауберг, В.Н. Садовский, Э.Г. Юдин // Системные исследования. Ежегодник. – М.: Наука, 1969. С. 7–30.
4. Богданов, А.А. Тектология. Всеобщая организационная наука. В 2-х кн. / А.А. Богданов. – М.: Экономика, 1989. – кн. 1 – 304 с., кн. 2 – 351 с.
5. Калихман, И.Л. Динамическое программирование в примерах и задачах / И.Л. Калихман, М.А. Войтенко. – М.: Высшая школа, 1979. – 125 с.
6. Таха, Х. Введение в исследование операций / Х. Таха. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. – 912 с.
7. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Справочник / В.Н. Волкова, А.А. Емельянов (ред.) – М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2009. – 848 с.
8. Форрестер, Дж. Основы кибернетики предприятия / Дж. Форрестер. – М.: Прогресс, 1971. – 340 с.
9. Форрестер, Дж. Мировая динамика / Дж. Форрестер – М.: ООО «Издательство АСТ», 2003. – 379 с.
10. Хакен, Г. Синергетика / Г. Хакен. – М.: Мир, 1980. – 405 с.
11. Черноруцкий, И.Г. Методы принятия решений / И.Г. Черноруцкий. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.

Учебный электронный текстовый ресурс

Евгений Борисович Солонин

ИСТОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Подготовка к публикации *А.А. Жиленко*

Компьютерная верстка *Е.Б. Солонина*

Рекомендовано Методическим советом

Разрешен к публикации 16.03.2018

Электронный формат – pdf

Объем 1,5 уч.-изд. л.



620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Информационный портал УрФУ