Федеральное агентство по образованию Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

Национальный проект «Образование»

Инновационная образовательная программа ННГУ. Образовательно-научный центр «Информационно-телекоммуникационные системы: физические основы и математическое обеспечение»

Ю.А. Кузнецов, О.В. Мичасова

Теоретические основы имитационного и компьютерного моделирования экономических систем

Учебно-методические материалы по программе повышения квалификации «Применение программных средств в научных исследованиях и в преподавании математики и механики»

> Нижний Новгород 2007

Учебно-методические материалы подготовлены в рамках инновационной образовательной программы ННГУ:

Образовательно-научный центр

«Информационно-телекоммуникационные

системы: физические основы и математическое обеспечение»

Кузнецов Ю.А., Мичасова О.В. Теоретические основы имитационного и компьютерного

моделирования экономических систем. Учебно-методический материал по программе

повышения квалификации «Применение программных средств в научных исследованиях

и в преподавании математики и механики». Нижний Новгород, 2007, 111с.

Учебно-методический материал содержит теоретические основы имитационного

моделирования, практические примеры имитационных моделей, реализованные в

программных пакетах Simulink и Ithink, а также сравнение современных программных

средств для имитационного моделирования. Также в учебно-методическом материале

представлено сравнение основных систем компьютерной математики, которое

сопровождается практическими примером построения математической модели

экономического роста в ППП MatLab.

© Кузнецов Ю.А., Мичасова О.В. 2007.

2

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Глава 1. Специализированные математические пакеты в анализе экономических	
процессов	6
Глава 2. Имитационное моделирование	
Глава 3. Системная динамика	53
Список литературы	72
Приложение	74

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее важных аспектов экономико-математического моделирования в настоящее время являются компьютерные технологии. Высокие темпы их развития в настоящее время обусловили появление множества программных средств, которые позволяют создавать компьютерные модели экономических процессов. Однако такое разнообразие не только не упрощает выбор программного средства для решения той или иной задачи, но и в некоторой мере даже усложняет его, поскольку перед учеными встает проблема выбора правильного программного обеспечения, которое позволит максимально быстро построить компьютерную модель, соответствующую целям проводимого исследования. Ошибка в таком выборе может существенно повысить трудоумкость нахождения решения и даже привести к возникновению ошибок, которые отрицательно скажутся на результатах моделирования.

В данном учебно-методическом пособии рассмотрен ряд программных средств, которые могут использоваться для построения экономико-математических моделей. Необходимо отметить, что в рамках пособия рассмотрено два подхода к моделированию: построение математических моделей с применением систем компьютерной математики и построение имитационных моделей.

Имитационное моделирование — это один из видов математического моделирования, которое позволяет имитировать принципы работы сложных систем. Применение имитационного моделирования оправдано в тех случаях, когда модель должна дать ответ на какие-то практические вопросы, а не устанавливать фундаментальные законы и закономерности. Использование пакетов имитационного моделирования не требует знания каких-либо сложных математических инструментов и позволяет строить модели достаточно высокого уровня сложности.

Для более строго исследования математических моделей используются системы компьютерной математики, которые позволяют реализовывать не только численные, но и символьные вычисления, а также обладают множеством встроенных функций и приложений.

Для сравнения возможностей программных средств разных классов в пособии рассмотрена реализация одной и той же модели экономического роста с помощью пакетов MatLab, Simulink и Ithink. Проблема экономического роста считается одной из наиболее актуальных проблем макроэкономического развития. Причем под экономическим ростом [25] в экономической теории понимаются не кратковременные взлеты и падения

реального объема производства, а долговременные изменения естественного уровня реального объема производства, связанные с развитием производительных сил на долгосрочном временном интервале.

ГЛАВА 1. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ПАКЕТЫ В АНАЛИЗЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В настоящее время практически не возможно представить процесс построения экономико-математических моделей без использования специализированных программных средств. Очевидно, что выбор программного обеспечения очень широк и перед пользователем возникает проблема выбора того средства, которое позволит наилучшим образом построить модель не только удобную для пользователя, но и адекватно отображающую реальную ситуацию.

Существует ряд программных средств, которые позволяют строить модели без использования сложных математических функций и знания специального языка программирования. Примером таких средств могут служить различные пакеты имитационного моделирования и CASE-средства (Ithink, Vensim, Pilgrim, Stella и т.д.). Но такие средства не всегда удовлетворяют требованиям исследователей, сосредоточенных на более строгом, математически выверенном анализе макроэкономических динамических моделей. Те пользователи, которые ведут теоретические исследования и обладают более глубокими познаниями в теории динамических систем, обычно предпочитают использовать системы компьютерной математики (MatLab, MathCAD, Maple и т.д.), позволяющие использовать широкий спектр математических функций и ряд специализированных средств для моделирования динамических систем.

Обзор специализированных математических пакетов программ

Первоначально для осуществления расчетов использовались различные универсальные языки программирования. В начале 90-х гг. XX века на смену им пришли специализированные системы компьютерной математики (СКМ). Среди них наибольшую известность получили системы MatLab, MathCAD, Mathematica, Maple и др. Каждая из этих систем имеет свои достоинства и недостатки, однако все они подходят для сложных математических расчетов и позволяют сделать процесс вычисления максимально быстрым и удобным. Рассмотрим более подробно основные математические пакеты,[31, 33]

Пакет Maple - пакет символьных вычислений, разработанный фирмой Waterloo Maple Software. Эта система рассчитана на широкий круг пользователей и является типично интегрированной системой, то есть включает в себя язык программирования, редактор

документов библиотеки функций и т.д. Марle обладает большими возможностями для работы с дифференциальными уравнениями как в символьном, так и в численном виде. Также следует отметить, что система имеет достаточный уровень абстракции для воспроизведения не только основных формул, но и некоторых доказательств. [16]

В Марlе включены пакеты подпрограмм для решения задач линейной и тензорной алгебры, Евклидовой и аналитической геометрии, теории чисел, теории вероятностей и математической статистики, комбинаторики, теории групп, интегральных преобразований, численной аппроксимации и линейной оптимизации (симплекс метод), задач финансовой математики и т.д. Также имеется ряд расширений, которые могут использоваться для проведения исследований в физике и в химии.

Достоинства:

- интуитивно понятный интерфейс;
- простота управления параметрами и легкость подготовки графических процедур;
 - средства численного моделирования;
 - встроенные и библиотечные функции;
 - встроенные математические пакеты;
 - создание пользовательского интерфейса;
 - язык программирования;
 - встроенная справочная система.

Недостатки:

- условности и неточности в символьных вычислениях;
- неудачная интеграция Maple с Excel.

Пакет Mathematica был создан в 1988 году фирмой Wolfram Research, Inc. для осуществления символьных и численных вычислений. Система Mathematica является одной из самых крупных программных систем, она реализует одни из самых эффективных алгоритмов вычислений.

Маthematica позволяет решать задачи из линейной алгебры (включая приведение квадратичных форм к каноническому виду и приведение линейного оператора к жордановой форме), из математического анализа, тензорного анализа, теории дифференциальных уравнений (как обыкновенных, так и в частных производных). С

помощью системы Mathematica можно вычислять интегралы (определенные и неопределенные), решать дифференциальные уравнения (численно и аналитически). Причем с помощью этой системы можно получить не только окончательный ответ, но и промежуточные вычисления (например, разложение правильной рациональной функции в сумму элементарных дробей). Также Mathematica имеет мощный графический пакет для двумерных и трехмерных построений, а также приложение World Plot для построения географических карт. Еще одной особенностью данной системы является возможность обрабатывать файлы в формате цифрового звука и генерировать звуковые сигналы сложных волновых форм. [4]

Достоинства:

- проблемно-ориентированный язык программирования;
- множество пакетов-расширений;
- комплексная визуализация всех этапов вычислений;
- поддерживает формат MathML;
- встроенные функции;
- удобная справочная система;
- работа с анимацией и звуком;
- интеграция с пакетами Excel и Word.

Недостатки:

- достаточно сложный для понимания интерфейс;
- требует много места на жестком диске.

Пакет MathCAD является международным стандартом для технических вычислений. Он разработан фирмой Mathsoft, Inc. MathCAD и является одним из самых простых и удобных средств для осуществления математических вычислений. MathCAD обладает обширной библиотекой встроенных функций и численных методов, позволяет осуществлять символьные вычисления и строить графики разных типов, включает средства для подготовки печатных документов и Web-страниц, совместима с Microsoft Office. Также система позволяет программировать пользовательские функции, причем язык программирования максимально приближен к математическому языку. [15]

Работа с программой MathCAD интуитивно понятна даже для неподготовленного пользователя, и для простых задач напоминает работу с калькулятором, имеющим очень

много операций. Также пакет может быть полезен при обучении методам решения оптимизационных и статистических задач и способен повысить эффективность экономической деятельности. [17]

Достоинства:

- использование возможностей пакета Maple;
- удобный пользовательский интерфейс;
- быстрое осуществление численных расчетов;
- рассчитан практически на любого пользователя;
- наиболее приспособлен для конструкторской деятельности;
- встроенные и библиотечные функции;
- возможность передавать результаты в Internet в режиме on-line;
- поддерживает формат TeX;
- встроенная справочная система.

Недостатки:

- ограниченные возможности в области компьютерной алгебры;
- небольшое, по сравнению с другими пакетами, количество дополнительных возможностей.

Пакет MatLab представляет собой хорошо апробированную и надежную систему математического моделирования, рассчитанную на решение самого широкого круга математических задач с представлением данных в матричной форме, предложенной фирмой Math Works, Inc. Основным назначением MatLab является моделирование, анализ и визуализация динамических процессов, имеющих отношение к разнообразным сферам деятельности человека.

В системе MatLab присутствует довольно много исходных текстов программных модулей — функций, тестовых примеров. Такая открытость дает возможность пользователю не только разобраться в алгоритмах, но и модифицировать их для своих приложений и расширить сферу применения пакета. Конечно, MatLab уступает системам визуального программирования по ряду аспектов, но его возможности в этой области достаточно широки и усиливаются наличием специализированных приложений. Также в системе тщательно отработаны средства визуализации результатов вычислений и отображения различных графических объектов. [9]

Достоинства:

- использование возможностей пакета Maple;
- мощные средства диалога, графики и комплексной визуализации;
- встроенные и библиотечные функции;
- встроенные математические, финансовые, статистические пакеты;
- создание пользовательского интерфейса;
- язык программирования высокого уровня;
- встроенная справочная система;
- пакет-расширение Simulink для моделирования динамических систем;
- встроенные пакеты для связи с Excel и Word;
- поддержка средств Java.

Недостатки:

- отсутствие символьных вычислений;
- требует много места на жестком диске.

Сравнение этих пакетов между собой показывает, что каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. Выбор системы компьютерной математики для решения той или иной задачи должен обуславливаться не только личными предпочтениями пользователя, но и целями исследования, поскольку набор функций в пакетах не совсем идентичен.

Основные принципы работы математических пакетов на примере пакета MatLab

Историю появления пакета MatLab [9] связывают с именем профессора Cleve B. Mouler. Примерно 30 лет назад он принимал участие в разработке пакетов и программ на языке Fortran для решения задач линейной алгебры (Linpack) и исследованиях проблемы собственных значений матриц (Eispack). В 1980 году на международной конференции AFIPS он представил доклад "Design of an interactive matrix calculator", в котором впервые прозвучало название MatLab.

Второе рождение пакета MatLab связывают с Jack Little – президентом фирмы Math Works, который в начале 80-х годов перенес программу MatLab на более современные вычислительные платформы VAX, Macintosh и IBM PC.

Производители позиционируют MatLab как высокопроизводительный язык для технических расчетов. Он может использоваться для:

- математических вычислений,
- создания алгоритмов,
- моделирования,
- анализа, исследования и визуализации данных,
- научной и инженерной графики,
- разработки приложений, включая создание графического интерфейса.

В MatLab важная роль отводится специализированным наборам инструментов Toolboxes, которые позволяют изучать и применять специализированные методы: обработка сигналов, системы управления, идентификация систем, построение и анализ нейронных систем, поиск решений на основе нечеткой логики и т.д. Одной из наиболее важных сопутствующих программ является Simulink, который позволяет моделировать нелинейные динамические системы. Он имеет библиотеку стандартных графических блоков со встроенными математическими функциями, причем создание модели происходит с помощью мыши, то есть блоки соединяются информационными связями, что позволяет наглядно представить структуру модели. Именно поэтому Simulink часто называют средством визуального моделирования.

Система MatLab состоит из пяти основных частей:

- 1. Язык MatLab это язык массивов и матриц высокого уровня, который позволяет управлять потоками, структурами данных, функциями, вводом-выводом, а также обладает всеми особенностями языка объектно-ориентированного программирования.
- 2. Среда MatLab это набор инструментов и приспособлений, с помощью которых происходит управление переменными, данными и М-файлами.
- 3. Управляемая графика графическая система, которая позволяет визуализировать двух- и трехмерные данные, обрабатывать изображения, анимации и графики, а также создавать графический пользовательский интерфейс.
- 4. Библиотека математических функций включает множество функций: от самых простых до очень сложных.
- 5. Программный интерфейс это библиотека, которая позволяет писать программы на Си, которые взаимодействуют с MatLab.

По умолчанию после запуска пакета MatLab на экране появляется комбинированное окно, включающее четыре наиболее важные панели – Command Window, Command History, Workspace и Current Directory. Две последние панели закрывают друг друга, и для выдвижения нужной панели на первый план надо щелкнуть по соответствующей вкладке. Граница трех окон системы изменяют свои размеры и перемещаются вместе с главным окном, чтобы они занимали автономную позицию надо нажать кнопку Undock.

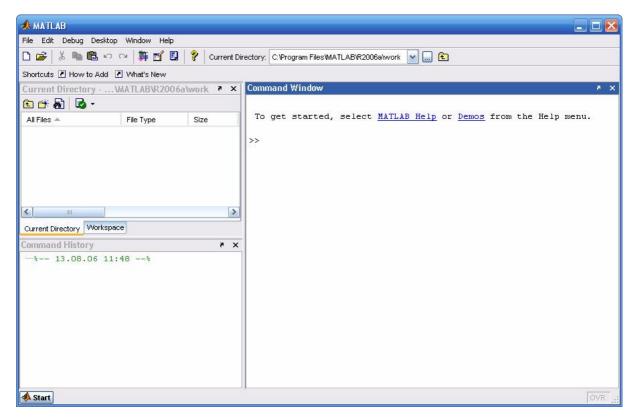


Рис.1.1. Окно системы MatLab

Основной панелью является Command Window. В ней набираются команды пользователя, подлежащие немедленному выполнению. Здесь же выдаются результаты исполняемых команд.

Окно Workspace отражает текущий набор переменных, заведенных пользователем в командном окне. Здесь можно увидеть их имена, размерность и тип представленных данных. Такую же информацию можно получить в командном окне после исполнения команды whos.

Окно Command History хранит все команды, набираемые пользователем, однако в отличие от Command Window сюда не попадают сообщения системы и результаты вычислений.

Главное меню состоит из пунктов меню File, Edit, Desktop, Help, Window, View и т.д.

Команды меню File:

- New переход в режим ввода новой программы;
- Ореп извлечение из файла ранее сохраненной программы;
- Save сохранение программы;
- Close Command Window закрыть командное окно;
- Import Data импортировать ранее сохраненные данные;
- Save Workspace As сохранить значения всех переменных рабочего пространства;
- Set Path задать список каталогов, просматриваемых системой, или изменить порядок их просмотра;
 - Preferences настройка параметров системы;
 - Page Setup настройка параметров страницы;
 - Print печать;
 - Print Selection печать выбранной области;
 - Exit MatLab выход из программы.

Команды меню Edit:

- Undo и Redo повторить и отменить ввод;
- Cut и Copy вырезать и копировать;
- Paste и Paste Special простая и специальная вставка;
- Select All выделить все; Delete удалить;
- Find и Find Files найти текстовый фрагмент или файл;
- Clear Command Window, Clear Command History и Clear Workspace очистка соответствующих окон.

Остальные пункты главного меню зависят от версии программы и от того, какое из окон на данный момент активно. В меню Help можно открыть справку или демонстрационные файлы. В меню Window можно выбрать порядок окон или закрыть все документы. В меню View (или в новых версиях Desktop) можно изменять вид рабочего

стола: определить количество одновременно видимых панелей среды (Desktop Layout); убрать панели инструментов или заголовки и т.д.

На панели инструментов кроме стандартных кнопок: New M-file, Open File, Cut, Copy, Paste, Undo, Redo, находятся кнопки Simulink (открывает приложение Simulink), GUIDE (открывает редактор интерфейсов) и Profiler (создание пользовательских графических интерфейсов для М-файлов), а также кнопка Help и кнопка определения текущей директории.



Рис. 1.2. Панель инструментов

В левом верхнем углу командного окна находятся два знака >>, которые символизируют начало строки. В этой строке можно набирать формулы или команды, удовлетворяющие синтаксису языка MatLab и завершающиеся нажатием клавише Enter. Если строка не убирается, то для перехода на новую строку надо набрать ..., а затем нажать Shift+Enter, при этом команда выполняться не будет.

Если все операнды формулы известны, то MatLab вычисляет значение выражения, помещая его в системную переменную ans:

```
>> 2*2
ans =
```

Если в выражении указан операнд, значение которого не известно, MatLab выдает сообщение об ошибке:

```
>> (x-1)*(x+1)
```

??? Undefined function or variable 'x'.

Точка с запятой, завершающая набор командной строки, подавляет автоматический режим вывода результата вычислений. Это позволяет производить многошаговые вычисления, сохраняя промежуточные результаты в соответствующих переменных.

```
>> s=sin(0.5);
>> c=cos(0.5);
>> x=s*s+c*c;
>> x
x =
```

Значения всех промежуточных переменных MatLab запоминает в рабочем пространстве. На выбор имен накладываются следующие ограничения:

- Можно использовать латинские буквы, цифры и символ подчеркивания;
- Большие и малые буквы в именах различаются;
- Имя должно начинаться с буквы;
- Длина может быть любой, но первый 31 символ должен обеспечивать уникальность имени.

МаtLab расшифровывается как «матричная лаборатория», так как основным видом данных в нем являются матрицы. Даже скалярные величины рассматриваются как матрицы размерности 1×1. Поэтому мы можем обратиться к единственному элементу массива с двумя и даже с одним индексом, задавая его в круглых скобках:

```
>> x=5

x = 5

>> x(1,1)

ans = 5

>> x(1)

ans = 5
```

Кроме обычных индексов, принятых в математике, MatLab использует приведенные индексы, определяющие позицию соответствующего элемента массива в оперативной памяти (k=(j-1)*m+i, k – приведенный индекс; i, j – индекс строки и столбца; m, n – число строк и столбцов в матрице).

Попытка обратиться к несуществующему элементу массива приведет к ошибке:

```
>> x(2)
```

??? Index exceeds matrix dimensions.

Векторы и матрицы в MatLab могут быть не только числовыми, но и символьными. Однако при формировании строковых матриц следует задавать значения равной длины для всех элементов массива, дополняя при этом более короткие строки недостающими пробелами в конце.

Константа — это предварительно определенное числовое или символьное значение, представленное уникальным именем. Числа (например, 1, -2 и 1.23) являются безымянными числовыми константами.

Другие виды констант в MATLAB принято назвать системными переменными, поскольку, с одной стороны, они задаются системой при ее загрузке, а с другой — могут переопределяться. Основные системные переменные, применяемые в системе MATLAB, указаны ниже:

- і или ј мнимая единица (корень квадратный из -1);
- рі число π- 3.1415926...;
- eps погрешность операций над числами с плавающей точкой (2⁻⁵²);
- realmin наименьшее число с плавающей точкой (2^{-1022}) ;
- realmax наибольшее число с плавающей точкой (2^{1023}) ;
- inf значение машинной бесконечности;
- ans переменная, хранящая результат последней операции и обычно вызывающая его отображение на экране дисплея;
 - NaN указание на нечисловой характер данных (Not-a-Number).

```
>> eps
ans =
2.2204e-016
>> realmin
ans =
2.2251e-308
>> realmax
ans =
1.7977e+308
>> pi
ans =
3.1416
```

Как отмечалось, системные переменные могут переопределяться. Можно задать системной переменной ерѕ иное значение, например epѕ=0.0001. Однако важно то, что их значения по умолчанию задаются сразу после загрузки системы. Поэтому неопределенными в отличие от обычных переменных системные переменные не могут быть никогда.

В отличие от большинства алгоритмических языков, MatLab при переполнении разрядной сетки не выдает сообщение об ошибке, а при делении на ноль предупреждает об этом и предлагает в качестве результата внутреннее представление самого большого или самого маленького числа, допустимого в формате double.

```
>> x=1/0
Warning: Divide by zero.
x =
Inf
>> y=-1/0
Warning: Divide by zero.
y =
-Inf
```

Когда выполнение степенной функции приводит к переполнению машинной памяти, то в качестве результата возвращается «машинная бесконечность», но сообщение о переполнении уже не выдается:

```
>> w=exp(720)
w =
Inf
```

А в тех случаях, когда математический результат не определен, в соответствующую переменную засылается значение NaN.

```
>> z=0/0
Warning: Divide by zero.
z =
NaN
```

Символьная константа — это цепочка символов, заключенных в апострофы, например:

'MatLab – система компьютерной математики.'

'Hello!'

'10+2'

Если в апострофы помещено математическое выражение, то оно не вычисляется и рассматривается просто как цепочка символов. Поэтому '10+2' не будет возвращать число 12. Однако с помощью специальных функций преобразования символьные выражения могут быть преобразованы в вычисляемые.

Сеанс работы с MATLAB принято именовать сессией (session). Сессия, в сущности, является текущим документом, отражающим работу пользователя с системой MATLAB. В ней имеются строки ввода, вывода и сообщений об ошибках.

Основные арифметические и логические операции, выполняемые в системе MatLab, приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Символ	Выполняемое действие	
	Операции над числовыми величинами	
+	покомпонентное сложение числовых массивов одинаковой	
	размерности;	
	добавление скалярной величины к каждому элементу массива;	
_	покомпонентное вычитание числовых массивов одинаковой	
	размерности;	
	вычитание скалярной величины из каждого элемента массива;	
*	умножение матриц в соответствии с правилами линейной алгебры;	
	умножение всех компонент массива на скаляр;	
.*	покомпонентное умножение элементов массива одинаковой	
	размерности;	
/	деление скаляра на скаляр; покомпонентное деление всех элементов	
	массива на скаляр;	
	A/B=A*B-1=A*inv(B) (А и B – квадратные матрицы одного порядка)	
./	покомпонентное деление элементов массива одинаковой размерности;	
\	левое матричное деление A\B=A-1*B (A – квадратная матрица)	
.\	А.\В – покомпонентное деление элементов В на А (левое	
	поэлементное деление)	
٨	возведение скаляра в любую степень;	
	вычисление целой степени квадратной матрицы;	
,	вычисление сопряженной матрицы;	
.'	транспонирование матрицы;	
	Логические операции	
&	логическое умножение скаляров; логическое покомпонентное	
	умножение массивов одинаковой размерности; логическое умножение	

	массива на скаляр;
	логическое сложение скаляров; логическое покомпонентное сложение
	массивов одинаковой размерности; логическое сложение массива со
	скаляром;
~	логическое отрицание скаляра или всех элементов массива;
==	проверка на равенство;
~=	проверка на неравенство;
>	проверка на «больше»
>=	проверка на «больше или равно»
<	проверка на «меньше»
<=	проверка на «меньше или равно»

Элементарные математические функции, реализованные в MatLab, приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Категория функций	Наименования функций
Тригонометрические	cos, cot, csc, sec, sin, tan
Обратные тригонометрические	acos, acot, acsc, asec, asin, atan, atan2
Гиперболические	cosh, coth, csch, sech, sinh, tanh
Обратные гиперболические	acosh, acoth, acsch, asech, asinh, atanh
Экспонента, логарифмы, корень	exp, log, log2, log10, sqrt
Округления	ceil, fix, floor, round
Наибольший общий делитель	gcd
Наименьшее общее кратное	lcm
Модуль числа	abs
Знак числа	sign
Остаток от деления с учетом знака делимого	mod
Остаток от деления	rem

Имена и значения переменных рабочего пространства можно запомнить в файле либо с помощь команды главного меню File→ Save Workspace As, либо набрать аналогичную команду в текущей строке:

>>save myfile

MatLab добавит к имени файла расширение .mat и запомнит все переменные и их значения в файле myfile.mat.

Также в файл можно сохранить не все переменные рабочего пространства, а только одну или несколько, при помощи той же команды save, но после имени файла указываются имена переменных:

>>save myfile x y

или

>>save myfile x

В начале следующего сеанса достаточно выполнить команду load:

>>load myfile

Если команда load будет использоваться в середине сессии, то текущие значения переменных изменятся на загружаемые.

За время работы в рабочем пространстве может образоваться много лишних переменных, поэтому время от времени рабочее пространство надо чистить. Команда clear без параметров удаляет все переменные рабочего пространства, но если указан список переменных, то она удалит только заданные переменные.

>> x=3;

>> y=4;

>> z=x+y;

>> whos

Nam	e Size	Bytes Class
X	1x1	8 double array
y	1x1	8 double array
Z	1x1	8 double array

Grand total is 3 elements using 24 bytes

>> clear x y

>> whos

Name Size Bytes Class z 1x1 8 double array

Grand total is 1 element using 8 bytes

Команда whos позволяет получить подробную информацию о переменных рабочего стола. Можно также использовать команду who, которая выводит только список имен переменных. Для просмотра значения любой переменной достаточно просто набрать ее имя и нажать клавишу Enter.

Мы отмечали, что сессии не записываются на диск стандартной командой save. Однако если такая необходимость есть, можно воспользоваться специальной командой для ведения так называемого дневника сессии:

diary filename — ведет запись на диск всех команд в строках ввода и полученных результатов в виде текстового файла с указанным именем;

```
diary off — приостанавливает запись в файл; diary on — вновь начинает запись в файл.
```

Таким образом, чередуя команды diary off и diary on, можно сохранять нужные фрагменты сессии в их формальном виде. Команду diary можно задать и в виде функции diary('file'), где строка 'file' задает имя файла. Следующий пример поясняет технику применения команды diary:

```
>> diary myfile.m
>> 1+2
ans =
3
>> diary off
>> sin(1)
ans =
0.8415
>> diary on
>> 17/48
ans =
0.3542
>> diary off
```

Нетрудно заметить, что в данном примере первая операция - 1+2=3 - будет записана в файл myfile.m, вторая - sin(1)=0.8415 - не будет записана, третья операция 17/48=0.3542 - снова будет записана. Таким образом, будет создан файл сценария (Script-файл) следующего вида:

```
1+2
ans =
3
diary off
17/48
ans =
```

0.3542

diary off

Он приведен в том виде, как записан, т. е. с пробелами между строк. Однако при попытке запустить подобный файл в командной строке указанием его имени выдается сообщение об ошибке:

```
>> myfile
```

??? Error: File: myfile.m Line: 3 Column: 6

Expression or statement is incomplete or incorrect.

Поэтому, чтобы посмотреть текст дневника следует воспользоваться командой type:

>> type myfile

1+2

ans =

3

diary off

17/48

ans =

0.3542

diary off

Закончить работу с программой можно с помощью команды

>>exit

Решение дифференциальных уравнений в MatLab

Построение макроэкономических динамических моделей подразумевает работу с системами дифференциальных и разностных уравнений, поэтому в рамках данной работы будет уместно рассмотреть функции, применяемые в MatLab, для решения систем дифференциальных уравнений.

Для решения обыкновенных дифференциальных уравнений (ODE) могут быть применены численные методы, которые в MATLAB реализованы в специальных функциях-решателях: ode45, ode23, ode113 и т.д. [10]

Общий порядок программирования:

- 1) Создается М-функция с описанием правых частей дифференциальных уравнений;
- 2) Создается М-сценарий с выбранным решателем.

Дадим краткое описание функций-решателей:

- ode45 одношаговые явные методы Рунге-Кутта 4-го и 5-го порядка. Это классический метод, рекомендуемый для начальной пробы решения. Во многих случаях он дает хорошие результаты;
- ode23 одношаговые явные методы Рунге-Кутта 2-го и 4-го порядка. При умеренной жесткости системы ОДУ и низких требованиях к точности этот метод может дать выигрыш в скорости решения;
- ode113 многошаговый метод Адамса-Бошфорта-Моултона переменного порядка. Это адаптивный метод, который может обеспечить высокую точность решения;
- ode15s многошаговый метод переменного порядка (от 1-го до 5-го, по умолчанию 5), использующий формулы численного дифференцирования. Это адаптивный метод, его стоит применять, если решатель ode45 не обеспечивает решения;
- ode23s одношаговый метод, использующий модифицированную формулу Розенброка 2-го порядка. Может обеспечить высокую скорость вычислений при низкой точности;
- ode23t метод трапеций с интерполяцией. Этот метод дает хорошие результаты при решении задач, описывающих осцилляторы с почти гармоническим выходным сигналом;
- ode23tb неявный метод Рунге-Кутта в начале решения и метод, использующий формулы обратного дифференцирования 2-го порядка в последующем. При низкой точности этот метод может оказаться более эффективным, чем ode15s.

Все решатели могут решать системы уравнений явного вида y' = F(t, y).

Решатели ode15s, ode23s, ode23t, ode23tb могут решать уравнения неявного вида My' = F(t, y).

В нижеследующем описании имя функции дано обобщенно в виде ode***, где *** - любой из приведенных выше алфавитно-цифровых суффиксов. Простейшее обращение к любой функции ode*** имеет следующий вид:

[tout,yout]=ode***(fun,tspan,y0)

Здесь:

- fun указатель на функцию вычисления правых частей дифференциального уравнения;
- tspan вектор, содержащий «контрольные значения» независимой переменной (можно указать только начальное и конечное значение, а можно и промежуточные значения);

- у0 начальное значение зависимой переменной (скаляр или векторстолбец);
 - tout вектор-столбец контрольных значений независимой переменной;
- yout решение, представленное массивом, в котором каждая строка соответствует одному элементу в столбце tout.

Для отображения результатов можно построить график, воспользовавшись функцией plot в виде:

>>plot(tout,yout)

Полная форма обращения к функциям ode*** имеет следующий вид:

[tout,yout,varargout]=ode***(fun,tspan,y0,options,varargin)

Здесь:

- options аргумент, позволяющий задавать управляющие параметры;
- varargin дополнительные аргументы для вычисления fun;
- varargout дополнительные результаты, возникающие при некоторых вариантах задания options.

Аргумент options позволяет отразить разные управляющие параметры, рассмотрим здесь лишь некоторые. Все они задаются путем обращения к функции odeset, аргументом которой является последовательность пар вида <'параметр', значение>.

Параметр RelTol задает допустимую относительную погрешность.

Параметр AbsTol задает допустимую относительную погрешность вычислений.

Параметр InitialStep задает начальный шаг, который по умолчанию выбирается автоматически.

Параметр outputFcn описывает функцию вывода, он имеет значение лишь в том случае, если функция используется без явного указания функции вывода. По умолчанию outputFcn вызывает функцию odeplot, которая строит график в зависимости от времени. Установка значения odephas2 позволяет построить двумерную фазовую плоскость, которая будет построена в отдельном графическом окне.

Модель Солоу

Многие математические модели экономического роста являются непосредственным обобщением широко известной неоклассической модели Солоу-Свена (см.[2, 6]), созданной в середине XX века. В этой модели в общем случае используется неоклассическая двухфакторная производственная функция

$$Y = F(K, L),$$

где Y - агрегированный выпуск, K — физический капитал, L — трудовые ресурсы. В практических задачах широко применяется производственная функция Кобба — Дугласа [21]:

$$Y_t = A_t K_t^a L_t^{1-a}$$

$$0 < a < 1$$

$$(1)$$

Здесь параметр A_t описывает уровень технологий. Ниже при построении примеров используется производственная функция вида (1).

Основное уравнение модели Солоу-Свена, описывающее динамику роста физического капитала, может быть записано в виде:

$$R_t^{\mathbf{k}} = sY_t - dK_t \tag{2}$$

В уравнении (2) использованы следующие обозначения: d - уровень амортизации капитала, s – норма накопления. Предполагается, далее, что трудовые ресурсы составляют постоянную долю населения, темп роста которого постоянен. Это предположение приводит к зависимости вида

$$L_t = L_0 e^{mt} \tag{3}$$

где m — это темп роста населения. Кроме того, ниже считается, что $A_t = const$ (так что отдача от масштаба является постоянной). Для преобразования модели вводится понятие фондовооруженности k (k=K/L) и удельного выпуска (y=Y/L). Тогда

$$y_t = f(k_t) \tag{4}$$

где

$$f(k) = F(k,1) = F\left(\frac{K}{L},1\right)$$

- неоклассическая однофакторная производственная функция. В результате преобразования уравнения (2) с учетом (3),(4) получаем дифференциальное уравнение:

$$\frac{dk}{dt} = sf(k) - (d+m)k \equiv sf(k) - nk, \qquad (5)$$

$$n \equiv d + m$$

Состояния равновесия уравнения (5) и их зависимость от параметров модели легко определяются на основе несложного графического анализа (см. рис.1.3)

Дифференциальное уравнение имеет два решения, причем 0 – неустойчивое состояние равновесия, а k^* - устойчивое. Условие существования устойчивого решения имеет вид:

$$sf'(0) > d + m \tag{6}$$

Конечно, модель Солоу является очень упрощенной, но она служит основой для построения более сложных моделей экономического роста.

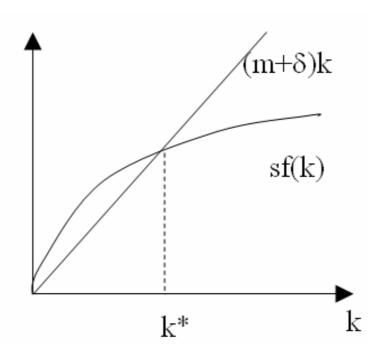


Рис. 1.3. Графический анализ модели Солоу

Построение модели Солоу в пакете MatLab

Продемонстрируем на примере модели Солоу возможности пакета MatLab для моделирования экономической динамики. Следуя перечисленным выше этапам, сначала создаем М-функцию с описанием правых частей дифференциального уравнения. Для этого в главном меню следует выбрать File→New→M-file, и в окне редактора М-файлов написать следующий текст:

```
function dkdt = solou (t,k)
global s alfa A n
dkdt=s*A*(k^alfa)-n*k;
```

Для использования функции необходимо ее сохранить. Команда global делает переменные, перечисленные за ней, глобальными (то есть их значения можно изменить как внутри функции, так и в командном окне).

Воспользуемся решателем ode45. В командном окне следует написать следующие команды, которые решат дифференциальное уравнение с заданными начальными параметрами и построят график полученной траектории (рис. 1.4)

```
>> global s alfa A n

>> A=0.9;

>>alfa=0.5;

>>s=0.8;

>>n=0.05;

>>[t,k]=ode45('solou',[0 500],[1]);

>>plot(t,k)
```

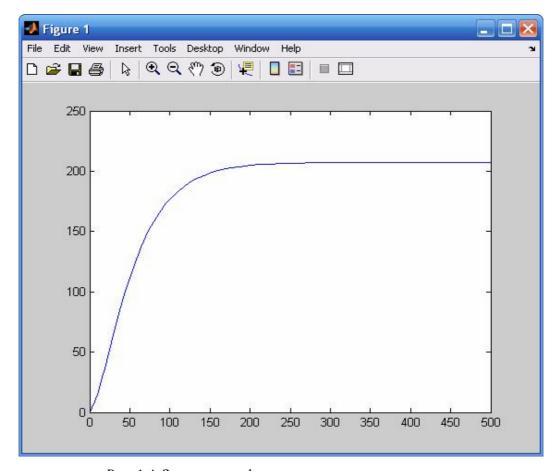


Рис. 1.4. Зависимость фондовооруженности от времени

Из рисунка видно, что k стабилизируется на уровне 207 единиц. Убедимся в том, что это значение (k*) является устойчивым. Для этого рассчитаем траекторию для различных начальных условий.

```
>> hold on
>> for i=0:100:500
[t,k]=ode45('solou',[0 500],[i]);
plot(t,k)
```

end

График на рисунке 1.5 иллюстрирует устойчивость состояния равновесия к*.

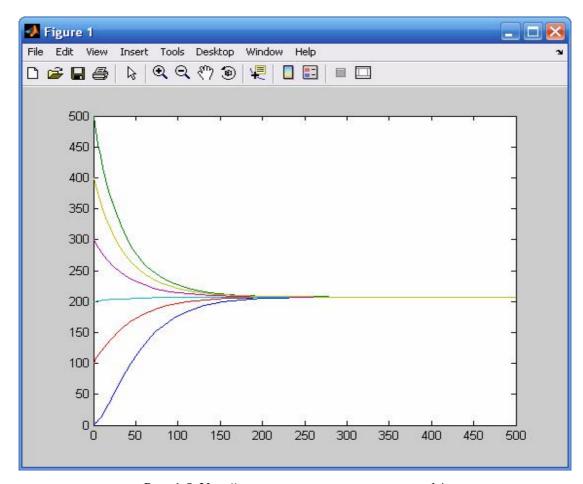


Рис. 1.5. Устойчивость состояния равновесия к*

ГЛАВА 2. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Термин «имитационное моделирование» появился в русском языке после выхода перевода книги Томаса Нейлора «Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем» ("Computer simulation experiments with models of economic systems", 1971) [14]. В этой работе имитация определяется как численный метод проведения на цифровых вычислительных машинах экспериментов с математическими моделями, описывающими поведение сложных систем в течение продолжительного времени. С тех пор методы имитационного моделирования экономических систем претерпели существенные изменения, не только в плане толкования смысла этого понятия, но, особенно, в отношении используемого программного обеспечения и возможностей вычислительной техники. Однако ряд книг, выпущенных в последние годы, повторяют старые концепции имитационного моделирования, не отражая произошедших изменений. Конечно, для полного понимания механизма работы имитационной системы необходимо знать исторические аспекты развития этой научной отрасли, но для успешной работы с моделями в условиях современной экономической ситуации и активного совершенствования информационных технологий необходимо владеть современными методами имитационного моделирования.

Имитационное моделирование: основные понятия и особенности

Имитационное моделирование — это деятельность по разработке программных моделей реальных или гипотетических систем, выполнение этих программ на компьютере и анализ результатов компьютерных экспериментов по исследованию поведения моделей. [7]

моделирование» и «вычислительный Слова «имитационное (компьютерный) эксперимент» соответствуют английскому термину «simulation», который подразумевает разработку модели именно как компьютерной программы и ее исполнение на компьютере. Однако ряде российских вузов имитационным моделированием целенаправленные серии многовариантных расчетов, выполняемых на компьютере в расчетных программах или Excel с применением экономико-математических моделей и методов. Однако с точки зрения компьютерных технологий такие вычисления – это обычное моделирование. В русскоязычной литературе термин «моделирование» соответствует американскому «modeling» и подразумевает создание модели и ее анализ, причем модель – это объект любой природы, упрощенно представляющий исследуемую систему. Математические расчеты в этом случае можно проводить и без компьютера. Но имитационное моделирование — это чисто компьютерная работа, которую невозможно выполнить без использования специальных программных средств.

Развитие моделей, использующих имитационный подход, связано с необходимостью исследования очень сложных систем, встречающихся на практике. Численные и аналитические методы, с помощью которых можно провести наиболее полное исследование математической модели объекта, можно применять не для всех систем. При построении аналитических моделей для очень сложных систем пользователю приходится делать серьезные упрощения. При этом сложность и непредсказуемое поведение системы может привести к тому, что результаты моделирования будут серьезно отличаться от реального поведения системы не только количественно, но и качественно. Поэтому в некоторых ситуациях рекомендуется применять модели, имитирующие поведение реального объекта [3]:

- 1. Если не существует законченной постановки задачи исследования и идет процесс познания объекта моделирования или отдельных его элементов.
- 2. Если аналитические методы имеются, но математические процедуры трудно реализуемы, сложны и трудоемки.
- 3. Когда кроме оценки влияния параметров сложной системы желательно осуществить наблюдение за поведением отдельных компонентов этой системы в течение определенного периода времени.
- 4. Когда имитационный подход оказывается единственным способом исследования сложной системы из-за невозможности наблюдения явлений в реальной обстановке.
- 5. Когда необходимо контролировать протекание процессов в сложной системе путем замедления или ускорения явлений в ходе имитации.
- 6. При подготовке специалистов и освоении новой техники, когда имитатор обеспечивает возможность приобретения необходимых навыков в эксплуатации новой техники.
- 7. Когда изучаются новые ситуации в сложных системах, о которых мало что известно. В этом случае имитация служит для проверки новых стратегий и правил принятия решений перед проведением экспериментов на реальной системе.
- 8. Когда основное значение имеет последовательность событий в проектируемой сложной системе, и модель используется для предсказания узких мест в

функционировании системы и других трудностей, связанных с добавлением в систему новых элементов.

Таким образом, применение имитационного моделирования оправдано, если вопросы, ответ на которые должна дать модель, относятся не к выяснению фундаментальных законов и причин, определяющих динамику реальной системы, а к практическому анализу поведения системы.

Математическую/ логическую модель, для которой не всегда можно найти решение в традиционном аналитическом или численном виде, называют имитационной моделью [26]. Суть имитационного подхода состоит в том, что процесс функционирования сложной системы представляется в виде определенного алгоритма, реализуемого на ЭВМ. Имитационные методы используются, как правило, для моделирования сложных динамических систем. При этом моделируется не только структура системы, но и время ее функционирования. При моделировании используются три представления времени [3]:

- реальное время моделируемой системы;
- модельное время, по которому организуется синхронизация событий в системе (изменяется пошагово);
- машинное время имитации, отражающее затраты ресурсов времени ЭВМ на организацию имитации.

Система имитационного моделирования, обеспечивающая создание моделей для решения прикладных задач, должна обладать следующими свойствами [5]:

- возможностью применения имитационных программ совместно со специальными экономико-математическими моделями и методами, основанными на теории управления;
- инструментальными методами проведения структурного анализа сложного экономического процесса;
- способностью моделирования материальных, денежных и информационных процессов и потоков в рамках единой модели, в общем модельном времени;
- возможностью введения режима постоянного уточнения при получении выходных данных (основных финансовых показателей, временных и пространственных характеристик, параметров рисков и т.д.) и проведении экстремального эксперимента.

Развитие имитационного моделирования

Впервые методы имитационного моделирования для анализа экономических процессов применил Т.Нейлор. На протяжении 1970-1980-х годов попытки использовать этот вид моделирования в реальном управлении экономическими процессами носили эпизодический характер из-за сложности формализации экономических процессов и недостаточной развитости программных средств. Однако именно в середине 1970-х гг. появились первые инструментальные средства имитационного моделирования, например, система GPSS, которая позволяла создавать модели контролируемых процессов и объектов в основном технического или технологического назначения.

В дальнейшем развитие имитационного моделирования было напрямую связано с развитием программного обеспечения. В 80-х годах прошлого века системы имитационного моделирования стали развиваться более активно. В то время в различных странах мира применялось более 20 различных систем (GASP-IV, SIMYLA-67, SLAM-II, GPSS-V и т.д.). В 90-х годах появилось огромное количество пакетов для имитационного моделирования, которые становились все более развитыми и удобными даже для неподготовленного пользователя. Такой расцвет можно объяснить не только увеличением интереса к имитационному моделированию, но и большим прогрессом в развитии компьютерной техники, быстродействие и возможности которой возрастают с каждым днем. Среди таких средств можно выделить Powersim, Ithink, AnyLogic, Vensim, Stella, Simulink, Pilgrim и т.д.

Достоинства и недостатки имитационного моделирования

При достаточно глубоком знании поведения реальной системы и правильном представлении исходной информации имитационные модели характеризуются большей близостью к реальной системе, чем аналитические и численные модели. С помощью имитационного моделирования и соответствующих современных программных средств можно создавать даже те модели, которые не возможно сформулировать традиционными методами. Кроме того, имитационное моделирование позволяет создавать модели тех систем, с которыми нельзя провести эксперимент, что позволяет упростить и усовершенствовать управление ими.

Однако имитационное моделирование обладает и рядом недостатков. Основным из них и практически непреодолимым является то, что имитация – это не наука и не искусство, а некая их комбинация. Кроме того, имитационное моделирование является итеративной,

экспериментальной техникой решения проблем; требует значительных затрат кадров и компьютерного времени; чаще всего находит решение, только близкое к оптимальному. Ученому трудно оценить адекватность модели и найти источник ошибок; а сбор, анализ и интерпретация результатов требует хорошего знания теории вероятности и статистики. Однако чаще всего этот метод является единственным способом создания модели сложной системы.

Этапы имитационного моделирования

Имитационное моделирование состоит из двух больших этапов: создание модели и анализ построенной модели с целью принятия решения. Однако каждый из этих этапов включает несколько промежуточных фаз, которые обладают своей спецификой и, несмотря на видимую простоту, является очень тонким процессом, малейшие ошибки в котором могут привести к трудно исправимым последствиям.

Нейлор выделяет следующие этапы имитации [14]:

- 1. формулировка проблемы;
- 2. формулировка математической модели;
- 3. составление программы на ЭВМ;
- 4. оценка пригодности модели;
- 5. планирование эксперимента;
- 6. обработка результатов эксперимента.

Первоначально от ученого требуется ясно и точно определить цели имитационного эксперимента, поскольку, очевидно, что эксперимент, проведенный только ради имитации, никакой практической пользы не имеет. Цели можно сформулировать в виде:

- вопросов, на которые нужно ответить;
- гипотез, которые нужно проверить;
- воздействий, которые нужно оценить.

Также следует сформулировать критерии оценки возможных ответов на вопросы или критерии принятия гипотез или доверительные интервалы для оценок воздействия. На втором этапе строится математическая модель, которая связывает эндогенные переменные системы с ее управляющими и экзогенными переменными. При построении модели следует уделить внимание сложности модели, количеству переменных и структуре модели. Также на этом этапе оцениваются параметры модели и ее предварительная адекватность. Третий этап посвящается составлению программы на ЭВМ, вводу данных и

начальных условий. В случае нехватки данных их следует сгенерировать. При оценке пригодности модели проверяют насколько хорошо модель объясняет данные за прошлые периоды времени и насколько точны ее прогнозы относительно будущих периодов.

Нейлор уделяет особое внимание проблеме планирования эксперимента. В своей работе он подробно рассматривает четыре вида проблем, которые могут возникнуть в процессе планирования эксперимента: проблему стохастической сходимости, проблему количества факторов, проблему выбора плана эксперимента в соответствии с его целью и проблему многокомпонентной реакции. К настоящему времени предложено достаточно большое количество способов решения данных проблем, которые изложены в соответствующей литературе, в том числе и в работе Нейлора. Для обработки результатов эксперимента может использоваться дисперсионный и/или регрессионный анализ.

Естественно, такие этапы имитационного моделирования соблюдаются и в настоящее время. Однако появились дополнительные этапы, обусловленные спецификой современной современных программных средств и практикой моделирования. Современная версия этапов компьютерного имитационного моделирования приведена в таблице 2.1. [7]

Таблица 2.1

№	Название этапа	Результат
1	Понимание системы	Понимание того, что происходит в системе, подлежащей анализу, какова ее структура, какие процессы в ней протекают
2	Формулировка цели моделирования системы	Список задач, которые предполагается решить с помощью будущей модели. Список входных и выходных параметров модели, список исходных данных, критерий завершенности будущего исследования
3	Разработка концептуальной структуры модели	Структура модели, состав существенных процессов, подлежащих отображению в модели, зафиксированный уровень абстракции для каждой подсистемы модели (список допущений), описание управляющей логики для подсистем
4	Реализация модели в среде	Реализованные подсистемы, их параметры и

	моделирования	переменные, их поведение, реализованная логика и
		связи подсистем
5	Реализация анимационного	Анимационное представление модели, интерфейс
	представления модели	пользователя
6	Проверка корректности	Убеждение в том, что модель корректно отражает
	реализации модели	те процессы реальной системы, которые требуется
		анализировать
7	Калибровка модели	Фиксация значений параметров, коэффициентов
		уравнений и распределений случайных величин,
		отражающих те ситуации, для анализа которых
		модель будет использоваться
8	Планирование и проведение	Результаты моделирования – графики, таблицы и
	компьютерного эксперимента	т.п., дающие ответы на поставленные вопросы

Метод Монте-Карло

Зарождение этого метода связано с работой фон Неймана и Улана в конце 1940-х гг., когда они ввели для него название «Монте-Карло» и применили его к решению некоторых задач экранирования ядерных излучений (фон Нейман дал кодовое название Монте-Карло военному проекту в Лос-Аламосе). Некоторые авторы используют метод Монте-Карло как синоним имитационного моделирование, однако это не верно. Данный метод является одной из компонент имитационного моделирования. Конечно, они оба подразумевают, что имитационные модели подвержены влиянию случайных событий, но моделируемая система является детерминистской в случае метода Монте-Карло и стохастической в случае имитации. Другими словами, метод Монте-Карло представлен использованием аппроксимирующих стохастических имитационных моделей детерминистских систем, тогда как в имитации и реальная система, и модель стохастичны по природе. Абсолютно очевидно, что не все проблемы могут быть решены традиционными методами, и в этом Монте-Карло случае метод может быть очень удобен ДЛЯ нахождения аппроксимированных решений.

Метод Монте-Карло состоит из четырех этапов [1]:

1. Построение математической модели системы, описывающей зависимость моделируемых характеристик от значений стохастических переменных.

- 2. Установление распределения вероятностей для стохастических переменных.
- 3. Установление интервала случайных чисел для каждой стохастической переменной и генерация случайных чисел.
- 4. Имитация поведения системы путем проведения многих испытаний и получение оценки моделируемой характеристики системы при фиксированных значениях параметров управления. Оценка точности результата.

Направления имитационного моделирования

В соответствии с одной из классификаций, наиболее популярной в настоящее время, имитационное моделирование в настоящее время включает четыре основных направления [7]:

- 1. моделирование динамических систем;
- 2. дискретно-событийное моделирование;
- 3. системная динамика;
- 4. агентное моделирование.

В рамках каждого из этих четырех направлений развиваются свои инструментальные средства, которые позволяют упростить разработку модели и ее анализ.

Самым молодым из этих направлений является агентное моделирование. Агент - это некоторая сущность, которая обладает активностью, автономным поведением, может принимать решения в соответствии с некоторым набором правил, может взаимодействовать с окружением и другими агентами, а также может эволюционировать. Такие модели используются для изучения децентрализованных систем, законы функционирования которых являются результатом активности отдельных членов группы.

Дискретно-событийное моделирование представляет собой моделирование систем массового обслуживания, т.к. изменение состояния таких систем при их функционировании происходит в дискретные моменты времени при возникновении таких событий, как выборка заявки из входной очереди для обслуживания, окончание обслуживания и т.п. Идея моделирования систем с дискретными событиями была сформулирована более 40 лет назад Джеффри Гордоном и реализована в среде моделирования GPSS (General Purpose Simulation System). Первая версия языка была введена IBM в октябре 1961 г., и ее некоторые модификации используются для обучения имитационному моделированию и в наше время.

Динамические системы – это сложные объекты, поведение которых описывается системами алгебраических и дифференциальных уравнений, а также событиями, меняющими либо среду, либо модель, либо даже саму структуру системы. Более 50 лет назад был разработан инженерный подход к моделированию таких систем, который заключался в сборке блок-схем из решающих блоков аналоговых компьютеров: интеграторов, усилителей и сумматоров, токи и напряжения в которых представляли переменные и параметры моделируемой системы. В настоящее время этот подход продолжает использоваться, только решающие блоки являются не аппаратными, а программными. Ярким примером реализации такого направления является инструментальная среда Simulink.

Основателем системно-динамического направления является Джей Форрестер. На основе теории систем, аппарата дифференциальных уравнений и компьютерного моделирования он разработал основную методологию и принципы данного подхода. Основной идей системной динамики является существование обратной информационной связи. В ее рамках существует специальные графические обозначения для структурных элементов потоковой диаграммы, которые реализованы в нескольких существующих на рынке коммерческих пакетах моделирования (Stella, Ithink, Vensim, Powersim). Подробнее данное направление будет рассмотрено позднее.

Сравнительная характеристика пакетов имитационного моделирования

В настоящее время существует множество разнообразных программных средств для создания имитационных моделей. Технологический уровень современных систем моделирования характеризуется большим выбором базовых концепций формализации и структуризации моделируемых систем, развитыми графическими интерфейсами и анимационным выводом результатов. Имитационные системы имеют средства для передачи информации из баз данных и других систем, или имеют доступ к процедурным языкам, что позволяет легко выполнять вычисления, связанные с планированием факторных экспериментов, автоматизированной оптимизацией и др. [5]

Пакет Process Chapter включает средство для «интеллектуального» построения блоксхем. Он ориентирован в основном на дискретное моделирование. Данный пакет разработан компанией Scitor, США.

Достоинства:

- удобный и простой в использовании механизм построения моделей;
- достаточно низкая стоимость;
- хорошо приспособлен для решения задач распределения ресурсов.

Недостатки:

- небольшое количество возможностей;
- слабая поддержка моделирования непрерывных компонентов;
- ограниченный набор средств для анализа чувствительности и построения диаграмм.

Пакет Powersim (Powersim Co.) является хорошим средством для создания непрерывных моделей. Использует систему обозначений, принятую в системной динамике для создания потоковых диаграмм.

Достоинства:

- множество встроенных функций;
- многопользовательский режим для коллективной работы с моделью;
- поддерживает технологии Dynamic Data Exchange (DDE) и Object Linking and Embedding (OLE);
- средства обработки моделей для упрощения создания моделей со сходными компонентами.

Недостатки:

• ограниченная поддержка дискретного моделирования.

Пакет Ithink поддерживает создание как дискретных, так и непрерывных моделей. Данный пакет, также как Powersim, использует обозначения системной динамики. Ithink разработан фирмой High Performance System, Inc для управления финансовыми потоками, реинжиниринга предприятий, банков, инвестиционных компаний и т.д.

Достоинства:

- встроенные блоки для облегчения создания различных видов моделей;
- поддержка авторского моделирования слабо подготовленными пользователями;
 - развитые средства анализа чувствительности;
 - подробная обучающая программа;
 - поддержка разных форматов входных данных.

Недостатки:

• поддерживает меньшее количество функций, чем Powersim.

Пакет Extend создан для анализа бизнес-процессов и стратегического планирования, поддерживает дискретное и непрерывное моделирование; разработан компанией Imagine That, Inc.

Достоинства:

- интуитивно понятная среда построения моделей с помощью блоков;
- множество встроенных блоков и функций для облегчения создания моделей;
- гибкие средства анализа чувствительности;
- средства создания встроенных функций с помощью встроенного языка.

Недостатки:

- используется в полном объеме только на компьютерах типа Macintosh;
- высокая стоимость.

Пакет Pilgrim поддерживает дискретно-непрерывное моделирование. Он создан в России на базе МЭСИ и нескольких компьютерных фирм. Данный пакет обладает возможностями для моделирования временной, пространственной и финансовой динамики имитируемых объектов.

Достоинства:

- свойство коллективного управления процессом моделирования;
- невысокая стоимость;
- наличие интерфейсов с базами данных;
- создание пользовательских блоков с помощью С++.

Недостатки:

- сложная система обозначений;
- необходимо знать язык программирования С++.

Пакет Vensim предназначен для построения системно-динамических моделей, также как Powersim и Ithink; поддерживает непрерывное моделирование; разработан фирмой Ventana Systems.

Достоинства:

• средства оптимизации и статистики;

- возможность создавать подключаемые к другим программам DLLбиблиотеки:
 - простой графический интерфейс, нацеленный на профессионалов;
 - расширяемая библиотека функций.

Недостатки:

- нет возможности конвертации данных;
- небольшое количество встроенных математических функций в версии PLE.

Программа AnyLogic является продуктом компании XJ Technologies, и первым профессиональным российским продуктом для профессионального имитационного моделирования. Данная программа основана на объектно-ориентированной концепции.

Достоинства:

- поддерживает все концепции имитационного моделирования;
- удобный для пользователя интерфейс;
- встроенный язык Java;
- визуальная разработка моделей;
- анализ чувствительности и возможность проведения серии экспериментов;
- объектно-ориентированный подход.

Нелостатки:

- знание основ объектно-ориентированного программирования;
- сложная система обозначений.

Инструментальная среда Simulink является приложением для программы MatLab и реализует инженерный подход к моделированию динамических систем, то есть составление блок-схемы из стандартных блоков библиотеки.

Достоинства:

- система уравнений строится автоматически по системе блоков;
- возможность создания библиотеки моделей;
- большое количество встроенных блоков;
- возможность создавать пользовательские блоки;
- взаимодействие с MatLab.

Недостатки:

• сложность в построении больших структур.

Сравнительная характеристика [18] наиболее известных пакетов имитационного моделирования представлена в таблице 2.2.

Таблица 2.2.

Система	Производи	Приложения	Моделирующая среда и поддержка			
моделирован	тель		Графическая	Авторское Анимация По		Поддержка
ия			конструкция	моделировани	(в реал.	анализа
			ИМ	e,	времени)	результатов
				программиро		
				вание		
				моделей		
EXTEND	Imagine	Стратегическое	Компоновочны	+	+	Анализ
	That, Inc.	планирование,	е блоки,	язык Modl		чувствитель
		бизнес-	непрерывные и			ности
		моделирование	дискретные			
			модели			
ITHINK	High	Управление	CASE-	+	+	Анализ
	Performanc	финансовыми	средства,			чувствитель
	e System,	потоками,	потоковые			ности
	Inc	реинжинринг	диаграммы			
		предприятий,				
		банков,				
		инвестиционных				
		компаний и др.				
VENSIM	Ventana	Модели системной	Потоковые		+	+
	Systems	динамики	диаграммы			
POWERSIM	Powersim	Непрерывное	Потоковые	_	+	_
	Co.	моделирование	диаграммы			
PILGRIM	МЭСИ,	Модели	Компоновочны	C++	+	+
	Россия	динамических	е блоки			
		систем				
PROCESS	Scitor,	Интеллектуальное	Компоновочны	_	_	_
CHAPTER	США	построение блок-	е блоки,			

		схем	дискретные			
			модели			
ANYLOGIC	XJ	Разработка и	Структурные	+	+	+
	Technologie	исследование	диаграммы,	Java		
	s, Россия	имитационных	объектно-			
		моделей	ориентированн			
			ый подход			
SIMULINK	Math	Модели	Компоновочны	+	+	+
	Works, Inc.	динамических	е блоки	Язык		
		систем		программиро		
				вания MatLab		

Применение пакетов имитационного моделирования для построения модели Солоу

Рассмотрим процесс имитации в программном пакете Simulink на примере модели Солоу. Программа Simulink является приложением к пакету MatLab, которая реализует принципы визуального программирования, т.е. пользователь создает на экране модель с помощью встроенных стандартных блоков. При этом пользователю не нужно досконально изучать язык программирования и численные методы, а достаточно общих знаний о программе и в той области исследования, в которой он работает. При работе с Simulink пользователь может пользоваться как встроенной библиотекой блоков, так и создавать свои собственные не только блоки, но и целые библиотеки блоков.

Для запуска программы необходимо сначала запустить MatLab. После этого можно либо набрать команду Simulink в окне команд, либо нажать на кнопку на панели инструментов. Чтобы запустить уже готовую модель можно воспользоваться командой Ореп из меню File и открыть файл модели (mdl).

После запуска приложения появится окно обозревателя разделов библиотеки Simulink (рис.2.1).

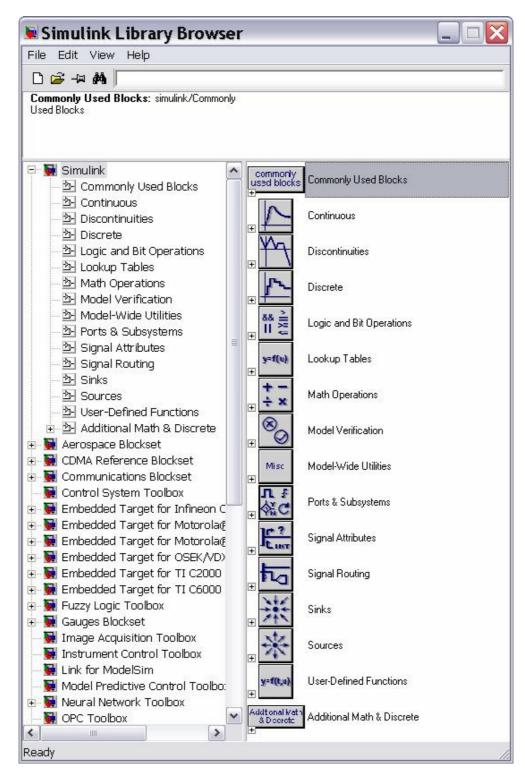


Рис.2.1. Окно обозревателя разделов библиотеки

Для того чтобы построить модель нужно сначала создать новый файл модели (рис. 2.2) с помощью команды File→ New→ Model или соответствующей кнопки на панели инструментов.

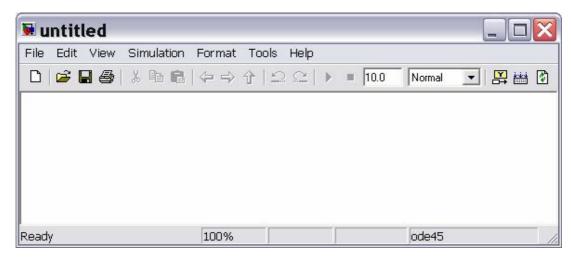


Рис. 2.2. Окно модели

Далее нужно расположить блоки в окне модели, т.е. курсором перетащить нужные блоки из библиотеки в окно модели. Чтобы удалить блок, его нужно выбрать и нажать клавишу Delete. Далее, если это требуется, нужно изменить параметры блока, щелкнув два раза мышкой на изображении блока.

После установки на схеме всех блоков их нужно соединить. Для этого нажать мышкой на выход из блока (при этом курсор будет в виде большого креста из тонких линий), и вести стрелку, не отпуская мыши, до нужного входа в блок (курсор примет вид креста из сдвоенных линий). В случае правильного соединения изображение стрелки на входе в блок поменяет цвет. Для создания точки разветвления в соединительной линии нужно подвести курсор к предполагаемому узлу и, нажав правую клавишу "мыши", протянуть линию. Для удаления линии требуется выбрать линию (так же, как это выполняется для блока), а затем нажать клавишу Delete на клавиатуре. После составления схемы необходимо сохранить ее в виде файла на диске

Построим модель Солоу, используя встроенные блоки Simulink. Для этого воспользуемся следующими блоками [24]:

- 1. Библиотека Sources источники сигналов и воздействий
- a. Constant константа

Назначение: Задает постоянный по уровню сигнал.

Параметры:

Constant value - Постоянная величина.

• Interpret vector parameters as 1-D – Интерпретировать вектор параметров как одномерный (при установленном флажке). Данный параметр встречается у большинства блоков библиотеки Simulink.

Значение константы может быть действительным или комплексным числом, вычисляемым выражением, вектором или матрицей.

b. Step – шаг, прирост, ступень

Назначение: Формирует ступенчатый сигнал.

Параметры:

- Step time Время наступления перепада сигнала (с).
- Initial value Начальное значение сигнала.
- Final value Конечное значение сигнала.

Перепад может быть как в большую сторону (конечное значение больше чем начальное), так и в меньшую (конечное значение меньше чем начальное). Значения начального и конечного уровней могут быть не только положительными, но и отрицательными (например, изменение сигнала с уровня –5 до уровня –3).

- 2. Библиотека Sinks регистрирующие устройства, приемники сигналов
- а. Scope осциллограф, индикатор, графопостроитель

Назначение: Строит графики исследуемых сигналов в функции времени. Позволяет наблюдать за изменениями сигналов в процессе моделирования.

Для того чтобы открыть окно просмотра сигналов необходимо выполнить двойной щелчок левой клавишей "мыши" на изображении блока. Это можно сделать на любом этапе расчета (как до начала расчета, так и после него, а также во время расчета). В том случае, если на вход блока поступает векторный сигнал, то кривая для каждого элемента вектора строится отдельным цветом.

b. Display – числовой дисплей

Назначение: Отображает значение сигнала в виде числа.

Параметры:

- Format формат отображения данных.
- Decimation кратность отображения входного сигнала. При Decimation = 1 отображается каждое значение входного сигнала, при Decimation = 2 отображается каждое второе значение, при Decimation = 3 каждое третье значение и т.д.

- Sample time шаг модельного времени. Определяет дискретность отображения данных.
- Floating display (флажок)— перевод блока в "свободный" режим. В данном режиме входной порт блока отсутствует, а выбор сигнала для отображения выполняется щелчком левой клавиши "мыши" на соответствующей линии связи.
 - 3. Библиотека Continuous линейные блоки
 - a. Integrator интегратор

Назначение: Выполняет интегрирование входного сигнала.

Параметры:

• External reset - Внешний сброс. Тип внешнего управляющего сигнала, обеспечивающего сброс интегратора к начальному состоянию. Выбирается из списка:

none	нет (сброс не выполняется)
rising	нарастающий сигнал (передний фронт сигнала)
falling	спадающий сигнал (задний фронт сигнала)
either	нарастающий либо спадающий сигнал
level	не нулевой сигнал (сброс выполняется, если сигнал на управляющем входе
	становится не равным нулю)

В том случае, если выбран какой-либо (но не none), тип управляющего сигнала, то на изображении блока появляется дополнительный управляющий вход. Рядом с дополнительным входом будет показано условное обозначение управляющего сигнала.

• Initial condition source - Источник начального значения выходного сигнала. Выбирается из списка: internal – внутренний; external – внешний.

В этом случае на изображении блока появляется дополнительный вход, обозначенный x_0 , на который необходимо подать сигнал, задающий начальное значение выходного сигнала интегратора.

- Initial condition Установка начального значения выходного сигнала интегратора. Параметр доступен, если выбран внутренний источник начального значения выходного сигнала.
 - Limit output (флажок) Использование ограничения выходного сигнала.
- Upper saturation limit Верхний уровень ограничения выходного сигнала. Может быть задан как числом, так и символьной последовательностью inf.

- Lower saturation limit Нижний уровень ограничения выходного сигнала. Может быть задан как числом, так и символьной последовательностью inf.
- Show saturation port управляет отображением порта, выводящего сигнал, свидетельствующий о выходе интегратора на ограничение.

Выходной сигнал данного порта может принимать следующие значения: ноль, если интегратор не находится на ограничении; +1, если выходной сигнал интегратора достиг верхнего ограничивающего предела; -1, если выходной сигнал интегратора достиг нижнего ограничивающего предела.

- Show state port (флажок) Отобразить/скрыть порт состояния блока. Данный порт используется в том случае, если выходной сигнал интегратора требуется подать в качестве сигнала обратной связи этого же интегратора.
 - Absolute tolerance Абсолютная погрешность.
 - 4. Библиотека Math Operations блоки математических операций
 - а. Gain пропорциональное звено

Назначение: Выполняют умножение входного сигнала на постоянный коэффициент.

Параметры:

- Gain Коэффициент усиления.
- Multiplication Способ выполнения операции. Может принимать значения (из списка):

Element-wise K*u	Поэлементный.			
Matrix K*u	Матричный. Коэффициент усиления является левосторонним операндом.			
Matrix u*K	Матричный. правосторонним с	Коэффициент операндом.	усиления	является

- Saturate on integer overflow (флажок) Подавлять переполнение целого. При установленном флажке ограничение сигналов целого типа выполняется корректно.
 - b. Math Function математическая функцияНазначение: Выполняет вычисление математической функции.

Параметры:

• Function – Вид вычисляемой функции (выбирается из списка):

exp	Экспоненциальная функция
log	Функция натурального логарифма
10^u	Вычисление степени 10
log10	Функции логарифма
magnitude^2	Вычисление квадрата модуля входного сигнала
square	Вычисление квадрата входного сигнала
sqrt	Квадратный корень
pow	Возведение в степень
conj	Вычисление комплексно-сопряженного числа
reciprocal	Вычисление частного от деления входного сигнала на 1
hypot	Вычисление корня квадратного из суммы квадратов входных сигналов (гипотенузы прямоугольного треугольника по значениям катетов)
rem	Функция, вычисляющая остаток от деления первого входного
	сигнала на второй
mod	Функция, вычисляющая остаток от деления с учетом знака
transpose	Транспонирование матрицы
hermitian	Вычисление эрмитовой матрицы.

• Output signal type – Тип выходного сигнала (выбирается из списка):

auto	Автоматическое определение типа
real	Действительный сигнал
complex	Комплексный сигнал

с. Product – произведение

Назначение: Выполняет вычисление произведения текущих значений сигналов. Параметры:

- Number of inputs Количество входов. Может задаваться как число или как список знаков. В списке знаков можно использовать знаки * (умножить) и / (разделить).
- Multiplication Способ выполнения операции. Может принимать значения: Element-wise – поэлементный или Matrix – матричный.
- Saturate on integer overflow (флажок) Подавлять переполнение целого. При установленном флажке ограничение сигналов целого типа выполняется корректно.

Если параметр Number of inputs задан списком, включающим кроме знаков умножения также знаки деления, то метки входов будут обозначены символами соответствующих операций. Блок может использоваться для операций умножения или деления скалярных векторных или матричных сигналов. Типы входных сигналов блока должны совпадать. Если в качестве количества входов указать цифру 1 (один вход), то блок можно использовать для определения произведения элементов вектора. При выполнении матричных операций необходимо соблюдать правила их выполнения. Например, при умножении двух матриц необходимо, чтобы количество строк первой матрицы равнялось количеству столбцов второй матрицы.

d. Sum – сумматор

Назначение: Выполняет вычисление суммы текущих значений сигналов.

Параметры:

- Icon shape Форма блока. Может быть round круглой или rectangular прямоугольной.
- List of sign Список знаков. В списке можно использовать следующие знаки: + (плюс), (минус) и | (разделитель знаков).
- Saturate on integer overflow (флажок) Подавлять переполнение целого. При установленном флажке ограничение сигналов целого типа выполняется корректно.

Количество входов и операция (сложение или вычитание) определяется списком знаков параметра List of sign, при этом метки входов обозначаются соответствующими знаками. В параметре List of sign можно также указать число входов блока. В этом случае все входы будут суммирующими. Если количество входов блока превышает 3, то удобнее использовать блок Sum прямоугольной формы. Блок может использоваться для суммирования скалярных, векторных или матричных сигналов. Типы суммируемых сигналов должны совпадать. Нельзя, например, подать на один и тот же суммирующий блок сигналы целого и действительного типов. Если количество входов блока больше, чем один, то блок выполняет поэлементные операции над векторными и матричными сигналами. При этом количество элементов в матрице или векторе должно быть одинаковым. Если в качестве списка знаков указать цифру 1 (один вход), то блок можно использовать для определения суммы элементов вектора.

е. Add – сложение

Назначение: позволяет складывать сигналы разных типов.

Параметры: совпадают с параметрами блока Sum, но блок имеет дополнительные параметры:

- Require all inputs to have the same data type (флажок) входные сигналы должны иметь одинаковый тип.
 - Output data type mode тип данных на выходе из блока.

Структурная схема модели Солоу, построенная в Simulink, представлена на рисунке 2.3.

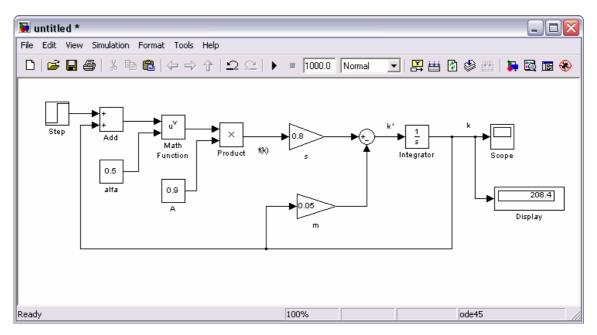


Рис 2.3. Модель Солоу.

Перед выполнением расчетов необходимо предварительно задать параметры расчета. Задание параметров расчета выполняется в панели управления меню Simulation→ Parameters.

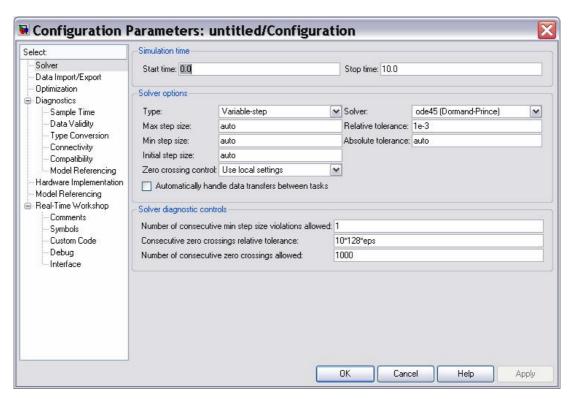


Рис. 2.4. Панель управления.

Запуск расчета выполняется с помощью выбора пункта меню Simulation \rightarrow Start. или инструмента \blacksquare на панели инструментов. Процесс расчета можно завершить досрочно, выбрав пункт меню Simulation/Stop или инструмент \blacksquare . Расчет также можно остановить (Simulation \rightarrow Pause) и затем продолжить (Simulation \rightarrow Continue). После запуска модели на дисплее появится значение k^* .

В результате работы модели был получен следующий график для фондовооруженности:

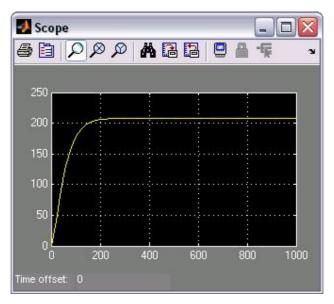


Рис. 2.5. График фондовооруженности

ГЛАВА 3. СИСТЕМНАЯ ДИНАМИКА

Системная динамика — это метод изучения сложных систем, широко используемый на Западе для моделирования социально-экономических проблем. Это стало возможно благодаря развитию объектно-ориентированных языков программирования [29].

Системная динамика обладает рядом характеристик, которые должны учитываться при составлении моделей:

- динамическое поведение системы зависит от ее структуры;
- моделирование и последующий анализ любой системы требует идентификации и представления структуры модели;
 - рассматривается только рациональное принятие решений человеком;
- изучение правил принятия решения, которые используются людьми, требует эмпирических наблюдений, включая поведение при принятии решения в качестве поля наблюдения.

С математической точки зрения, модели системной динамики состоят из системы нелинейных дифференциальных уравнений, которые обычно рассматривают непрерывное время и непрерывные переменные. Однако, в случае необходимости некоторые переменные (но не все) могут быть дискретными.

Таким образом, системная динамика — это инструмент, который может облегчить понимание сложных взаимосвязей между поведением системы во времени и ее структуры для вспомогательного анализа и процесса структурирования проблемы. Системная динамика сосредоточена на динамике, а не на статических взаимосвязях, т.е. цель создания динамической модели — это визуализация сложных процессов и создание инструментов для имитации, сценарного тестирования и увеличения осведомленности. Модели системной динамики используются для решения различных проблем в социальных, экономических и естественных науках — например, используются как инструмент для стимуляции обучения среди руководителей корпораций.

Стерман дает следующее определение понятия системная динамика:

«Системная динамика — это метод, позволяющий усовершенствовать изучение сложных систем. Авиакомпании используют симуляторы полетов, чтобы помочь пилотам в обучении. Системная динамика — это своеобразный симулятор полетов для обучения управленцев (например, компьютерные имитационные модели), который помогает изучить причины динамической сложности, понять источники сопротивления стратегии и построить более эффективные линии поведения» [29].

Рассмотрим определение методологии системной динамики, данное Койлом [29]:

«Системная динамика имеет дело с зависящим от времени поведением управляемых систем с целью описать систему и понять (с помощью качественных и количественных моделей), как информационные обратные связи обуславливают ее поведение, построить четкую структуру информационных обратных связей и управлять стратегией через имитацию и оптимизацию».

Таким образом, системная динамика может использоваться как качественно, информируя о взаимосвязях в системе, так и количественно, как имитационная модель.

Морекрофт в 1988 году писал, что широкое развитие системной динамики привело к тому, что она используется командой управленцем для проведения информационно структурированных дебатов о стратегических изменениях, причем и модели, и компьютерные имитации являются неотъемлемой частью управленческого диалога. Важно то, что в процесс построения модели непосредственно вовлекаются те люди, которые отвечают за принятие решений.

Часто, наиболее важным компонентом системы являются ее нелинейные взаимосвязи. Изначально, моделирование и имитационные технологии были сосредоточены на линейных взаимосвязях, поскольку существовало очень небольшое количество средств для решения и моделирования нелинейных систем. Однако практически любой значимый экономический процесс в реальном мире подразумевает нелинейность. Причем сложность не обязательно зависит от количества компонент в системе, даже очень простая нелинейная система может быть очень сложной для понимания и решения.

Исторические аспекты развития системной динамики

Зарождение системного подхода началось еще в античной греческой философии (Платон, Аристотель, стоики, Евклид) [19]. Именно тогда впервые возникли представления о системе (от греч. sysntema — целое, составленное из частей; соединение) как о множестве элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, образующих определенную целостность, единство. Затем эти представления получили дальнейшее развитие в работах Николая Кузанского, Спинозы, Канта, Шеллинга, Гегеля, Маркса и других мыслителей. Трудно найти того или иного философа, который бы не затрагивал этой темы. Непосредственно, системный анализ возник только в XX веке в работах Людвига фон Берталанфи, выдвинувшего первую в современной науке обобщенную системную концепцию («общую теорию систем»), задачами которой были

разработка математического аппарата описания разных типов систем, установление изоморфизма законов в различных областях знания («Общая теория систем», 1968). В 60-70 годы системный анализ становится базовой методологией в экономике, экологии, социологии, демографии, политике, военном деле и других областях. Более подробно возникновение и развитие системных представлений описано в Приложении.

Основателем системно-динамического подхода можно считать Джея Форрестера (Jay W. Forrester). Он родился 14 июля 1918 в городе Анселмо, шт. Небраска. Известен он не только, как основоположник системной динамики, но и как изобретатель запоминающего устройства на магнитных сердечниках, применяемое в настоящее время в большинстве цифровых компьютеров [32]. Форрестер обучался электротехнике в университете Небраски в Линкольне, а также Массачусетском технологическом институте в Кембридже, по окончании которого преподавал и занимался исследовательской работой. 1945 основал лабораторию цифровых компьютеров при Массачусетском технологическом институте, где разработал один из первых универсальных компьютеров — Whirlwind I («Вихрь-1»), созданный по заказу ВМС США.

Одним из самых важных результатов работы Форрестера стало понимание принципов функционирования систем с обратной связью (feedback control systems) [8]. Будучи успешным руководителем, Джей Форрестер пришел к выводу, что, пожалуй, главные проблемы в работе любого менеджера возникают не со стороны механических, инженерных систем, а во многом являются следствием управленческой структуры организаций. По его мнению, это происходило в результате того, что социальные системы настолько сложны, что понять и контролировать их представляет несравненно большую сложность, чем управлять искусственными (механическими) системами.

В 1956 году Джей Форрестер перешел работать в только что созданную МІТ Sloan School of Management, одну из самых престижных бизнес-школ мира на сегодняшний день. Начавшееся применение компьютеров позволило значительно облегчить задачу по созданию системных моделей. Так, уже в 1959 году Филлис Фокс (Phyllis Fox) и Александр Паф (Alexander Pugh) разработали первую версию компьютерной программы DYNAMO (DYNAmic MOdels), ставшей основой компьютерного моделирования в течение последующих тридцати лет. В 1961 году вышла книга Джея Форрестера «Индустриальная Динамика» (Industrial Dynamics), ставшая классическим трудом по системной динамике. А в 1968 г. Форрестер был награжден премией «Изобретатель года», учрежденной Университетом Джорджа Вашингтона, и золотой медалью Вальдемара Поулсена, учрежденной Датской академией технических наук.

В 70-х гг. вышла вторая книга Форрестера Urban Dynamics («Динамика города») [22]. Модель социально-экономического развития города, представленная в книге, стала первым приложением системно-динамического крупным моделирования некоммерческой сфере. Вскоре после этого последовало и второе, по масштабам исследования несопоставимое с предыдущими. В 1970 году Джей Форрестер был приглашен Римским клубом (the Club of Rome) на ежегодное заседание его членов в швейцарском Берне. Члены этой организации предприняли попытку разработать сценарии будущего развития человечества, основываясь на экспоненциальном росте населения Земли и принимая во внимания ограниченные ресурсы планеты. Вскоре после этого Форрестером была создана модель, ставшая позже известной как WORLD2. Эта модель была опубликована книге «Мировая динамика» (World Dynamics) [23]. Она рассматривает мир как единое целое, как единую систему различных взаимодействующих процессов: демографических, промышленных, процессов исчерпания природных ресурсов и загрязнения окружающей среды, процесса производства продуктов питания.

Дальнейшие исследования мировой динамики проводились учеником Форрестера Дэннисом Медоузом (Dennis Meadows). Модель, созданная под руководством Медоуза, получила название WORLD3 и была опубликована в знаменитом докладе Римского Клуба «Пределы роста» (The Limits to Growth) [11]. И хотя модель WORLD3 была более совершенной, чем предыдущая версия, данные, полученные в результате имитационного моделирования, повторяли выводы прошлых моделей. Несмотря на сходство, доклад «Пределы роста» получил еще большую мировую известность, чем «Мировая Динамика» Форрестера. По мнению некоторых исследователей, это было вызвано более доступным для массового читателя изложением материала и отсутствием акцента на технической стороне расчетов.

С 80-ых годов прошлого века основные усилия Джея Форрестера были сосредоточены на двух областях — на разработке модели национального экономического развития США, а также продвижению обучения системной динамики в средних школах. Что касается разработки модели национальной экономики (the National Model Project) [30], то, несмотря на более чем двадцатилетнюю историю, модель и по сей день остается незавершенной. Опубликованные предварительные результаты показывают, что модель уверенно воспроизводит 40-60-летнюю волну длинного цикла («волны Кондратьева»), тем самым не только объясняя экономическую Депрессию в США 1930-ых годов, но и показывая, что такого рода экономические спады являются неотъемлемым элементом капиталистической экономики. В настоящее время, согласно модели Форрестера, экономика США находится

в начале длительного экономического подъема, постепенно выходя из кризиса, вызванного негативного последствиями волны длительного спада.

В 1988г. таиландским ученым К.Саидом [27] была разработана системно-динамическая модель развивающихся стран, учитывающая взаимосвязь демографических, экологических, социально-политических и технологических факторов развития. Причем, системно-динамические модели позволили вывить взаимосвязь между различными сферами функционирования человеческого общества. Аналогичные модели при поддержке Института Тысячелетия и Всемирного банка были созданы и создаются в настоящее время во многих странах мира (Таиланд, Тунис, Китай, Малави, Грузия, Армения и другие). Большинство моделей, используемых для анализа социо-экологоэкономических процессов, созданы и создаются в настоящее время на основе специальных сред разработки имитационных моделей. В настоящий момент времени известны такие наиболее распространенные среды разработки имитационных моделей как STELLA (Ithink), DYNAMO, VENSIM, POWERSIM. Они позволяют не только быстро создавать имитационные модели при помощи простых визуальных инструментов, но и проводить анализ работы созданных моделей и использовать данные модели для оценки воздействия управленческих решений на протекание социо-эколого-экономических процессов в моделируемых системах.

Быстрое развитие современных средств моделирования дает возможность для превращения некоторых, наиболее значимых, системно-динамических моделей в интерактивные игры. Имитационные игры дают возможность обучаться и проводить эксперименты по управлению теми системами, которыми нельзя управлять в реальном мире. Одной из первых таких игр была игра «STRATEGEM-1», разработанная Медоузом на основе своей модели мировой динамики. Это эколого-экономическая имитационная игра, охарактеризованная ее создателями как «микрокомпьютерная обучающая управленческая игра о взаимодействиях между энергетикой и окружающей средой». Перед ее участниками ставится задача обеспечить устойчивое развитие условной страны. Важно, что они получают возможность принимать решения в динамичной среде. Это весьма ценная возможность для получения целостного видения экономики [12].

Вторым не менее важным направлением развития системной динамики стала разработка программы преподавания системной динамики в средней школе (К-12) [30]. Этот процесс начался в 1980-ых годах, когда Гордон Браун (Gordon Brown), бывший наставник Форрестера в МІТ, ушел на пенсию и поселился в городе Таксон, Аризона (Tucson). В конце 1980-ых годов Браун рассказал о принципах системной динамики

учителям средних школ Таксона... и результаты превзошли все эго ожидания. Принципы системной динамики начали с энтузиазмом преподаваться как в старших, так и в младших классах, по специально разработанной программе для каждого уровня обучения. Большое значение уделяется не только собственно технологии моделирования (построенной на основе дифферециально-интегрального исчисления), но и усвоению детьми принципа «системного мышления» - нелинейности и тесной взаимосвязанности процессов повседневной жизни, роли обратной связи в определении поведения социальных систем. Более того, сама школа активно использует принципы системной динамики для разработки плана собственного развития, превращаясь постепенно в настоящую «обучающуюся организацию». Существуют успешно функционирующие аналогичные проекты в странах Западной Европы (прежде всего Германии и Австрии), проводятся конференции международного уровня для преподавателей этих дисциплин.

Среди современных работ в области системной динамики и имитационного моделирования можно отметить работы зарубежных и отечественных ученых, таких как Дж. Ф. Форрестер, Дж. Стерман, Д.Л. Кауфман, М.Р. Гудман, Н. Робертс, Донелла и Деннис Медоузы, М. Месарович, Е. Пестель, Т.К. Абдель-Хамид, Д.Ф. Андерсен, Р.А. Кларк, А. Форд, Д.Н. Ким, Дж. Д. Морекрофт, П.М. Миллинг, Ж.П. Ричардсон, Е.Б. Робертс, К. Саид, П.М. Сенж, К. Ванг, Е.Ф. Фольштейнхолм, Р. Зараза, Н.Н. Моисеев, Т. Нейлор, А.Г. Гранберг, В.С. Дадаян, Н.В. Чепурных, А.Л. Новоселов, В.И. Дудорин, В.Г. Соколов, В.А. Смирнов, Р.В. Игудин, Д.М. Хомяков и П.М. Хомяков, А. Рыженков, и других авторов (наиболее полный библиографический список работ по системной динамике и информационно-системному анализу, начиная с 1967 г. по настоящее время содержит более 3000 работ) [19].

Курсы системной динамики читают во многих крупных университетах мира, таких как Университет Бергена (Норвегия), Массачусетский Технологический институт (США), Ворцерстерский Политехнический Институт (США), Копенгагенская Бизнес Школа (Дания), Университет Болоньи (Италия), Университет Лидса (Англия), Университет Палермо (Италия), Университет Штутгарта (Германия), Университет Севильи (Испания) и др. Также в Бостоне (США) действует Институт системной динамики, в состав которого входят многие известные специалисты в этой области. Благодаря существованию Интернет была решена одна из основных проблем: изолированность ученых друг от друга. С развитием новых коммуникационных технологий было создано Общество Системной Динамики, которое включает тысячи специалистов по всему миру. Общедоступность ресурсов Интернет способствует популяризации концепций системной динамики и ее

методологии. Основными информационными порталами о возможностях системной динамики являются сайты МІТ (http://sysdyn.mit.edu) и Общества системной динамики (www.sysdyn.org).

Применение системной динамики

Необходимо отметить, что существует множество примеров успешного применения системной динамики для моделирования самых различных объектов – от разработки стратегий крупнейших корпораций до динамики распространения диабета, от гонки вооружений между США и Советским Союзом во время Холодной войны до моделирования на клеточном уровне проникновения вируса СПИДА в иммунную систему. Конечно, надо понимать, что в России использование моделей системной динамики не столь широко распространено, как на Западе, но применение этого инструмента системного анализа становится все более популярным, так как это один из самых эффективных и универсальных методов с очень широкой сферой применения. Перечислить все сферы применения системной динамики практически невозможно, поэтому упомянем основные [8]:

- разработка энергетической политики: анализ рынков традиционной энергетики и перехода к нетрадиционным источникам энергии. Особую роль здесь сыграл повышенный интерес Министерства Энергетики США, которое активно использует принципы системно-динамического моделирования для прогнозирования и выработки оптимальной стратегии использования энергоресурсов;
- проектный менеджмент: системная динамика широко используется при разработке оптимального плана выполнения сложных проектов (строительство крупных объектов, разработка нового инновационного продукта, и т.п.) там, где необходима координация многих исполнителей и ресурсов. В основе применения системной динамики в данной области лежит анализ потенциальных сбоев в определении критического пути проекта, которые минимимизируются с помощью инструментария системной динамики;
- здравоохранение: классическими исследованиями стали модели распространения СПИДА и других заболеваний, исследования поведения систем здравоохранения в случае чрезвычайных ситуаций (поведение госпиталей при пиковых нагрузках), реформированием систем здравоохранения и т.д.;
- охрана окружающей среды: модели глобального развития человечества (WORLD2, WORLD3), модель глобального изменения климата Тома Фиддамона, а также

многочисленные исследования по прогнозированию последствий загрязнения окружающей среды, моделирование ареалов распространения редких видов животных, причин их вырождения и т.п.;

- государственное (некоммерческое управление): среди огромного количества успешных исследований в этой области следует выделить моделирование системы общественного транспорта, модель распространения наркотиков и борьбы с наркотраффиком, моделирование социально-экономического развития города и региона, исследования по прогнозированию последствий динамики старения населения, реформирование различных государственных структур и т.п.;
- управленческий консалтинг: здесь применение системной динамики самое широкое моделирование поведения организаций во время роста на рынке и связанных с этим проблем (преодоление «барьеров роста» и т.д.), стратегический менеджмент, принятие оптимальных управленческих решений, управление логистикой и моделирование цепи поставщиков, оптимизация структуры организации, управление знаниями и трансформация компании в «обучающуюся организацию» и многое другое. Потенциал системной динамики здесь огромен, а современные коммуникационные технологии позволяют эффективно обмениваться знаниями и опытом с коллегами со всего мира.

Основные концепции

Центральной концепцией системной динамики является использование причинноследственных диаграмм, как способа представления системы в виде структуры с обратными связями. Контур обратной связи — это замкнутый маршрут, который отражает циркуляцию причин и последствий. Обратная связь существует всякий раз, когда решения, принимаемые агентами в системе, влияют на последующие состояния системы, таким образом, предоставляя новую информацию, которая учитывается при принятии будущих решений [29]. Согласно Морекрофту, одним из основных вкладов Форрестера в развитие моделирования было изменение излишне усложненного моделирования и методов анализа на более гибкие формы, которые сделали моделирование доступным не только для технических проблем, но и для экономического и социального контекста.

Согласно Стерману [29] причинно-следственные диаграммы очень удобно применять для:

• быстрого создания гипотезы о причинах изменений;

- выявления и создания ментальных моделей;
- установление взаимосвязей между основными обратными связями и поведением.

Одной из основных целей системной динамики является понимание того, как структура системы в виде обратных связей обуславливает поведение системы. Более того, контур обратной связи рассматривается и как основной источник определения контринтуитивных (непредсказуемых) результатов и трудностей управления, и как средство визуализации, которое помогает отразить всю сложность структуры. Хорошая системная диаграмма может формализовать и связать ментальную модель, созданную ученым, и понимание данной ситуации так, как не может формальная модель.

Иногда в литературе можно встретить такие термины, как диаграммы влияния и когнитивные карты, эти понятия имеют тот же смысл, как и причинно-следственная диаграмма. Чтобы отразить характер связи между переменными вводится понятие положительного (отрицательного) воздействия элемента A на элемент B [19].

«Переменная A оказывает положительное (отрицательное воздействие на переменную B, если при прочих равных условиях увеличение переменной A ведет к увеличению (уменьшению) переменной B».

Соответственно различают как положительные, так и отрицательные контуры обратной связи, которые также могут называться цепочкой или петлей обратной связи. Примером контура положительной обратной связи является инфляционная спираль «зарплата - цены», а контура отрицательной обратной связи — связь между зубной болью и походами к стоматологу (в условиях нормального здравоохранения). Сидоренко В.Н. дает следующие определения этих понятий: контур положительной обратной связи — это контур, который имеет четное число отрицательных причинно-следственных связей; а отрицательный контур — контур с нечетным числом отрицательных обратных связей. Необходимо отметить, что связи в причинно-следственных диаграммах обозначаются стрелками, рядом с ними указывается знак связи (+ или -).

Связь потоков и запасов отражает физическую структуру системы, таким образом, можно рассматривать потоковую диаграмму как метод перевода причинно-следственной диаграммы в математическую или имитационную модель. Потоковое представление – это основная идея, которая может быть применена к динамике любых систем [29] – запас представляет состояние системы, тогда как поток представляет уровень изменения запаса. В моделях системной динамики запас имеет несколько характеристик, включая

представление об истории накопления и разделение входящих и выходящих потоков, что позволяет отразить отсутствие равновесия в системе.

Причинно-следственная диаграмма, в общем, рассматривается как неплохое средство для обеспечения простого и структурированного обзора системы, ее основных переменных и взаимоотношений между переменными. Однако существуют и проблемы, связанные с использованием причинно-следственных диаграмм. Морекрофт [29] писал, что основным слабым местом таких диаграмм является то, что они неточно отражают процесс принятия решения человеком, таким образом, мы игнорируем важную информацию на фазе концептуализации, так как не возможно, глядя на диаграмму, установить то, какое решение и как было принято. Кроме того, Морекрофт утверждает, что причинно-следственные диаграммы имеют очень слабую связь между ментальной моделью и контурной структурой, что, в свою очередь, приводит к потере информации о реальной структуре и взаимосвязях в моделируемом объекте. Спорным является также то, что использование причинно-следственных диаграмм на практике, как руководства для принятия решений, основывается на утверждении, что единственным уместным инструментом для понимания поведения является имитация (или аналитическое решение, в тех немногих случаях, в которых оно может быть найдено).

Более того, как отмечал Венникс [29], опытные специалисты по системной динамике предостерегают от использования причинно-следственных диаграмм и обращают внимание, что лучше начать процесс концептуализации с определения запасов и потоков в системе. Причиной для этого является понятие аккумулирования в системе. То есть Венникс утверждает, что причинно-следственная диаграмма будет приводить к ошибке при попытке установить происхождение динамических последствий до тех пор, пока причинно-следственная диаграмма не будет отражать содержание запасов (которые используются в роли определителя уровня). В работе по описанию основных положений модели этот аспект будет обсуждаться бизнес-экспертами относительно практической уместности и риска.

То есть необходимо правильно описывать структуру системы, что возможно только в следующих случаях [19]:

- если в причинно-следственных диаграммах не фигурируют переменные разного типа, т.е. нет переменных темпов и уровней одновременно;
- если все связи между переменными и контуры обратной связи определяются на основе приведенных выше определений;

• если все построения ведутся и интерпретируются изначально в терминах потоковых диаграмм, и только после проведения имитационных экспериментов с моделью результаты анализа модели могут быть представлены на языке причинноследственных диаграмм.

Другим центральным понятием системной динамики является эффект задержек. Как и причина, данный эффект не всегда связан со временем, многие соответствующие симптомы, похожие на причины, могут оказывать влияние. Задержки могут различаться по времени (длина задержки), типу (материальные или информационные) и структуре.

В то же время с развитием потоков и запасов, агент предпримет корректирующие действия. Приведут ли такие действия систему обратно в состояние равновесия или нет зависит от взаимодействий в процессах обратной связи – но в сложной системе отсутствие равновесия будет во многих ситуациях сохраняться, несмотря на корректирующие действия. Этот феномен хорошо известен на примере спекулятивных предприятий на фондовой бирже.

Процесс построения модели

Практически каждый ученый, который занимается созданием системно-динамических моделей, дает свою классификацию этапов процесса построения модели.

Схема процедуры системно-динамического моделирования, предложенная К.Саидом [27], приведена на рис.3.1.

Рассмотрим более подробно этапы, предложенные Г.Фигсен [29] на основе сравнения классификаций Ричардсона и Стермана. Следует отметить, что все ученые соглашаются с тем, что процесс является итеративным или циклическим, а не линейным. С любого этапа можно вернуться к ранее завершенному и исправить возникшие ошибки или внести уточнения. Модель никогда не может полностью отобразить реальный мир, поэтому в любую модель можно внести коррективы и подвергнуть ее изменениям, которые отразятся на результатах моделирования.



Рис.3.1. Процесс построения модели

1. Этап определения проблемы

Основной целью моделирования является построение уместной модели, поэтому этот этап очень важен для всего процесса. Если проблема определена неверно, то очень трудно определить рамки модели, горизонт моделирования и т.д. Одной из основных проблем является определение количества переменных, которые должны быть включены в модель. Излишние переменные приведут к излишней сложности и осложнят понимание, а недостаток переменных скажется на адекватности отображения моделью реального мира. На этом шаге определяются границы модели системной динамики, уровень детализации модели, который определяется в зависимости от целей моделирования.

2. Этап создания динамической гипотезы (концептуальной модели)

На этой фазе строятся причинно-следственная и потоковая диаграммы, то есть анализируются не только взаимосвязи между переменными, но и причинные связи. Также начинается исследование влияния обратных связей на наблюдаемое поведение. Этот этап может быть достаточно сложным, потому что понимание механизмов работы может различаться для участников моделирования, что ведет к спорам и противоречиям.

3. Этап построения имитационной модели

На этом этапе все определенные ранее взаимосвязи переводятся в определенные математические уравнения на основе причинно-следственной диаграммы, а также задаются численные параметры в модели. Чтобы точность оценки была более высокой, необходимо помнить о целях моделирования.

4. Этап тестирования (анализ поведения модели и ее оценка)

На этом этапе происходит проверка того, насколько поведение имитационной модели соответствует реальной жизни, при этом переменные должны соответствовать реальной жизни, а уравнения должны включать переменные только соответствующих единиц измерения. Анализ поведения модели подразумевает тестирование модели на примерах и анализ чувствительности с целью улучшения понимания механизма работы модели. Оценка модели подразумевает проверку адекватности модели. Необходимо, чтобы в модели не возникало нелогичных ситуаций (например, отрицательные запасы товара на складе).

5. Этап анализа стратегии

Обычно модель системной динамики создается с целью тестирования различных стратегий с целью улучшить представление системы. Выбор линии поведения подразумевает создание новых стратегий, структур и правил принятия решения. Иногда сюда включают и изменения структуры модели, если это необходимо для улучшения работы системы. В рамках этого этапа рассматривают также внедрение и использование модели.

Критика системной динамики

Критики теории системной динамики обращают внимание, прежде всего на то, что модель системы слишком зависит от субъективного мнения людей. От этого и сама модель часто отражает не реальность, а то, что происходит в головах их создателей.

Системная динамика сводит весь спектр возможных решений к небольшому набору стандартизированных архетипов, хотя сначала именно системная динамика выступала против упрощенного подхода операционных исследований, сводящих всю сложную реальность к простым математическим формулам. Однако системная динамика сегодня сводит все к слишком простым решениям.

Системная динамика не учитывает в своих моделях качественных изменений системы. Так если взять мировой динамики Форрестера, то рост населения, рост производства,

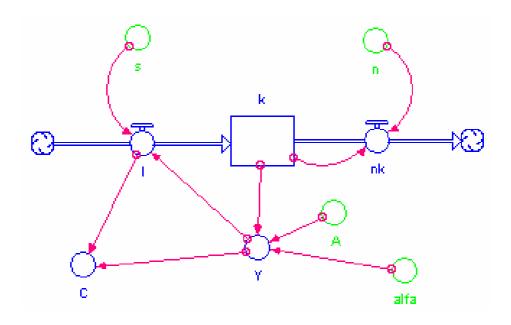
загрязненность среды неизбежно приведут к мировой катастрофе. В системной динамике нет места процессу перехода системы в принципиально новое качество.

Отсюда и следующий большой недостаток системной динамики — она способна показать пути решения проблем в организации, но в конечном итоге стремится к некому балансу, сохранению стабильного status quo. Точно также она не в состоянии предсказать развитие, если в будущем будут возникать любого рода случайности или качественные изменения среды, например, технологические революции или экономические кризисы. Однако такое не под силу ни одному из современных методов математического и имитационного моделирования сложных систем.

Системная динамика открыла глаза на многие контринтуитивные проблемы организации. С помощью моделей системной динамики было доказано, почему быстрые решения приводят к провалу, почему нет и не может быть непреложных законов бизнеса, как благие намерения по улучшению работы без внесения изменений в систему только ухудшают результат. Знание и понимание системных архетипов ведет к возможности эффективно применять на практике системное мышление.

Построение модели Солоу в пакете Ithink

Проиллюстрируем применение системно-динамических принципов, используя пакет структурного моделирования Ithink, для построения модели Солоу [20]. Процесс системно-динамического моделирования начинается с построения потоковой диаграммы. Для этого используем встроенные строительные блоки пакета Ithink.



При построении потоковой диаграммы для модели Солоу использовались следующие встроенные блоки пакета Ithink [13]:

- резервуар к представляет собой фондовооруженность;
- потоки I и mk отражают значения инвестиций и амортизации в каждый момент времени t;
- конвертеры С и Y представляют потребление и инвестиции, а s, m, A и alfa константы, для определения соответствующих норм и значений. Конверторы обозначены разными цветами, чтобы отличить переменные от констант, такое разделение облегчает восприятие и понимание модели.
- Между собой блоки соединены розовыми стрелками коннекторами, которые показывают информационные связи в модели.

Следующим шагом в создании модели является задание формул и значений параметров, которое осуществляется при помощи стандартных диалоговых окон пакета Ithink. Для этого необходимо нажать на кнопку слева от рабочего поля с изображением Земли и два раза щелкнуть по тому строительному блоку, для которого вы хотите ввести формулу или значение. Например, диалоговое окно для определения конвертера Y представлено на рисунке.

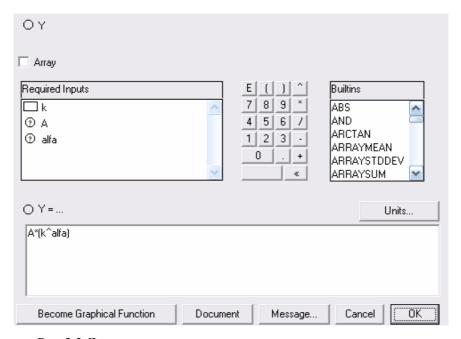


Рис. 3.3. Диалоговое окно определения параметров конвертера

Зададим следующие значения констант: s=0.8; m=0.05; A=0.9; alfa=0.5.

В результате на листе программного кода будет автоматически сгенерирован программный код (рис. 3.4).

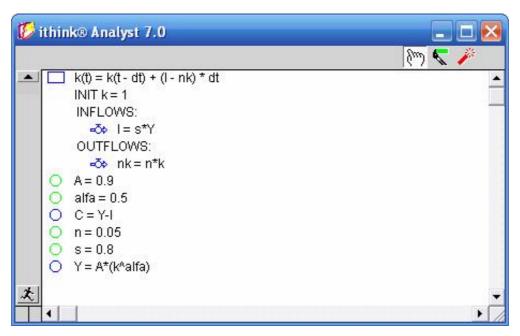
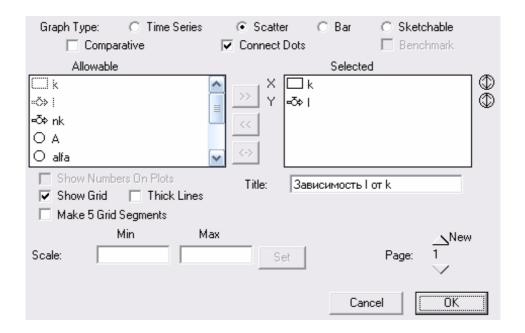


Рис. 3.4. Программный код

После того как все функции и значения заданы, следует разместить на рабочем листе объект график, чтобы можно было увидеть результаты имитации. Диалоговое окно определения графика представлено на рисунке 3.5.



Запустим модель с помощью пункта меню Run на панели инструментов. В результате работы модели зависимость фондовооруженности от времени будет иметь следующий вид (рис. 3.6).

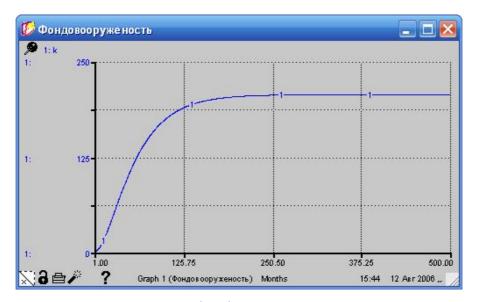


Рис. 3.6. График фондовооруженности

Используя пакет Ithink, мы можем провести анализ чувствительности [28], т.е. изучить, как влияет изменение значения параметра s на фондовооруженность k. Для этого на панели инструментов запуска (рис. 3.7) нажимаем на кнопку Specs и выбираем пункт меню Senci Specs.



Рис. 3.7. Панель инструментов запуска

В появившемся окне (рис. 3.8) задаем параметры анализа чувствительности:

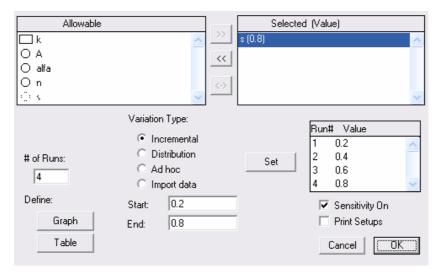


Рис. 3.8. Параметры анализа чувствительности

Теперь, чтобы все графики были изображены в одних осях, в окне определения объекта график необходимо поставить флажок Comparative. После запуска модели графики примут следующий вид:

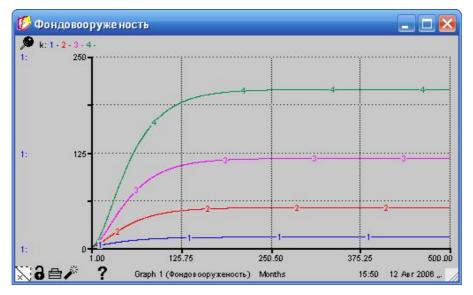


Рис. 3.9. Анализ чувствительности по параметру s

Таким образом, чем больше значение параметра s, тем больше значение принимает параметр k^* .

Также можно провести анализ чувствительности исходя из начального значения k: (рассмотрим 0, 100, 200, 300, 400, 500). В результате получим график вида:

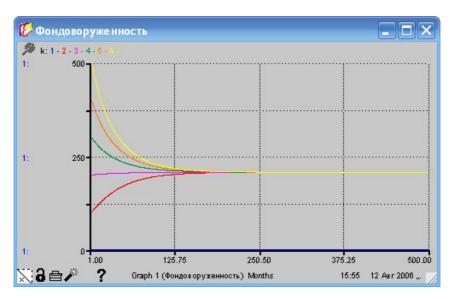


Рис. 3.10. Устойчивость состояния равновесия к*

Таким образом, построение системно-динамических моделей не требует от пользователя знания специальных языков программирования и позволяет получить достаточно наглядные модели для практического использования при анализе экономических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Афанасьев М.Ю., Суворов Б.П. Исследование операций в экономике: модели, задачи, решения: Учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2003.
 - 2. Ашманов С.А. Введение в математическую экономику. М.: Наука, 1984. 296 с.
- 3. Введение в математическое моделирование. Под ред. Трусова П.В., М., Интермет инжиниринг, 2000.
 - 4. Дьяконов В. Mathematica 4: Учебный курс. СПб: Питер, 2001. 656 с.
- 5. Емельянов А.А., Власова Е.А., Дума Р.В. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Финансы и статистика, 2004.
- 6. Иванилов Ю.П., Лотов А.В. Математические модели в экономике. М.: Наука, 1979.
- 7. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
- 8. Каталевский Д. Системная динамика: истоки, становление, перспектива. http://sdrus.org.ru, 2006.
- 9. Кетков Ю.Л., Кетков А.Ю., Шульц М.М. MatLab 6.х: программирование численных методов. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 672 с.
- 10. Кетков Ю.Л., Кузнецов А.И. Обыкновенные дифференциальные уравнения MatLab versus MathCAD. // Математика в высшем образовании. №3, 2005 г. Стр. 27-52.
- 11. Красс М.С., Чупрынов Б.П. Математические методы и модели для магистрантов экономики: Учебное пособие. СПб.: Питер, 2006.
- 12. Крюков М.М. Эколого-экономическое игровое имитационное моделирование: методический аспект. М.: Экономический факультет МГУ, ТЕИС, 2006.
- 13. Кузнецов Ю.А., Перова В.И., Мичасова О.В. Работа с программным пакетом Ithink: Учебно-методическое пособие. Н.Новгород: Изд-во ННГУ, 2005.
- 14. Нейлор, Т. и др. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем. Пер. с англ. М.: Издательство «Мир», 1975.
- 15. Охорзин В.А. Оптимизация экономических систем. Примеры и алгоритмы в среде MathCAD: Учебное пособие. М.: Финансы и статистика, 2005. 144 с.
- 16. Петрова К.Ю. Вариационное исчисление в пакете Maple. // ExponentaPro. №1 (5), 2004 г. Стр. 84-87.
- 17. Речнов А.В., Самарин В.В., Филиппов В.П. Применение пакета MathCAD для решения прикладных экономических задач. / ExponentaPro. №1(5), 2004 г. Стр 76-80.

- 18. Рынок программных средств. (www.economy.mari.ru.)
- 19. Сидоренко В.Н. Системная динамика. М.: ТЕИС, 1998.
- 20. Сидоренко В.Н. Системно-динамическое моделирование экономического роста. // Моделирование и прогнозирование социально-экономических процессов, 1999. С. 33-44.
- 21. Тодаро, М.П. Экономическое развитие: пер. с англ. / Под ред. Яковлева С.М., Зевина Л.З. М.: Экономический ф-т МГУ. ЮНИТИ, 1997.
 - 22. Форрестер Дж. "Динамика развития города" М.: Прогресс, 1974
 - 23. Форрестер Дж. "Мировая динамика" М.: Наука, 1978
- 24. Черных И.В. "Simulink: Инструмент моделирования динамических систем" // www.matlab.exponenta.ru
- 25. Экономическая теория. Под ред. Добрынина А.И., Тарасевича Л.С. СПб.: Питер, 1999.
 - 26. Neelamkavil, F. Computer simulation and modelling. JohnWiley & Sons Ltd. UK. 1987.
- 27. Saeed, K. Development Planning and Policy Design: System Dynamics Approach. Ashgate Publishing Company. 1994
- 28. Technical Documentation for the ITHINK & STELLA Software // High Performance Systems, Inc., 2003.
 - 29. Thygesen, H.H. System Dynamics in Action. Copenhagen Business School, 2004.
 - 30. http://sysdyn.mit.edu
 - 31. www.exponenta.ru
 - 32. www.km.ru
 - 33. www.radiomaster.ru

ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ СИСТЕМНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

§1. Краткий очерк истории развития системных представлений

В современном обществе системные представления уже достигли такого уровня, что мысль о полезности и важности системного подхода к решению возникающих в практике проблем вышла за рамки специальных научных истин и стала привычной, общепринятой. Уже не только ученые, но и инженеры, педагоги, организаторы производства, деятели культуры обнаружили системность собственной деятельности и стараются осуществлять свою работу осознанно системно. Широко распространилось понимание того, что наши успехи связаны с тем, насколько системно мы подходим к решению проблем, а наши неудачи вызваны отступлениями от системности.

Было бы неверным считать, что "мышление стало системным" только во второй половине XX века. Мышление системно всегда и другим быть не может. Системность — это не такое качество, которым можно обладать или не обладать. Однако системность имеет разные уровни. Сигналом о недостаточной системности существующей деятельности является появление проблемы; разрешение возникшей проблемы осуществляется путем перехода на новый, более высокий уровень системности в нашей деятельности. Поэтому системность не столько состояние, сколько процесс.

Иллюстрацией этого может служить состояние знаний тех, кому только что сказанное представляется расплывчатым, не очень ясным: что означает само слово "система", что означает "действовать системно", почему "не системного" знания не бывает? Налицо проблема понимания сказанного (причем совсем не уникальная, а типичная для обучения). Эту проблему можно решать, постепенно повышая уровень системности знаний. На первом этапе вполне достаточно тех ассоциаций, которые возникают, когда мы употребляем в обыденной речи слово "система" в сочетании со словами "общественно-политическая", "Солнечная", "нервная" или "уравнений".

Выше уже было отмечено, что для возникновения системных понятий и теорий имеются фундаментальные объективные причины, и поэтому такие теории не могли не возникнуть, а, возникнув - не могут не развиваться, и существующее состояние является лишь очередным этапом этого развития, которое будет продолжаться. Однако этот процесс происходит не гладко, в нем возможны не только рывки вперед, но и остановки и

даже отступления назад. Осознание системности мира и модельности мышления зачастую отставало от эмпирической системности человеческой практики.

Ранние этапы развития системных представлений носили стихийный характер. Их возникновение связывают со временами античной греческой философии (Платон, Аристотель, стоики, Евклид): именно к этому периоду восходит зарождение понятия системы (συστημα).

История развития системных представлений первоначально шла по нескольким отдельным направлениям. С разных исходных позиций приближались к современному пониманию системности философская мысль и конкретно-практическая научная и техническая методология. В своем движении к единой, объективной истине они неминуемо должны были сойтись, сопоставить результаты, понять общность и различия. Этот синтез знаменовал собой возникновение системного анализа как науки.

Интересно отметить, что философия примерно на сто лет раньше вышла "в район встречи", на высшую позицию в осознании системности материи, сознания и их отношения. Результаты философии относятся к множеству всех существующих и мыслимых систем, носят всеобщий характер. Их применение к рассмотрению конкретных ситуаций означает переход к суженному множеству систем, учет его особенностей в проявлении общих закономерностей (дедуктивный метод).

Конкретные науки большей частью придерживаются противоположного, индуктивного метода - от исследования реальных систем к установлению общих закономерностей. Это относится и к собственно системным закономерностям.

В свете современных представлений системность всегда, осознанно или неосознанно, была методом любой науки; любой ученый прошлого, и не помышлявший о системах и моделях, именно с ними и имел дело. Как уже отмечалось, быстрее всего была осознана системность самого человеческого познания. Философия, логика, основания математики – это примеры тех областей знания, в которых споры по системным проблемам уходят в глубь веков.

Первым в явной форме вопрос о научном подходе к управлению сложными системами поставил М.-А. Ампер. При построении классификации всевозможных, в том числе и несуществовавших тогда, наук ("Опыт о философии наук, или аналитическое изложение классификации всех человеческих знаний", ч. І - 1834 г., ч. ІІ - 1843 г.) он выделил специальную науку об управлении государством и назвал ее кибернетикой (къргруптікт). При этом он не только обозначил необходимое место для кибернетики в ряду других наук, но и подчеркнул основные ее системные особенности:

"Беспрестанно правительству приходится выбирать среди различных мер ту, которая более всего пригодна к достижению цели (...) и лишь благодаря углубленному и сравнительному изучению различных элементов, доставляемых ему для этого выбора, знанием всего того, что касается управляемого им народа, - характера, воззрений, истории, религии, средств существования и процветания, организаций и законов, — может оно составить себе общие правила поведения, руководящие им в каждом конкретном случае. Эту науку я называю кибернетикой от слова (kubernhtikh), обозначавшего сперва, в узком смысле, искусство управления кораблем, а затем постепенно получившего у самих греков гораздо более широкое значение искусства управления вообще".

Ампер только еще пришел к выводу о необходимости кибернетики, а Б. Трентовский, польский философ-гегельянец, уже читал во Фрейбургском университете курс лекций, содержание которого опубликовал на польском языке в 1843 г. Его книга называлась "Отношение философии к кибернетике как искусству управления народом". Трентовский ставил целью построение научных основ практической деятельности руководителя ("кибернета"):

"Применение искусства управления без сколько-нибудь серьезного изучения соответствующей теории подобно врачеванию без сколько-нибудь глубокого понимания медицинской науки".

Он подчеркивал, что действительно эффективное управление должно учитывать все важнейшие внешние и внутренние факторы, влияющие на объект управления:

"При одной и той же политической идеологии кибернет должен управлять различно в Австрии, России или Пруссии. Точно так же и в одной и той же стране он должен управлять завтра иначе, чем сегодня".

Главная же сложность в управлении, по мнению Трентовского, связана со сложностью поведения людей:

"Люди не математические символы и не логические категории, и процесс управления - это не шахматная партия. Недостаточное знание целей и стремлений людей может опрокинуть любое логическое построение. Людьми очень трудно командовать и предписывать им наперед заданные действия. Приказ, если кибернет вынужден его отдавать, всегда должен четко формулироваться. Исполняющему всегда должен быть понятен смысл приказа, его цели, результат, который будет достигнут, и кара, которая может последовать за его невыполнением, - последнее обязательно".

Разумеется, Трентовский понимал, что общество, коллектив, да и сам человек — это система, единство противоречий, разрешение которых и есть развитие. Поэтому кибернет должен уметь, исходя из общего блага, одни противоречия примирять, другие — обострять, направляя развитие событий к нужной цели:

"Короче говоря, кибернет не проектирует будущее, как старается сделать некий радикальный философ, - он позволяет будущему рождаться своим собственным независимым способом. Он оказывает будущему помощь как опытный и квалифицированный политический акушер".

Даже по этим нескольким кратким высказываниям Трентовского можно видеть, насколько далеко ему удалось продвинуться в понимании необходимости алгоритмизации человеческой деятельности в осознании системности человеческих коллективов, групп, формальных и неформальных образований, в понимании сложности управления людьми.

Поэтому можно согласиться с оценкой Н.Н. Моисеева [35, С. 20]:

"Я думаю, что его книга ...это веха, показывающая становление кибернетики как общей науки об управлении, о каркасе, как говорил Б. Трентовский, через который отдельные науки могут соединиться и взаимодействовать для достижения общих целей".

И все же общество середины прошлого века оказалось не готовым воспринять идеи кибернетики. Практика управления еще могла обходиться без науки управления. Кибернетика родилась слишком рано и была позабыта. Прошло около полувека, и системная проблематика снова появилась в поле зрения науки. На этот раз внимание было сосредоточено на вопросах структуры и организации систем. Поразительным, например,

оказалось открытие, опубликованное в 1891 г. акад. Е.С. Федоровым, что может существовать только 230 разных типов кристаллической решетки, хотя любое вещество при определенных условиях может кристаллизоваться. Конечно, это открытие прежде всего в области минералогии и кристаллографии, но его более общий смысл и значение отметил сам Федоров. Важным было осознать, что все невообразимое разнообразие природных тел реализуется из ограниченного и небольшого числа исходных форм. Это оказывается верным и для языковых устных и письменных построений, архитектурных конструкций, строения вещества на атомном уровне, музыкальных произведений, других систем. Но Федоров пошел дальше. Развивая системные представления, он установил и некоторые закономерности развития систем. Ему принадлежит наблюдение, что главным средством жизнеспособности и прогресса систем является не их приспособленность, а способность к приспособлению ("жизненная подвижность"). Е.С. Федорова можно заслуженно отнести к числу основоположников теории систем.

Следующая ступень в изучении системности как самостоятельного предмета связана с именем А.А. Богданова (Богданов - это псевдоним, настоящая фамилия – Малиновский). В 1911 г. вышел в свет первый том, а в 1925 г. - третий том его книги "Всеобщая организационная наука (тектология)" [6]. Большая общность тектологии связана с идеей Богданова о том, что все существующие объекты и процессы имеют определенную степень, уровень организованности. В отличие от конкретных естественных наук, изучающих специфические особенности организации конкретных явлений, тектология должна изучать общие закономерности организации для всех уровней организованности. Все явления рассматриваются как непрерывные процессы организации и дезорганизации. Богданов не дает строгого определения понятия организации, но отмечает, что уровень организации тем выше, чем сильнее свойства целого отличаются от простой суммы свойств его частей. Пожалуй, самой важной особенностью тектологии является то, что основное внимание уделяется закономерностям развития организации, рассмотрению соотношений устойчивого и изменчивого, значению обратных связей, учету собственных целей организации (которые могут как содействовать целям высшего уровня организации, так и противоречить им), роли открытых систем. Богданов довел динамические аспекты тектологии до рассмотрения проблемы кризисов, т.е. таких моментов в истории любой системы, когда неизбежна коренная, "взрывная" перестройка ее структуры. Он подчеркивал роль моделирования и математики как потенциальных методов решения задач тектологии.

Даже из столь беглого обзора основных идей тектологии видно, что Богданов во многом предвосхитил, а кое в чем и превзошел многие положения современных кибернетических и системных теорий. Преувеличение значимости своих идей Богдановым проявилось и в том, как он оценивал соотношение тектологии с философией:

"По мере своего развития тектология должна сделать излишней философию, и уже с самого начала стоит над нею, соединяя с ее универсальностью научный и практический характер" [6,35].

Все это в совокупности с новизной предмета тектологии и первоначальным непониманием ее задач и привело к тому, что о ней вспомнили только тогда, когда другие начали приходить к тем же результатам. Теперь ясно, что приоритет и вклад А.А. Богданова в развитие системных представлений нельзя недооценивать.

По-настоящему явное и массовое усвоение системных понятий, общественное осознание системности мира, общества и человеческой деятельности началось с 1948 г., когда американский математик Н. Винер опубликовал книгу под названием "Кибернетика". Первоначально он определил кибернетику как "науку об управлении и связи в животных и машинах". Однако очень быстро стало ясно, что такое определение, сформировавшееся благодаря особому интересу Винера к аналогиям процессов в живых организмах и машинах, неоправданно сужает сферу приложения кибернетики. Уже в следующей книге Н. Винер анализирует с позиций кибернетики процессы, происходящие в обществе [9,10].

Сначала кибернетика привела многих ученых в замешательство: оказалось, что кибернетики берутся за рассмотрение и технических, и биологических, и экономических, и социальных объектов и процессов. Возник даже спор - имеет ли кибернетика свой предмет исследования. Всерьез обсуждались предложения считать кибернетику не наукой, а "искусством эффективного действия". В нашей стране кибернетика была встречена настороженно и даже враждебно. Рекламные заявления американских кибернетиков о работе над созданием "мыслящих машин" некоторыми философами были восприняты буквально, а кибернетика была объявлена ими идеалистической лженаукой (!).

По мере развития кибернетики, уточнения ее понятий, разработки ее собственных методов, получения конкретных результатов в разных областях стало очевидным, что кибернетика - это самостоятельная наука, со своим, характерным только для нее

предметом изучения, со своими специфическими методами исследования. В становление кибернетики внесли вклад и советские ученые. Важную роль сыграли определения, сформулированные в период горячих дискуссий о сути кибернетики: кибернетика — это наука об оптимальном управлении сложными динамическими системами (А.И. Берг); кибернетика — это наука о системах, воспринимающих, хранящих, перерабатывающих и использующих информацию (А.Н. Колмогоров). Эти определения признаны весьма общими и полными. Хотя в них необходимо разъяснить практически каждое слово, из них тем не менее видно, что предметом кибернетики является исследование систем. Важно подчеркнуть, что, хотя при изучении системы на каком-то этапе потребуется учет ее конкретных свойств, для кибернетики в принципе несущественно, какова природа этой ЛИ физической, биологической, системы, т.е. является она экономической, организационной или даже воображаемой, нереальной системой. Это делает понятным, почему кибернетика "вторгается" в совершенно разнородные сферы. Если с известной долей юмора представить себе весь мир как "булку хлеба", от которой каждая наука "отрезает себе ломоть", то, образно говоря, все науки разрезают эту булку "поперек", а кибернетика - "вдоль": в кибернетический "ломтик" попадают объекты любой природы, как только они оказываются сложными системами. То, что кибернетические методы могут применяться к исследованию объектов, традиционно "закрепленных" за той или иной наукой, должно рассматриваться не как "постороннее вмешательство неспециалистов", а как рассмотрение этих объектов с другой точки зрения. Более того, при этом происходит взаимное обогащение кибернетики и других наук: с одной стороны, кибернетика получает возможность развивать и совершенствовать свои модели и методы, с другой кибернетический подход к системе определенной природы может прояснить некоторые проблемы данной науки или даже выдвинуть перед ней новые проблемы, а главное - содействовать повышению ее системности.

С кибернетикой Винера связаны такие продвижения в развитии системных представлений, как типизация моделей систем, выявление особого значения обратных связей в системе, подчеркивание принципа оптимальности в управлении и синтезе систем, осознание информации как всеобщего свойства материи и возможности ее количественного описания, развитие методологии моделирования вообще и в особенности идеи математического эксперимента с помощью ЭВМ. Все это сыграло выдающуюся роль в развитии общественного сознания, человеческой практики и культуры, подготовило почву для того невиданного ранее размаха компьютеризации.

Справедливо рассматривать кибернетику Винера как важный этап в развитии

системных представлений, давший ценные идеи и результаты, этап, на котором встретились непреодолимые трудности и обнаружились недостатки самой теории.

Параллельно и как бы независимо от кибернетики прокладывается еще один подход к науке о системах - общая теория систем. Идея построения теории, приложимой к системам любой природы, была выдвинута австрийским биологом Л. Берталанфи [4,62]. Один из путей реализации этой идеи Берталанфи видел в том, чтобы отыскивать структурное сходство законов, установленных в различных дисциплинах, и, обобщая их, выводить общесистемные закономерности. Пожалуй, самым важным достижением Берталанфи является введение понятия открытой системы. В отличие от винеровского подхода, где изучаются внутрисистемные обратные функционирование связи, a систем рассматривается просто как отклик на внешние воздействия, Берталанфи подчеркивает особое значение обмена системы веществом, энергией и информацией (негэнтропией) с окружающей средой. В открытой системе устанавливается динамическое равновесие, которое может быть направлено в сторону усложнения организации (вопреки второму закону термодинамики, благодаря вводу негэнтропии извне), и функционирование является не просто откликом на изменение внешних условий, а сохранением старого или нового подвижного внутреннего установлением равновесия усматриваются как кибернетические идеи гомеостазиса, так и новые моменты, имеющие свои истоки в биологии. Берталанфи и его последователи работали над тем, чтобы придать общей теории систем формальный характер. Однако заманчивый замысел построить общую теорию систем как новую логико-математическую дисциплину не был реализован полностью. Возможно, что наибольшую ценность общей теории систем представляет не столько ее математическое оформление, сколько разработка целей и задач системных исследований, развитие методологии анализа систем, установление общесистемных закономерностей.

Современный "прорыв" в исследовании систем совершен бельгийской школой во главе с И. Пригожиным [51]. Развивая термодинамику неравновесных физических систем (за результаты этих исследований Пригожин был удостоен Нобелевской премии 1977 г.), он вскоре понял, что обнаруженные им закономерности относятся к системам любой природы. Наряду с переоткрытием уже известных положений (иерархичность уровней организации систем; несводимость друг к другу и невыводимость друг за друга закономерностей разных уровней организации; наличие наряду с детерминированными случайных процессов на каждом уровне организации и др.) Пригожин предложил новую, оригинальную теорию системодинамики. Наибольший интерес и внимание привлекли те

ее моменты, которые раскрывают механизм самоорганизации систем. Согласно теории Пригожина, материя не является пассивной субстанцией; ей присуща спонтанная активность, вызванная неустойчивостью неравновесных состояний, в которые равно или поздно приходит любая система в результате взаимодействия с окружающей средой. Важно, что в такие переломные моменты (называемые "особыми точками" или "точками бифуркации") принципиально невозможно предсказать, станет ли система менее организованной или более организованной ("диссипативной", по терминологии Пригожина). Таковы, в основных чертах, основные этапы истории системного мышления до периода возникновения системного анализа.

В настоящее время системный анализ рассматривается как интегрирующая междисциплинарная область науки, обобщающая методологию исследования сложных систем. Общая характеристика различных аспектов системного анализа может быть представлена следующими положениями.

Системный анализ можно рассматривать:

- как практическую систему методов исследования или проектирования сложных систем, поиска и реализации изменений, предназначенных для решения возникших проблем;
- как методологическую основу решения практических задач, особенность которых состоит в необходимости выяснения причин их сложности и устранения этих причин;
- как обобщающую и интегрирующую дисциплину, имеющую междисциплинарный характер (методический аспект).

Начало современного этапа развития системных представлений и применения методов системного анализа в исследованиях социально - экономических систем может быть хронологически связано с периодом 60-х годов двадцатого столетия. В этот период времени на основе новых возможностей, связанных с развитием информационных технологий, в СССР и за рубежом началось изучение ряда новых проблем глобального характера, связанных с эволюцией систем планетарного масштаба (Н.Н. Моисеев, В.В.Александров, А.М.Тарко, А.А. Петров, И.Г. Поспелов, П.С. Краснощеков, М. Месарович, Дж.Ф. Форрестер, Т. Нейлор, ...).

Это потребовало развития математических методов системного анализа. Отметим исследования большой группы отечественных и зарубежных ученых, так или иначе связанных с исследованиями социально — экономических, экономико — экологических, технических систем на основе системных представлений (Н.Н. Моисеев, А.А. Петров, И.Г. Поспелов, П.С. Краснощеков, В.Н.Бурков, В.А.Ириков, М. Месарович, Д. Мако,

Я.Такахара, Л.Т.Груйич, А.А.Мартынюк, М.Риббенс-Павелла, Дж.Касти, А.Бенсусан, Ж.-Л.Лионс, Р.Темам, Р.Калман, П.Фалб, М.Арбиб, ...). Эти исследования позволили выйти на новый уровень понимания широкого круга проблем, связанных с управлением организационными системами, динамикой крупномасштабных иерархических многоуровневых систем, проблем анализа окружающей среды и т.д. (см., например, [1-3], [13 - 22], [27-38], [44 - 48], [50], [58], [61 - 74] и приведенную там дальнейшую информацию).

Затронув проблему математических методов системного анализа нельзя не отметить того, что математическое моделирование как исследование тех или иных объектов познания с помощью построения и изучения их моделей является одним из наиболее распространенных и мощных методов научного познания и решения практических задач. Уже давно и плодотворно математическое моделирование применяется в естественных науках. Давние традиции и заметные достижения имеет оно и в исследованиях экономики. В ряде разделов математической экономики (эконометрика) построение и изучение моделей является стандартным и даже отчасти ругинным делом. В то же время все еще широко распространено давно установившееся мнение о том, что экономико - математическое моделирование является скорее одним из разделов экономической теории, причем даже не самым важным, а скорее второстепенным.

Необходимость выхода из замкнутого круга традиционных взглядов и перехода к системному исследованию экономических явлений и процессов на основе экономико математического моделирования является вполне очевидной. Целью таких исследований является понимание и описание природы и структуры механизмов самоорганизации и эволюции экономических систем. Заметим, что экономические системы принципиально отличаются от физических, поэтому опыт математического моделирования, приобретенный в естественных науках, не может быть буквально (как набор приемов) перенесен на исследования экономики. Скорее этот опыт надо воспринимать как методологию; в самом подходе к моделированию экономических систем важен не набор приемов или рецептов, а своеобразный "естественно - научный менталитет" или "система естественно - научного мышления".

Кажется, сейчас уже становится общепризнанным, что для дальнейшего реального продвижения как в общей экономической теории, в исследовании эволюции экономических процессов и систем на различных уровнях, так и в разработке на этой основе адекватных управленческих решений необходимы системные исследования, опирающиеся не только на результаты в области социально-экономических наук, но и на

широкий круг подходов, характерных для теоретической и прикладной математики и системного анализа. Важная роль принадлежит здесь такой современной области знания, как нелинейная динамика(см, например, [15], [52] и приведенную там библиографию). Основным объектом исследования современной нелинейной динамики динамические системы, демонстрирующие близкое (неотличимое «на глаз») к хаотическому поведение с принципиально ограниченным горизонтом предсказания. Подобные процессы получили название динамического хаоса. Их существование было установлено еще в 60-х годах ХХ века, а затем осмыслено как ключевое свойство очень разных явлений живой и неживой природы. За последние десятилетия своего развития нелинейная динамика выработала адекватный язык описания и инструментарий для исследования таких процессов. Очень привлекательным кажется использование методов нелинейной динамики И математического моделирования макроэкономического моделирования и прогнозирования эволюции экономических систем в странах с переходной экономикой (и, прежде всего, в России).

Такое понимание роли экономико - математического моделирования в принципе отличается от традиционного, в котором математическое моделирование и точные науки рассматриваются как некоторый важный, но дополнительный (и даже второстепенный) аспект экономических исследований. Оно означает, что экономико - математическое моделирование является естественной методологической основой системных исследований социально – экономических, экономико – экологических систем.

Одним из важнейших направлений моделирования следует считать создание набора математически строго изученных достаточно общих моделей. Устанавливаемые при этом результаты помимо обоснования непротиворечивости исходных посылок и корректности описания рассматриваемых процессов, указывают своеобразные "точки отсчета" - пределы возможного, или, наоборот, нереализуемого поведения экономических систем. Такие модели могут выступать в качестве своеобразных "эталонов" (систем сравнения) при исследовании еще более сложных, в том числе "избыточно" сложных моделей, учитывающие не только основные, но и второстепенные факторы.

§ 2. Общая характеристика системного анализа

2.1. Как уже отмечалось в §1, логика развития системного подхода к исследованию сложных систем различного характера привела к формированию новой научной дисциплины – системного анализа.

Системный анализ (systems analysis) можно охарактеризовать как совокупность научнометодологических, методических и практических подходов, процедур, алгоритмов, а также приемов и средств, используемых для подготовки, обоснования, выбора и осуществления решений по сложным проблемам различного характера в разнообразных предметных областях.

В практическом плане системный анализ есть система методов исследования или проектирования сложных систем, поиска, планирования и реализации изменений, предназначенных для ликвидации проблем. В научно-методологическом и методическом планах системный анализ есть междисциплинарное и наддисциплинарное направление научных исследований, к числу особенностей которого относится использование наряду со строго обоснованными, в частности, формальными математическими методами, неформальных - эвристических, экспертных, эмпирических, экспериментальных методов.

Системный подход (systems approach) в настоящее время рассматривается либо как одна из ранних форм системного анализа, либо как начальная фаза современного системного анализа, этап первоначального, качественного анализа проблемы и постановки задач.

Важно подчеркнуть, что принятие решения (decision making) происходит, как правило, в условиях неопределенности, когда исследуемый объект (система) имеет разветвленные и устойчивые взаимосвязи с окружающей средой, причем целый ряд свойств объекта и его связей не наблюдаем.

Центральной проблемой системного анализа является построение обобщенной модели (model) (или системы моделей), отображающих все те факторы и взаимосвязи реальной ситуации, которые могут проявиться в процессе осуществления решения. В связи с этим системный анализ, с одной стороны, опирается на ряд фундаментальных и прикладных математических дисциплин и развитых в них методах, с другой – использует возможности современных информационных технологий.

В связи с этим следует отметить существование двух, в известном смысле крайних, точек зрения в толковании сущности системного анализа, его отличительных особенностей и границ применения (Оптнер С.Л., [41]).

Первая под системным анализом подразумевает исследование, целью которого является количественное определение наилучшей стратегии (решения). Эта точка зрения предполагает как формализацию прикладной проблемы на математическом уровне, так и использование адекватного математического аппарата. В рамках этой точки зрения задача принятия решения (выбора стратегии решения проблемы) в конечном счете должна быть

поставлена и решена как математическая проблема. Такую версию системного анализа удобно обозначить как "математический системный анализ".

Вторая точка зрения делает упор на логику процесса принятия решения (выбора стратегии решения проблемы). Системный анализ рассматривается как методология уяснения и упорядочения (≈ структуризации) проблемы, которую можно в ряде случаев разрешить без использования мощных математических теорий и современных информационных технологий. При этом под структуризацией проблемы понимается выяснение реальных целей самой изучаемой системы и альтернативных путей их достижения, выявление внутренних и внешних условий, в которых возникла проблема, а также анализ последствий и границ осуществимости тех или иных решений. В рамках этой точки зрения задача принятия решения (выбора стратегии решения проблемы) должна быть поставлена и решена на основе логического анализа и структуризации проблемы. Эту версию системного анализа удобно обозначить как "логический системный анализ".

"Логический системный анализ" применяется, как правило, для решения "слабоструктурированных" проблем – таких проблем, в самой постановке которых много неопределенного и неясного. Такие проблемы, как правило, и невозможно представить в полностью формализованном (в математическом смысле) виде.

"Логический системный анализ" и "математический системный анализ", имея, в общем, различные области применения, не являются конкурентами; скорее их можно представить себе как разные совокупности методов, наиболее адекватных для по-разному сложившихся сфер исследования. Поэтому разумно "логический системный анализ" и "математический системный анализ" рассматривать как дополняющие друг друга "разделы" или "части" "единого системного анализа".

Как уже отмечалось выше, системный анализ содержит в себе элементы, присущие как научным (в частности, количественным) методам, так и "интуитивно-эвристическим" подходам, в связи с чем о системном анализе иногда говорят как о просвещенном здравом смысле, на службу которому поставлены аналитические методы.

"Интуитивно-эвристическая" компонента системного анализа целиком определяются искусством и опытом исследователя. Присутствие в системном анализе субъективных элементов (опыт, знания, интуиция, предпочтения и т.д.) связано с объективными причинами — ограниченностью возможности применения точных количественных методов ко всем аспектам сложных проблем. Эта сторона методологии системного анализа представляет важную особенность системного анализа, с которой связано

специфическое понимание того, что считается результатом системного анализа проблемы.

Основным и наиболее ценным (значимым) результатом системного анализа признается не количественное решение проблемы, а увеличение степени ее понимания и сущности различных путей ее решения.

Это понимание и различные альтернативы решения проблемы вырабатываются специалистами и экспертами по системному анализу и представляются "ответственным лицам" (~ "лицам, принимающим решения" = "ЛПР") для конструктивного обсуждения и принятия решения, которое и будет осуществляться.

Приведенная выше общая характеристика системного анализа и вытекающая из нее важность не "количественных", а "понимательных" результатов в системном анализе дают основание сделать следующее важное наблюдение. Вероятно, следует считать, что среди фундаментальных и прикладных математических дисциплин, развитых в них методов и имеющихся результатов, особый интерес для системного анализа представляют те из них, которые нацелены на получение общих выводов качественного характера как об изучаемом объекте (системе) "в целом", так и о его поведении при изменении параметров, характеризующих "внешнюю" по отношению к системе среду.

Другое важное наблюдение - это отмеченная выше специфическая черта получаемых на основе системного анализа результатов как основы для дальнейшего конструктивного обсуждения принятия "окончательного" решения, которое и будет затем И своеобразная осуществляться. Эти неявно предполагаемые "предварительность" получаемых результатов и присутствие "ответственных лиц" (или "лиц, принимающих решения") роднят системный анализ с такой математической теориями, как исследование операций, теория игр и др. Впрочем, последнее и неудивительно, если учесть особенности возникновения и развития системного анализа как самостоятельной научной дисциплины, и естественную преемственность системного анализа по отношению к ряду математических теорий.

2.2. Системный анализ возник в ответ на требования практики, связанные с необходимостью изучать и проектировать сложные системы, управлять ими в условиях неполноты информации, ограниченности ресурсов, дефицита времени. До настоящего времени продолжаются споры, можно ли системный анализ считать наукой, искусством или "технологическим ремеслом". Особенно остро дискутируются приложения системного анализа к проблемам, связанным с "социотехническими", "социальными"

системами, т.е. системами, в которых решающую роль играют люди. При решении таких проблем существенными оказываются не только вопросы построения и использования моделей, не только эвристические поиски решения слабо структурированных, не полностью формализуемых задач, но и чисто психологические аспекты человеческих взаимоотношений, что еще более "удаляет" системный анализ от "чистых наук" типа физики и математики.

Споры о "степени научности" системного анализа вызваны рядом причин.

Во-первых, довольно часто недооценивается работа, связанная с формулировкой задач. Многие полагают, что пока не построены формальные модели, "настоящая" работа еще и не начиналась, а выражение "хорошо поставить задачу - значит наполовину ее решить" расценивают как шутку. В системном анализе акцентируется внимание на трудностях формулировок задач, на способах преодоления этих трудностей.

Во-вторых, преодоление сложности, природа которой связана с неполной формализуемостью, требует систематического применения неформальных знаний и методов. Этот феномен можно образно описать следующим образом (см., например, Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П., [43]). Сознательно упрощая классификацию знаний, разделим их на два основных типа - формализованные ("академические") и неформализованные ("житейские"), а также рассмотрим всего два уровня развитости ("высокий" и "низкий") для каждого из этих типов знании. В результате получается следующая таблица, характеризующая соотношения между двумя типами знаний:

		Академические знания	
		Высокий	Низкий
		уровень	уровень
Житейские	Высокий	I	II
знания	уровень		
	Низкий	IV	III
	уровень		

При обсуждении особенностей работы системных аналитиков указывается, что обычно не имеется ни глубоких "житейских" знаний изнутри об организации, которая изучается, ни очень хороших формальных теорий, которые при их приложении к организации объяснили бы что-нибудь, кроме очевидного. Далее, традиционно научные круги делают упор на ячейке IV. Они ценят формальные теории выше знаний практика, даже если и соглашаются когда-либо, что практики вообще способны обладать чем-то, что называется

"знанием". Предполагается, что практики, конечно, должны предпочитать ячейку II другим ячейкам. Остается еще одна ячейка - I. Вероятно, именно тут должны быть сосредоточены усилия системных аналитиков. Другими словами, системный анализ намеренно объединяет теорию и практику, здравый смысл и абстрактную формализацию.

Постановка формальной задачи, которую надо решать, для традиционных наук - начальный, отправной этап работы. В исследовании же или проектировании сложной системы это промежуточный результат, которому предшествует длительная кропотливая и сложная работа по структурированию исходной проблемы.

Имеется ряд причин считать любую исходную формулировку проблемы лишь "нулевым приближением". Главная из них состоит в том, что проблемосодержащая система (так называют систему, в деятельности которой проявилась данная проблема как некоторое отрицательное, нежелательное явление) не является ни изолированной, ни монолитной: она связана с другими системами и входит как часть в некоторую надсистему; сама она в свою очередь состоит из частей, подсистем, в различной степени причастных к данной проблеме. Если это действительно реальная проблема, и мы намерены хотя бы ослабить ее остроту, то необходимо учитывать, как это скажется на тех, кого неизбежно затронут планируемые изменения. Таким образом, к любой реальной проблеме необходимо априори относиться не как к отдельно взятой, а как к "клубку" взаимосвязанных проблем. В английской системной терминологии этому понятию соответствует введенный Р. Акоффом термин mess, во французской – problematique; в русском языке уместен термин "проблематика".

Используя для обозначения этой совокупности термин проблематика, можно сказать, что этап формулирования проблемы состоит в определении проблематики.

Другая важная причина того, чтобы относиться к первоначальной формулировке проблемы не как к безусловной отправной точке дальнейшего анализа, а как к начальному объекту, который сам подлежит изучению и уточнению, является тот факт, что предлагаемая заказчиком формулировка является его моделью реальной проблемной ситуации. Отсюда следует, что необходимо учитывать не только точку зрения заказчика, позиции других заинтересованных сторон (что, как уже было показано, приводит к необходимости расширения проблемы до проблематики), но и то, что его модель, как и всякая модель, неизбежно имеет целевой характер, является приблизительной, упрощенной. Поэтому следует проверять предложенную формулировку на адекватность, что обычно приводит к развитию, дополнению, уточнению первоначального варианта описания проблемы.

Итак, системное исследование всякой проблемы начинается с ее расширения до проблематики, т.е. нахождения системы проблем, существенно связанных с исследуемой, без учета которых она не может быть решена. Это расширение происходит как "вширь" благодаря выявлению связей проблемосодержащей системы с над- и подсистемами, так и "вглубь" в результате рассмотрения данной проблемы с точки зрения каждого из языков конфигуратора и (если необходимо) детализации исходной проблемы,

Строя проблематику, системный аналитик дает развернутую картину того, кто из заинтересованных лиц и в чем заинтересован, какие изменения и почему они хотят внести. При этом собственная его позиция должна быть нейтральной, он должен остерегаться повлиять на мнения обследуемых лиц. Например, в ходе выяснения проблематики системному аналитику следует избегать реплик типа "я согласен (не согласен) с вами", лучше сказать "я слушаю вас".

Самый ответственный этап системного анализа - формулирование проблемной ситуации. Этот этап лишь начинается с постановки проблемы заказчиком. Необходимо выявить всех, кого затронут возможные изменения, и сформулировать вытекающие из этих изменений их проблемы на всех языках конфигуратора. Полученное множество проблем, названное проблематикой, и является исходным пунктом для системного анализа.

Как хорошо формализованные, так и слабо структурированные проблемы должны быть приведены к виду, когда они становятся задачами выбора подходящих средств для достижения заданных целей. Поэтому, прежде всего, необходимо определить цели. На данном этапе системного анализа определяется, что надо сделать для снятия проблемы (в отличие от последующих этапов, определяющих, как это сделать).

Главная трудность выявления цели связана с тем фактом, что цели являются как бы антиподом проблемы. Формулируя проблему, мы говорим в явной форме, что нам не нравится. Сделать это сравнительно просто, поскольку то, чего мы не хотим, существует. Говоря же о целях, мы пытаемся сформулировать, что же мы хотим. Мы как бы указываем направление, в котором следует "уходить" от существующей и не устраивающей нас ситуации. Трудность в том и состоит, что возможных направлений много, а выбрать нужно только одно, действительно правильное, а не кажущееся таким.

В практике системного анализа первоначально сформулированные цели по мере выполнения анализа часто изменяются или отменяются совсем. Это вызвано тем, что субъект, цели которого должны быть выявлены, обычно сам не может их четко осознать,

даже если и дает им четкие формулировки. Действительные цели, как правило, шире, чем объявленные. Иногда средства могут приниматься за цели.

Итак, исследование целей заинтересованных в проблеме лиц должно предусматривать возможность их уточнения, расширения или даже замены. В этом и состоит одна из основных причин итеративности системного анализа.

На выбор даже конкретных, частных целей субъекта решающее влияние оказывает его общая идеология, система ценностей, которой он придерживается. Одно из направлений исследования в ходе выявления цели может (в необходимых случаях) состоять в изучении системы ценностей, прежде всего той, которой обладают лица, принимающие решения; однако во многих случаях может оказаться необходимым принять во внимание системы ценностей и остальных заинтересованных сторон.

Различие между целями не всегда очевидно, и существует опасность ошибочно принять одни за другие. Такая ситуация возникает обычно, когда специалисты-профессионалы, участвующие в решении проблем, навязывают свое видение мира и тем самым подменяют главные цели своими. Смешение целей может и не быть столь явным.

Далее, необходимо иметь в виду, что изменение целей во времени может происходить не только по форме, в силу все лучшего понимания действительных целей, но и по содержанию - вследствие изменения объективных условий и/или субъективных установок, влияющих на выбор целей. Сроки старения целей различны и зависят от многих причин. Цели более высоких уровней долговечнее. В социальных системах цели высших уровней часто формулируются как интересы будущих поколений, сроки целей нижних уровней связаны с настоящими действиями и с действиями в ближайшем будущем. Динамичность целей также должна учитываться в системном анализе.

Процесс перехода от целей к критериям и многие особенности этого перехода становятся ясными, если рассматривать критерии как количественные модели качественных целей. В самом деле, сформированные критерии в дальнейшем в некотором смысле заменяют цели. От критериев требуется как можно большее сходство с целями, чтобы оптимизация по критериям соответствовала максимальному приближению к цели. С другой стороны, критерии не могут полностью совпадать с целями уже хотя бы потому, что они фиксируются в различных шкалах: цели - в номинальных, критерии - в более сильных, допускающих упорядочение. Критерий - это подобие цели, ее аппроксимация, модель. Конкретнее, критерий является отображением ценностей (воплощенных в целях) на параметры альтернатив (допускающие упорядочение). Определение значения критерия

для данной альтернативы является, по существу, косвенным измерением степени ее пригодности как средства достижения цели.

Многокритериальность реальных задач связана не только с множественностью целей, но и с тем, что одну цель редко удается выразить одним критерием, хотя к этому обычно стремятся. Конечно, возможны случаи, когда единственный критерий отвечает требованиям практики. Все же случаи, когда единственный критерий удачно отображает цель, скорее исключение. Это и понятно: критерий лишь приближенно (как и всякая модель) отображает цель, и адекватность одного критерия может оказаться недостаточной. Например, критерий быстроты прибытия пожарных не адекватен цели борьбы с пожарами: он не связан с уменьшением числа возгорании. Объем расходов на одного ученика не оценивает качества обучения в школе; число студентов на одного преподавателя не однозначно связано с качеством подготовки специалистов в вузе и т.д.

Решение может состоять не только в поиске более адекватного критерия (возможно, он и не существует), но и в использовании нескольких критериев, описывающих одну цель по-разному и дополняющих друг друга. Обратим теперь внимание на то, что дело не только и не столько в количестве критериев, сколько в том, чтобы они достаточно полно "покрывали" цель. Это означает, что критерии должны описывать по возможности все важные аспекты цели, но при этом желательно минимизировать число необходимых критериев.

Между целевыми критериями и ограничениями имеется сходство и различие. На последующих этапах, например при решении некоторых типов оптимизационных задач, они могут выступать равноправно. Однако на этапах формирования критериев и генерирования альтернатив они различаются существенно. Целевой критерий как бы открывает возможности для выдвижения все новых и новых альтернатив в поисках лучшей из них, а ограничение заведомо уменьшает их число, запрещая некоторые из альтернатив. Одними целевыми критериями можно жертвовать ради других, а ограничение исключить нельзя, оно должно жестко соблюдаться. В этом смысле ограничения упрощают, а не усложняют работу системного аналитика.

В практике системного анализа встречаются случаи, когда наложенные ограничения столь сильны, что делают нереальным достижение цели. Тогда системный аналитик должен ставить перед лицом, принимающим решение, вопрос о том, нельзя ли данные ограничения ослабить или снять совсем. При формировании критериев ищется компромисс между полнотой (точностью) описания целей и количеством критериев.

Кроме общих рекомендаций типа изложенных выше можно использовать и практический опыт исследования конкретных систем.

Теория выбора исходит из того, что задано множество альтернатив, т.е. считается, что уже имеется то, из чего выбирать, и вопрос состоит в том, как выбирать. Это наглядный пример сугубо формальной постановки задачи: все главные, принципиальные трудности считаются уже преодоленными, и речь идет, можно сказать, о "технических" трудностях. А ведь именно формирование множества альтернатив и является наиболее трудным, наиболее творческим этапом системного анализа. Генерирование альтернатив, т.е. идей о возможных способах достижения цели, является настоящим творческим процессом. Поэтому все рекомендации относительно того, как самому генерировать новые альтернативы или как создать условия для того, чтобы другие участники анализа лучше генерировали эти идеи, - результат коллективного опыта теоретиков и методистов по решению творческих задач. Этот опыт изложен в ряде книг, которые содержат много интересной и полезной информации.

Один из способов структурирования любой неформальной деятельности состоит в выявлении и формировании присущих ей эвристик, т.е. эмпирических правил, полезность которых обоснована лишь тем, что они во многих (хотя и не во всех) случаях приводят к успеху. Применительно к процессу генерирования альтернатив в литературе по системному анализу и методам творчества наиболее часто описывают следующие эвристики.

Важно сознательно сгенерировать как можно большее число альтернатив. Для этого используют различные способы: а) поиск альтернатив в патентной и журнальной литературе; б) привлечение нескольких квалифицированных экспертов, имеющих разнообразную подготовку и опыт; в) увеличение числа альтернатив за счет их комбинирования, образования промежуточных вариантов между предложенными ранее (т.е. не "либо-либо", а кроме того, еще и "от одной и от другой альтернативы"); г) модификация имеющейся альтернативы, т.е. формирование альтернатив, лишь частично включение альтернатив, отличающихся ОТ известной: д) противоположных предложенным, в том числе и "нулевой" альтернативы ("не делать ничего", т.е. без рассмотреть последствия развития событий нашего вмешательства); интервьюирование заинтересованных лиц и более широкие анкетные опросы; ж) включение в рассмотрение даже тех альтернатив, которые на первый взгляд кажутся глупыми или надуманными; з) генерирование альтернатив, рассчитанных на различные интервалы времени (долгосрочные, краткосрочные, экстренные); и т.д.

Если специально стремиться к тому, чтобы на начальной стадии было получено как можно больше альтернатив, то для некоторых проблем их количество может достичь многих десятков. Очевидно, что подробное изучение каждой из них приведет к неприемлемым затратам времени и средств. В таких случаях рекомендуется провести "грубое отсеивание", не сравнивая альтернативы количественно, а лишь проверяя их на присутствие некоторых качеств, желательных для любой приемлемой альтернативы. К признакам "хороших" альтернатив относят устойчивость при изменении некоторых внешних условий, надежность, многоцелевую пригодность, адаптивность, другие признаки "практичности". В отсеве могут помочь также обнаружение отрицательных побочных эффектов, недостижение контрольных уровней по некоторым важным показателям (например, слишком высокая стоимость) и пр. Предварительный отсев не рекомендуется проводить слишком жестко; для детального анализа необходимы хотя бы несколько альтернатив.

К числу хорошо зарекомендовавших себя на практике организационных форм генерирования альтернатив относятся следующие.

Метод мозгового штурма специально разработан для получения максимального количества предложений. Его эффективность очень велика. Техника мозгового штурма такова. Собирается группа лиц, отобранных для генерации альтернатив; главный принцип отбора - разнообразие профессий, квалификации, опыта (такой принцип поможет расширить фонд априорной информации, которой располагает группа). Сообщается, что приветствуются любые идеи, возникшие как индивидуально, так и по ассоциации при выслушивании предложений других участников, в том числе и лишь частично улучшающие чужие идеи (каждую идею рекомендуется записать на отдельной карточке). Категорически запрещается любая критика - это важнейшее условие мозгового штурма: сама возможность критики тормозит воображение. Каждый по очереди зачитывает свою идею, остальные слушают и записывают на карточки новые мысли, возникшие под влиянием услышанного. Затем все карточки собираются, сортируются и анализируются, обычно другой группой экспертов. Число альтернатив можно впоследствии значительно увеличить, комбинируя сгенерированные идеи. Среди полученных в результате мозгового штурма идей может оказаться много глупых и неосуществимых, но глупые идеи легко исключаются последующей критикой, ибо компетентную критику легче получить, чем компетентное творчество.

Синектика предназначена для генерирования альтернатив путем ассоциативного мышления, поиска аналогии поставленной задаче. В противоположность мозговому

штурму здесь целью является не количество альтернатив, а генерирование небольшого числа альтернатив (даже единственной альтернативы), разрешающих данную проблему. Эффективность синектики была продемонстрирована при решении конкретных технических проблем. Суть синектики можно кратко изложить следующим образом. Формируется группа из 5-7 человек, отобранных по признакам гибкости мышления, менявшим профессии и практического опыта (предпочтение отдается людям, специальности), психологической совместимости, общительности, подвижности (последнее, как станет ясно из изложенного ниже, очень важно). Выработав определенные навыки совместной работы, группа ведет систематическое направленное обсуждение любых аналогий с подлежащей решению проблемой, спонтанно возникающих в ходе бесед. Перебираются не только три уже известных вида подобия (прямое, косвенное и условное), но и чисто фантастические аналогии (последнее означает попытки представить себе вещи такими, какими они не являются на самом деле, но какими хотелось бы их видеть; например, можно вообразить, что дорога существует только непосредственно под колесами автомашины). Особое значение синектика придает аналогиям, порождаемым двигательными ощущениями. Это вызвано тем, что наши природные двигательные рефлексы сами по себе высокоорганизованны и их осмысление может подсказать хорошую системную идею. Раскрепощенность воображения, интенсивный творческий труд создают атмосферу душевного подъема, характерную для синектики. Отмечаются и психологические затруднения, возникающие у новичков в случае применения этого ("получаем приятное метола: появление угрызений совести леньги времяпрепровождение"); зазнайство после удачного решения первой проблемы; истощение нервной системы в результате столь интенсивной работы. Успеху работы синектических групп способствует соблюдение определенных правил, в частности: 1) запрещено обсуждать достоинства и недостатки членов группы; 2) каждый имеет право прекратить работу без каких-либо объяснений при малейших признаках утомления; 3) роль ведущего периодически переходит к другим членам группы, и т.д.

В некоторых проблемах (особенно в социотехнических) искомое решение должно определить реальное будущее течение событий. В таких случаях альтернативами являются различные (воображаемые, но правдоподобные) последовательности действий и вытекающих из них событий, которые могут произойти в будущем с исследуемой системой. Эти последовательности имеют общее начало (настоящее состояние), но затем возможные состояния различаются все сильнее, что и приводит к проблеме выбора. Такие гипотетические альтернативные описания того, что может произойти в будущем,

называют сценариями, а рассматриваемый метод - разработкой сценариев. Сценарииальтернативы представляют ценность для лиц, принимающих решения, только тогда, когда они не просто плод фантазии, а логически обоснованные модели будущего, которые после принятия решения можно рассматривать как прогноз, как приемлемый рассказ о том, "что случится, если...". Создание сценариев относится к типичным неформализуемым процедурам, представляет собой творческую, научную работу. Тем не менее и в этом деле накоплен определенный опыт, имеются свои эвристики. Например, рекомендуется разрабатывать "верхний" и "нижний" сценарии - как бы крайние случаи, между которыми может находиться возможное будущее. Такой прием позволяет отчасти компенсировать или явно выразить неопределенности, связанные с предсказанием будущего. Иногда полезно включать в сценарий воображаемый активно противодействующий элемент, моделируя тем самым "наихудший случай". Кроме того, рекомендуется не разрабатывать детально (как ненадежные и непрактичные) сценарии, слишком "чувствительные" к небольшим отклонениям на ранних стадиях. Важными этапами создания сценариев являются: составление перечня факторов, влияющих на ход событий, со специальным выделением лиц, которые контролируют эти факторы прямо или косвенно; выделение борьбы с такими факторами, как некомпетентность, аспектов недисциплинированность, бюрократизм и волокита; учет наличных ресурсов и т.д.

Морфологический анализ - простой и эффективный способ генерирования альтернатив - предложен Ф. Цвикки. Он состоит в выделении всех независимых переменных проектируемой системы, перечислении возможных значений этих переменных и генерировании альтернатив перебором всех возможных сочетаний этих значений.

Деловыми играми называется имитационное моделирование реальных ситуаций, в процессе которого участники игры ведут себя так, будто они в реальности выполняют порученную им роль, причем сама реальность заменяется некоторой моделью. Примерами являются штабные игры и маневры военных, работа на тренажерах различных операторов технических систем (летчиков, диспетчеров электростанций и т.д.), административные игры и т.п. Несмотря на то, что чаще всего деловые игры используются для обучения, их можно использовать и для экспериментального генерирования альтернатив, особенно в слабо формализованных ситуациях. Важную роль в деловых играх кроме участников играют контрольно-арбитражные группы, управляющие моделью, регистрирующие ход игры и обобщающие ее результаты. Мы рассмотрели далеко не все методы генерирования альтернатив. Так, например, кроме перечисленных методов можно успешно использовать модифицированный метод "Делфи"; возможны и различные сочетания других методов.

Важным моментом является также итеративность: на любой последующей стадии системного анализа должна иметься возможность порождения новой альтернативы и включения ее в анализ. Отметим, что при рассмотрении слабо структурированных ("рыхлых") проблем часто находят первую же подходящую альтернативу и производят ее пошаговое улучшение, совершенствование.

Если попытаться охарактеризовать современный системный анализ еще раз, очень укрупнено и несколько в ином ракурсе, то можно сказать, что он включает такие виды деятельности, как:

- научное исследование (теоретическое и экспериментальное) вопросов, связанных с проблемой;
 - проектирование новых систем и изменений в существующих системах;
 - внедрение в практику результатов, полученных в ходе анализа.

Уже сам этот перечень, очевидно, лишает смысла спор о том, чего в системном исследовании больше - теории или практики, науки или искусства, творчества или ремесла, эвристики или алгоритмичности, философии или математики - это все в нем присутствует. Конечно, в конкретном исследовании соотношения между этими компонентами могут быть самыми различными. Системный аналитик готов привлечь к решению проблемы любые необходимые для этого знания и методы - даже те, которыми он сам лично не владеет; в этом случае он не исполнитель, а организатор исследования, носитель цели и методологии всего исследования. Жизнь разнообразна, и предлагаемые для исследования проблемы не всегда требуют использования всего арсенала системного анализа. Из трех типов систем (технических, природных и социотехнических) наибольшую трудность для анализа представляют последние из-за резкого преобладания в них субъективного над объективным, эвристического над формальным, знаковых отношений над физическими взаимодействиями. Однако еще более важным отличием социосистем является особое значение временного фактора: эти системы меняются в ходе исследования как сами по себе, так и под влиянием самого анализа.

При исследовании систем приходится ставить и решать как хорошо формализованные в математических терминах задачи, так и "слабо структурированные" задачи, выражаемые на естественном языке и решаемые эвристическими средствами. Однако более важно то, что главное достижение системного анализа состоит в разработке методов перехода от неформальных задач к формальным, от моделей типа "черного ящика" к моделям типа "белого ящика".

Существенная часть этих методов имеет неформализуемый (в математическом смысле) характер, но они достаточно конкретны и пригодны для практического использования и могут называться не только "искусством" или "ремеслом", но и технологией.

§ 3. Системный анализ и его применения в экономике

- 3.1. Резкое возрастание темпов научно-технического прогресса во второй половине XX века, усложнение процессов управления производственными процессами и экономикой в целом стали важнейшими факторами широкого внедрения методик системного анализа для изучения состояния экономики, прогноза ее развития и выработки принципов эффективного управления экономикой. Как уже отмечалось выше, к числу специфических особенностей экономических систем можно отнести такие их черты, как изменчивость наличие предельных возможностей – "лимитирующих параметров, факторов", способность изменять структуру, сохраняя целостность, наличие активных элементов, обладающих "свободой воли", способность и стремление подсистем к выработке собственных целей и т.д. С этими особенностями связаны и качественные характеристики математических моделей экономических систем и процессов и особенности применения системного анализа. При исследовании динамики социально-экономических процессов в экономических системах переходного типа значительный интерес представляют подходы, основанные на методах системного анализа. Сюда относятся, в частности, анализ материальных и финансовых балансов, банковской системы, влияния государственных расходов на развитие экономики, анализ инвестиционной политики фирм, международной торговли и валютных операций, влияния технологического прогресса и т.д.
- 3.2. Обратимся, следуя [43-48], к общим положениям системного анализа экономических структур, на которых основаны математические модели экономики, а также опишем макроэкономические понятия, которыми оперирует теория и которые находят отражение в моделях.

Системный анализ развивающейся экономики рассматривает экономику как самоорганизующуюся систему, изменение состояния которой происходит под действием ее внутренних механизмов. Как система экономика взаимодействует с другими общественными системами и природной средой. Экономическая деятельность сводится к преобразованию ресурсов природы в блага, потребление которых удовлетворяет

разнообразные потребности общества. Экономика черпает из природной среды первичные ресурсы, а возвращает в нее отходы производства и потребления.

Системный анализ рассматривает экономику как органическое целое из двух составляющих: множества взаимодействующих технологических процессов, с помощью которых первичные ресурсы преобразуются в полезные конечные продукты, и распределенной системы управления, согласующей взаимодействия всех технологических процессов. Распределенность управленческих функций соответствует общественному разделению труда и сложившемуся набору необходимых обществу специализированных экономических функций (ролей), которые выполняют социальные группы населения.

Сначала рассмотрим первую составляющую экономики. В экономике выделяют сферу производства, непроизводственную сферу и сферу обращения. В производственной сфере выделяют производственные единицы, которые производят экономические блага. Производственная единица — понятие первичное. Это экономический объект, характеризующийся производственной мощностью и технологией производства. В определениях производственной мощности и технологии производства используется понятие продукта, поэтому следует также дать определение продукта.

Все экономические блага, которые производятся в рассматриваемой экономической системе, называются продуктами. Продукты делятся на продукты текущего потребления производственного И Продукты конечные продукты. текущего производственного потребления (сырье, материалы, энергия, услуги транспорта и т.п.) без остатка потребляются в производственном цикле и трансформируются в конечные продукты.

В свою очередь, конечные продукты делятся на фондообразующие продукты и потребительские продукты. Фондообразующие продукты (машины, станки, оборудование, услуги строительных и монтажных предприятий) в технологических комбинациях образуют производственную мощность производственной единицы. Потребительские продукты делятся на продукты длительного пользования и продукты текущего потребления. Продукты длительного пользования (здания непроизводственного назначения, жилье, непроизводственное оборудование, бытовая техника) накапливаются в запасы, которые называются основными непроизводственными фондами; они создают жизнедеятельности домашних хозяйств, администрации, учреждений. Продукты текущего потребления (продукты питания, одежда, тепло и энергия, транспорт и связь) обеспечивают жизнедеятельность домашних хозяйств, администрации, общественных учреждений.

Все экономические блага, которые поступают в рассматриваемую экономическую систему извне, называются первичными ресурсами. К первичным относят природные ресурсы и часто – рабочую силу.

Производственные единицы, выпускающие продукты, характеризуются технологией и производственной мощностью. Несмотря на огромное разнообразие технологий, в экономике они задаются как комбинации количеств продуктов текущего производственного назначения и первичных ресурсов, затрачиваемых на выпуск определенного количества продуктов. Производственной мощностью называется максимально возможный выпуск продуктов в единицу времени.

Величина производственной мощности определяется количествами накопленных фондообразующих продуктов в определенных технологических комбинациях. Отношение выпуска продукта и мощности называют загрузкой мощности. Основными фондами производственной единицы называется стоимость запасов фондообразующих продуктов. Оборотными фондами производственной мощности называется стоимость запасов продуктов текущего производственного потребления и запас денег, необходимые для полной загрузки мощности.

Выбытием производственной мощности называют уменьшение ее величины в единицу времени вследствие учащения простоев оборудования из-за поломок, вызванных его старением и износом. Амортизацией основных фондов производственной единицы называют уменьшение их стоимости вследствие списания (переноса) части ее на стоимость выпущенной продукции.

В непроизводственной сфере потребляются конечные продукты и воспроизводятся условия жизни населения, которые необходимы для его жизнедеятельности, и в частности для воспроизводства рабочей силы (трудовых ресурсов). Очень часто непроизводственная сфера описывается только потреблением конечных продуктов, а рабочая сила рассматривается как первичный ресурс.

Заметим, что потребление продуктов происходит не только в непроизводственной сфере, но и в сфере производства. Производственное потребление продуктов описывается функциями затрат, которые зависят от технологий производства. Функции затрат задают зависимости количеств потребляемых продуктов от выпусков производственной единицы.

Непроизводственное потребление делится на фондообразующее и потребление, удовлетворяющее потребности населения, общественных организаций и государственных учреждений. Фондообразующее потребление описывается фондоемкостью производственных мощностей – зависимостями затрат фондообразующих продуктов от

величины прироста производственной мощности; они тоже определяются технологиями производства. Непроизводственное потребление ради удовлетворения потребностей описывается функциями полезности или отношениями порядка, которые соизмеряют относительную ценность продуктов для потребителей, стремящихся получить максимальную пользу от потребляемых продуктов.

Давно уже в экономике произведенные продукты потребляются не там, где их производят, и не теми, кто их производит. Прежде чем быть потребленными, продукты поступают в сферу обращения, где торговые посредники передают их от производителей к потребителям. Передачи продуктов совершаются как обмены их на деньги. Деньги, являясь универсальным экономическим эквивалентом разнородных продуктов, обеспечивают связность сферы обращения. Будучи универсальным средством платежа, наличные деньги, как говорят, являются абсолютно ликвидными: в любой момент их можно обменять на необходимые блага.

Однако, кроме наличных денег, существует еще много видов кредитных денег. Они обслуживают акты обменов, более или менее разнесенных во времени. Например, процесс производства продукта занимает некоторое время. Продажа произведенного продукта, когда за него получают деньги, происходит заметно позже покупки сырья, необходимого для производства продукта. Приходится тратить еще не заработанные деньги, которые можно только занять. Получая ссуду, заемщик выпускает обязательство заплатить долг на определенных условиях. Взамен абсолютно ликвидных наличных денег кредитор получает обязательство, которое он может обратить в наличность не сразу и которое, вообще говоря, может быть нарушено. За это неудобство и риск он берет плату – ссудный процент. Если у кредитора до срока возникнет потребность в наличности, он может попытаться продать обязательство другому лицу за наличные деньги, но на новых условиях. Новый кредитор тоже берет плату за ограничение ликвидности своих денег, поэтому прежний кредитор получит за долговую расписку не долг с обусловленными процентами, а меньше. Таким образом, долговая расписка играет роль ограниченного средства платежа, поэтому кредитные деньги имеют ограниченную ликвидность, но за ограничение ликвидности приходится платить процент.

Другой пример. Некто открыл депозитный счет в банке, обратив наличность в ограниченно-ликвидный депозит, по которому банк обязывается платить процент.

Деньги выпускают Государственный (или Центральный) банк и коммерческие банки. Госбанк выпускает в обращение наличные деньги. Наличные деньги в обращении – обязательства Госбанка держателям денег обменять их по первому требованию на

необходимые блага. Коммерческие банки создают кредитные деньги. Предположим, что Госбанк выпустил 1 млн. руб. наличных денег для оплаты новых государственных расходов. Государство оплатило свои расходы, и те, кто получил эти деньги, открыли в коммерческих банках депозиты на 1 млн. руб. Полученный 1 млн. руб. банки отдают в кредит, и против депозитов на 1 млн. руб. встают ссуды на 1 млн. руб. Те, кто получили ссуды, потратили их на приобретение потребительских благ, и 1 млн. руб. наличных денег перешел к продавцам. Продавцы тоже открыли в коммерческих банках депозиты на 1 млн. руб. Депозиты в банковской системе увеличились до 2 млн. руб. Полученный 1 млн. руб. банки снова отдали в кредит, и против 2 млн. руб. депозитов встали ссуды на 2 млн. руб. Ясно, что процесс может идти как угодно долго, и под первоначальный 1 млн. руб. наличных денег коммерческие банки могут выпустить сколь угодно много кредитных денег. В свою очередь, под них рано или поздно придется выпускать наличные деньги. Если производство потребительских продуктов останется на прежнем уровне, выпуск лишних денег породит рост цен на потребительские продукты, а затем начнется общий рост цен. Таков, в принципе, простейший вариант механизма выпуска денег.

Чтобы поставить его под контроль, Госбанк устанавливает коммерческим банкам норму резервирования депозитов. Например, если норма резервирования 20%, то коммерческие банки обязаны 20% денег, которые получены за созданные депозиты, переводить на специальный счет в Госбанке, где они замораживаются. Следовательно, создав на 1 млн. руб. депозитов, коммерческие банки выдадут ссуды только на 0,8 млн. руб. и смогут создать на следующей итерации процесса только 0,8 млн. руб. депозитов, а ссуд выдать только на 0,64 млн. руб. Ясно, что процесс создания кредитных денег сходится как геометрическая прогрессия и под 1 млн. руб. наличных денег коммерческие банки создадут 5 млн. руб. кредитных денег. Таким образом, при норме резервирования 0,2 коммерческие банки увеличивают денежную массу в 5 раз. Число 5 называют денежным мультипликатором; легко видеть, что величина денежного мультипликатора связана обратной зависимостью с величиной нормы резервирования.

Теперь рассмотрим вторую составляющую экономики. В каждой из трех главных сфер экономической деятельности протекают специфические процессы, которые образуют единый процесс воспроизводства экономических благ и условий экономической деятельности. Чтобы все процессы протекали согласованно, и экономика оставалась бы органическим целым, в каждой из сфер возникают динамически-стабильные макроструктуры, которым можно приписать определенные экономические функции и некоторые "правила" экономического поведения. Эти структуры называют

экономическими агентами. Понятие экономического агента является главным в математических моделях экономических систем, потому что набор экономических агентов определяет структуру модели. Построение модели сводится к решению фундаментальной проблемы: каким образом корректно описать экономических агентов, которых чаще всего нельзя отождествить ни с юридическими, ни с физическими лицами? Экономического агента трудно описать словами, но можно корректно описать процедурами агрегирования микроэкономических описаний.

В сфере производства экономических агентов называют производителями. Производители олицетворяют описания механизмов краткосрочного и долгосрочного регулирования деятельности производственных единиц. Механизмы краткосрочного регулирования описываются как зависимости спроса на продукты текущего потребления и первичные ресурсы производственного (все вместе называемые производственными факторами) и предложения производимых продуктов специфической экономической информации, на которую ориентируются производители. Эта информация вырабатывалась в процессе самоорганизации экономики, она содержит в основном стоимостные, финансовые показатели. Это – индексы цен на группы продуктов и первичных ресурсов, средние ставки заработной платы, проценты за кредит, ставки налогов и т.п.

Механизмы долгосрочного регулирования описываются тоже как зависимости спроса на фондообразующие продукты от специфической экономической информации. Спрос на фондообразующие продукты определяет планы расширения производства.

В непроизводственной сфере экономических агентов называют домашними хозяйствами, населением или потребителями. Потребители олицетворяют описания зависимостей спроса групп населения (домашних хозяйств) на продукты конечного потребления от цен, налогов, доходов потребителей и т.п.

В непроизводственной сфере выделяют еще одного особого экономического агента – государство. В отличие от других государство скорее юридическое лицо, чем макроэкономическая структура. С полным основанием можно говорить о целях государства, специфическая функция которого – поддерживать целостность и стабильность экономической системы и снабжать других агентов общественными благами. Для исполнения этой функции требуются государственные расходы, которые финансируются за счет бюджетного перераспределения доходов других агентов. Реальные ресурсы управления государства зависят от типа экономики. Чаще всего они представлены перераспределением доходов других экономических агентов через

государственный бюджет с помощью налогов и дотаций, а также государственными закупками или заказами потребляемых конечных продуктов и государственными займами, с помощью которых финансируются расходы дефицитного бюджета.

В сфере обращения экономических агентов называют торговыми посредниками и банками. Если рассматривать открытую экономику, то приходится выделять экспортеров и импортеров. Функция торгового посредника — покупать продукт (или финансовое обязательство) у производителей (эмитентов) и продавать его потребителям (покупателям). Торговые посредники олицетворяют описания зависимостей цен продуктов (или финансовых обязательств) от спроса и предложения. Часто торговых посредников заменяют описаниями рынков.

Банки тоже являются специфическими финансовыми посредниками. Функция банков состоит в заимствовании свободных денег в виде бессрочных вкладов и депозитов и предоставлении собранных денег в кредит. Кроме того, банки держат расчетные счета всех экономических агентов. Банки олицетворяют описания механизмов регулирования кредитно-денежных операций, т.е. зависимостей предложения кредитов и спроса на депозиты от процентов, а также описания определения процента в зависимости от спроса и предложения.

Состояние экономических агентов задается набором их активов и пассивов. Активами называются производственные мощности, непроизводственные фонды, запасы продуктов, первичных ресурсов и обязательств других экономических агентов (фьючерсов, денег, векселей, депозитов, акций и других долговых обязательств). Пассивами называются все обязательства, выпущенные данным агентом. В экономике материальные активы передаются от агента к агенту в процессе обменов и обращения, кроме того, они имеют источники – производство и стоки – потребление. Финансовые активы тоже передаются от агента к агенту в процессе обращения, но они не имеют ни источника, ни стока. Каждый финансовый актив одного экономического агента возникает как обязательство другого экономического агента, для которого оно является одновременно пассивом.

Состояние экономики задается совокупностью активов и пассивов всех экономических агентов. Изменение во времени состояния экономики происходит вследствие создания новых производственных мощностей и непроизводственных фондов, износа производственных и непроизводственных фондов, производства и потребления продуктов, амортизации основных фондов, обмена продуктами и ресурсами и передач их по технологическим и другим экономическим связям, выпуска и погашения финансовых обязательств. Эти процессы описываются уравнениями материальных и финансовых

балансов. Уравнения балансов отражают структуру таблицы межотраслевых балансов и системы национальных счетов, поэтому система уравнений материальных и финансовых балансов лежит в основе любой модели экономической системы. Система уравнений материальных и финансовых балансов имеет вполне стандартную форму. Несмотря на это составление системы уравнений балансов – отнюдь не формальная процедура, потому что при этом определяется степень агрегированности описания изучаемого объекта и общая структура модели. С формальной стороны на этом этапе определяется размерность фазового пространства модели, потому что запасы, активы и пассивы экономических агентов являются фазовыми переменными системы.

Правые части системы уравнений балансов содержат переменные, выражающие действия экономических агентов: производство и потребление продуктов, обмены и передачи продуктов и ресурсов, выпуск и погашение обязательств. Экономические агенты регулируют процессы производства, обращения и потребления, поэтому действия экономических агентов должны быть описаны как стратегии их экономического поведения, соответствующие их интересам и имеющейся у них информации.

Действия экономических агентов зависят от действий их контрагентов. Поэтому стратегии поведения экономических агентов строятся на основании информации о действиях контрагентов. Кроме того, есть общая для всех экономических агентов информация, необходимая для согласования стратегий, например цены. Описания механизмов выработки такой информации и вычисление действий агентов по их стратегиям поведения с учетом всей необходимой информации называются взаимодействиями экономических агентов.

Описания стратегий поведения экономических агентов и их взаимодействий в совокупности определяют механизмы регулирования процессов производства, обращения и потребления и замыкают систему уравнений балансов. Если задать начальное состояние и экзогенные переменные, то можно рассчитать траекторию эволюции экономики в пространстве макроэкономических показателей, определяющих состояния экономических агентов. Экзогенными переменными, как правило, бывают действия государства, соответствующие гипотезам относительно будущей государственной макроэкономической политики, и величины, характеризующие внешнеэкономическое окружение, если экономика незамкнута.

В том или ином виде схема, с которой мы только что познакомились, воплощается во всех математических моделях системного анализа развивающейся экономики.

3.3. После обсуждения содержательной политэкономической модели экономики остался открытым вопрос, кто же такой (или что же такое) экономический агент? Было только сказано, что это типичный представитель субъектов, удачно приспособившихся к избранной роли в экономике. Но ведь ясно, что и в типовых ситуациях люди ведут себя бесконечно разнообразно. Скажем, для двух потребителей полезность единицы одного и того же блага в одном и том же месте, в одно и то же время, при одинаковом количестве блага и при одинаковом доходе может быть разной. (Недаром австрийскую школу экономики называют субъективно-психологической.)

Все великие экономисты подчеркивали, что политическая экономия претендует на то, чтобы изучать экономическую природу человека, не отвлекаясь от остального богатства проявлений личности. В то же время, в трудах по политической экономии рассуждения ведутся о "типичном производителе", о "нормальных условиях производства в сложившихся условиях", "среднем потребителе" и т.п. Как можно понять, все это – не индивидуальные субъекты, условия и т.п., а представители каких-то групп, событий и т.п. Или совокупности субъектов, каким-то образом классифицированных как некоторая группа или класс. Они чем-то похожи, и их объединили, охарактеризовав показателями совокупных результатов деятельности. В рассуждениях экономистов нельзя увидеть четкой грани между микроэкономическими и макроэкономическими объектами и структурами. Скорее, это достаточно условное разделение: если речь идет о фирме или о типичном потребителе, то это – микроэкономика, а если о национальной экономике, то это – макроэкономика.

Таким образом, оказывается, что объект исследования политической экономии не вполне определен, да и наблюдать его непосредственно нельзя. В самом деле, как отыскать типичного или группу всех похожих? Можно только использовать данные экономической статистики, например национальных счетов или межотраслевых балансов, и кропотливо выуживать группы, совокупные показатели которых похожи на какие-то инварианты. Кстати, так и поступают при анализе структуры экономики.

В практической экономике, в экономической статистике уже давно нащупаны универсальные эмпирические приемы количественного выражения результатов экономической деятельности фирм или уровня потребления групп населения, индексов цен групп товаров и т.п. Более того, оказывается, что только такого рода величины дают возможность разобраться в тенденциях движения экономики или сравнивать эффективность разных экономик. Например, цена отдельного товара совершенно нерегулярно изменяется со временем, тогда как специальным образом построенный

индекс цен на группу товаров плавно изменяется во времени и дает возможность выявить тенденцию движения цен.

Разного рода экономические индексы исчисляются с помощью цен. Возникает ощущение, что цены не только соизмеряют потребительные ценности разнородных благ, но являются своеобразными индикаторами, позволяющими выявлять некоторые макроструктуры, образующиеся в результате процессов самоорганизации. Примеры таких структур: чистые отрасли в межотраслевых балансах, потребительские группы в статистике потребления населения, отделимые группы продуктов в статистике потребительского спроса. Скалярные величины суммарных стоимостей характеризуют эволюцию этих структур, пока они остаются относительно стабильными, а обмены суммарными стоимостями между макроструктурами могут достаточно хорошо отражать их внутренне состояние. По этой причине сложнейшая система экономика достаточно хорошо регулируется простыми скалярными обратными связями — финансовыми механизмами. Стоимостных показателей бывает достаточно, чтобы экономические агенты принимали правильные решения, т.е. решения, обеспечивающие обществу в целом эффективное использование ограниченных ресурсов.

Литература к приложению

- 1. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении. –М.: Финансы и статистика. 2002. 368 с.
 - 2. Ашманов С.А. Введение в математическую экономику. М.: Наука. 1984. 296с.
- 3. Бенсусан А., Лионс Ж.-Л., Темам Р. Методы декомпозиции, децентрализации, координации и их приложения // Методы вычислительной математики. Новосибирск: Наука. 1975. С.144 274.
- 4. Берталанфи фон Л. История и статус общей теории систем // Системные исследования. 1973. М.: Наука. 1973. С.20 37.
- 5. Блехман И. И., Мышкис А. Д., Пановко Я.Г. Механика и прикладная математика: Логика и особенности приложений математики. М.: Наука, 1990.- 360с.
- 6. Богданов А.А. Всеобщая организационная наука (тектология). В 3 т. Москва. 1905-1924. Т. 3.
- 7. Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем. М.: Наука. 1977. 255c.

- 8. Бурков В.Н., Ириков В.А. Модели и методы управления организационными системами. М.: Наука. 1994. 270с.
 - 9. Винер Н. Кибернетика. М.: Советское Радио. 1968.
 - 10. Винер Н. Кибернетика и общество. М.: ИЛ. 1958.
- 11. Глазьев С.Ю. Теория долгосрочного экономического развития. М.: ВлаДар. 1993. –310с.
- 12. Груйич Л.Т., Мартынюк А.А., Риббенс-Павелла М. Устойчивость крупномасштабных систем при структурных и сингулярных возмущениях. Киев: Наукова думка. 1984. 307с.
- 13. Дородницын А.А. Проблемы математического моделирования в описательных науках // Кибернетика. 1983. № 4. С.6-10.
- 14. Джефферс Дж. Введение в системный анализ: Применение в экологии / Пер. с англ. М.: Мир. 1981. 252c.
- 15. Занг В.-Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории: Пер. с англ. М.: Мир, 1999.- 335с.
- 16. Интрилигатор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория. М.: Прогресс. 1972. 606с.
- 17. Калман Р., Фалб П., Арбиб М. Очерки по математической теории систем: Пер. с англ./ Под. ред. Я.З.Цыпкина. М.: Мир. 1971.- 398с.
- 18. Касти Дж. Большие системы. Связность, сложность и катастрофы. / Пер с англ. М.: Мир.1982.-216с.
- 19. Клейнер Г.Б. Экономико-математическое моделирование и экономическая теория // Экономика и математические методы. 2001. Т.37. № 3. С.111-126.
- 20. Краснощеков П.С. Математические модели в исследовании операций. М.: Знание.1984. 64c.
- 21. Краснощеков П.С., Петров А.А. Принципы построения моделей. М.: Изд. МГУ. 1983.- 264с.; Изд.2-е, пересмотр. и дополнен.: М.: ФАЗИС:ВЦ РАН. 2000. XII + 412c.
- 22. Красс И.А. Математические методы экономической динамики. М.: Советское Радио. 1976. 280с.
- 23. Кротов В.Ф.(Ред.) Основы теории оптимального управления // Авт.: Кротов В.Ф., Лагоша Б. А., Лобанов С. М., Данилина Н. И., Сергеев С. И. / Под редакцией В. Ф. Кротова М.: Изд. "Высшая школа". 1990. 430с.

- 24. Кузнецов Ю.А. Особенности метода математического моделирования в исследовании экономических систем // Вестник Нижегородского университета. Серия: Инновации в образовании. № 1(2). 2001. С.127-134.
- 25. Лагоша Б.А., Емельянов А.А. Основы системного анализа / Учебное пособие для студентов, обучающихся по специальностям 07.19.00 "Информационные системы в экономике" и 06.18.00 "Математические методы в экономике" М.: Изд-во МЭСИ. 1998.- 86с.
- 26. Матросов В.М., Анапольский Л.Ю., Васильев С.Н. Метод сравнения в математической теории систем. Новосибирск: Наука. 1980. 481с.
- 27. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: Математические основы. М.: Мир. 1978. 311c.
- 28. Месарович М., Мако Д., Такахара Я. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир. 1973. 344с.
- 29. Метод векторных функций Ляпунова в теории устойчивости./ Под. ред. А.А. Воронова, В.М. Матросова. М.: Наука. 1987.-312c.
- 30. Моисеев Н.Н. Численные методы в теории оптимальных систем.— М.: Наука. 1971. 424c.
- 31. Моисеев Н.Н. Системный анализ динамических процессов биосферы. Системный анализ и математические модели // Вестник АН СССР. 1979. № 1. С.97 108.
- 32. Моисеев Н.Н., Свирежев Ю.М. Концептуальная модель биосферы // Вестник АН СССР. 1979. № 2. С.47 58.
- 33. Моисеев Н.Н., Крапивин В.Ф., Свирежев Ю.М., Тарко А.М. На пути к построению модели динамических процессов в биосфере // Вестник АН СССР. 1979. № 10. С.88 104.
- 34. Моисеев Н.Н. Гуманитарные проблемы системного анализа большой экологии // Вестник АН СССР. 1980. № 10. С.78 83.
- 35. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. –М.: "Наука". 1981.-488c.
- 36. Моисеев Н.Н. Человек, среда, общество. Проблемы формализованного описания. М.: "Наука". 1982.- 240с.
- 37. Моисеев Н.Н., Александров В.В., Тарко А.М. Человек и биосфера: Опыт системного анализа и эксперименты с моделями.— М.: Наука. 1985. 271с.
- 38. Моисеев Н.Н., Иванилов Ю.П., Столярова Е.М. Методы оптимизации.— М.: Наука. 1978. 352c.
 - 39. Мулен Э., Теория игр с примерами из математической экономики. М.: Мир.

- 1985.- 199c.
- 40. Мулен Э., Кооперативное принятие решений: аксиомы и модели. М.: Мир. 1991.-464c.
- 41. Оптнер С.Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем / Пер. с англ. М.: Радио и связь. 1969. 216с.
- 42. Первозванский А.А., Гайцгори В.Г. Декомпозиция, агрегирование и приближенная оптимизация. М.: Наука. 1979. 332c.
- 43. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. М.: Высшая школа. 1989. 367с.
- 44. Петров А.А. Математическое моделирование экономического развития. М.: Знание.1984. 64с.
- 45. Петров А.А. Опыт использования математических моделей для анализа экономики переходного периода // Вестник РАН. 1998. Т.68. № 4. С. 314-327.
- 46. Петров А.А., Поспелов И.Г., Шананин А.А. Опыт математического моделирования экономики. М.: Энергоатомиздат. 1996. 544 с.
- 47. Петров А.А., Поспелов И.Г., Шананин А.А. От Госплана к неэффективному рынку: математический анализ эволюции Российских экономических структур. Lewiston Queenston: The Edwin Mellen Press. 1999. 392pp.
- 48. Петров А.А., Шананин А.А. Системный анализ экономики: проблема агрегированного описания экономических отношений // Математическое моделирование: Методы описания и исследования сложных систем. М.: Наука. 1989. С.121 156.
- 49. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето оптимальные решения многокритериальных задач. М.:Наука. 1982. 256с.
- 50. Полтерович В.М. Экономическое равновесие и хозяйственный механизм. М.:Наука. 1990. 256с.
 - 51. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: Прогресс. 1986.
- 52. Пу Т. Нелинейная экономическая динамика. Ижевск: Издательский дом «Удмуртский университет». 2000. 200 с.
- 53. Пэнтл Р. Методы системного анализа окружающей среды / Пер. с англ.. Под ред. Моисеева Н.Н. М.: Мир. 1979. 213с.
- 54. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем / Пер. с англ. М.: Радио и связь. 1991. 224c.
- 55. Цурков В.И. Декомпозиция в задачах большой размерности. М.: Наука. 1981. 352c.

- 56. Цурков В.И. Динамические задачи большой размерности. М.: Наука. 1988. 288с.
- 57. Чепурных Н.В., Новоселов А.Л. Экономика и экология: развитие и катастрофы. М.: Наука. 1996. 271с.
- 58. Черемных Ю.Н. Математическое моделирование экономических процессов // Вестник ННГУ: Математическое моделирование и оптимальное управление. Н. Новгород: Изд-во ННГУ. Вып.1(21). С.192-199.
- 59. Яблонский А.И. Модели и методы математического исследования науки. М.: ИНИОН. 1977. 128с.
- 60. Яблонский А.И. Математические модели в исследовании науки. М.: Наука. 1986. 352с.
- 61. Beavis B., Dobbs I.M. Optimization and Stability Theory for Economic Analysis. Cambridge Univ. Press: 1990. 414pp.
- 62. Bertalanffy L. An Outline of General System Theory // British J. for Phil. of Sci. 1950. V.
 1. № 2. P.134 -165.
- 63. Chiang A.C. Elements of Dynamic Optimization. New York: McGraw Hill, Inc., 1992. -327pp.
- 64. Chow G.C. Dynamic Economics Optimization by the Lagrange Method. New-York Oxford: Oxford. Univ. Press:1997. 213pp.
- 65. The Economy as an Evolving Complex System // Proc. Of the Evolutionary Path of the Global Economy Workshop. 1987. Santa Fe. New Mexico. (Eds.P.W.Anderson, K.J.Arrow, D.Pines). Vol.V. New York: Addison Wesley Publishing Company. 1988.
- 66. Ferguson B.S., Lim G.C. Introduction to Dynamic economic models. Manchester Univ. Press. 1998. 298 pp.
- 67. Handbook of System Analysis. Craft Issues and Procedural Choices / Ed. By H.J.Miser, E.S.Quade. Chichester New-York: John Wiley & Sons. 1988. 681pp.
- 68. Medio A. Chaotic Dynamics: Theory and Applications to Economics. Cambridge: Cambridge Univ. Press. 1992. 344pp.
 - 69. Nikaido H. Prices, Cycles, and Growth. London: The MIT Press.1996. 287pp.
- 70. Nonlinear Dynamics in Evolutionary Economics / Day R.H., Ping Phen, Eds. New-York Oxford: Oxford University Press. 1993. 335pp.
- 71. Nonlinear Dynamics and Economics / Barnett W.A., Kirman A.P., Salmon M., Eds. Cambridge: Cambridge University Press. 1992. 406pp.
- 72. Nonlinear Dynamics Chaos and Econometrics. New-York Toronto: John Wiley & Sons. 1993. 244pp.

- 73. Rosser J.B., Jr. From Catastrophe to Chaos: A General Theory of Economic Discontinuities. Boston: Kluwer Academic Publishers.1991.402pp.
- 74. Takayama A. Mathematical Economics. 2nd Edition. -Cambridge Univ. Press: 1990. 737pp.