

Лекция 12. Методология системного анализа

1. Системная динамика как наука.
2. Система и системный анализ.
3. Этапы системного анализа: выбор проблемы, постановка задачи, установление иерархии целей, выбор путей решения, моделирование, оценка возможных стратегий, внедрение результатов.
4. Состав, структура, функция системы.
5. Огрубляющее и гомоморфное отображение объекта.
6. Ценность математических моделей в экологии.

1. Системная динамика как наука

Зарождение понятия о системе как о совокупности элементов, находящихся в структурной взаимосвязи друг с другом и образующих определенную целостность, произошло еще в Древней Греции (работы Платона, Аристотеля, Евклида). В XIX в. вопрос о научном подходе к управлению сложными системами поставил А.М. Ампер. Русский ученый А.А. Богданов (настоящая фамилия — Малиновский) в 1910-е гг. выдвинул идею создания науки об общих принципах организации — тектологии, предвосхитив некоторые положения кибернетики. Обобщенное осознание системности мира получило распространение после работ Н. Винера по кибернетике (Кибернетика – наука от общих закономерностях процесса управления и передачи информации в машинах, живых организмах и обществе). Австрийский биолог-теоретик Л. фон Берта-ланфи в 1940-е гг. выдвинул первую в современной науке обобщенную системную концепцию («общую теорию систем»). В исследовании систем важны работы бельгийской школы во главе с И. Пригожиным.

Системная динамика как *метод анализа динамического поведения сложных систем* был разработан в Массачусетском технологическом институте (МТИ) в Кембридже (США, штат Массачусетс).

Системная динамика позволила обойти многие трудности математического моделирования, например проблему размерностей, за счет использования ЭВМ и алгоритмических имитационных моделей. Системно-динамический подход сочетает в себе как отдельные методы системного анализа (качественные и количественные), так и принципы теории информации и управления организациями. Математический аппарат системной динамики — дифференциальные уравнения первого порядка.

Основателями современного этапа развития системно-динамического подхода стали профессор МТИ Дж.Форрестер и его коллеги.

Глобальная модель Дж.Форрестера. На основе теории систем, дифференциальных уравнений и компьютерного моделирования Дж. Форрестер разработал принципы и аппарат системной динамики, позволяющий анализировать работу системы и принимать управленческие решения.

Он построил модель *World 1* (Мир-1), предполагающую, что все изменения в установлении структуры системы обуславливаются «петлями обратных связей», замкнутыми цепочками взаимодействия, которые связывают исходное действие с его результатом, вызывающим дальнейшие изменения.

В качестве основных уровней, на которых строится структура системы, автором были выбраны: население, капиталовложения в промышленность, невозобновляемые природные ресурсы, капиталовложения в сельское хозяйство, уровень загрязнения окружающей среды.

В данной модели при определении значений констант (коэффициентов) и переменных в качестве точек отсчета были взяты условия 1970 г., т.е. состояние мировой системы описывается по отношению к ее состоянию в 1970 г.

По результатам моделирования Дж.Форрестер сделал вывод, что человечество уверенно идет навстречу катастрофе, избежать которой можно только приняв меры по ограничению и регулированию роста населения, роста производства и изменению критериев прогресса. Материальный рост не может продолжаться до бесконечности, необходимо отказаться от наращивания количества в пользу качества (Дж.Форрестер, *Мировая динамика*. М., 1978).

В продолжение своих исследований Дж.Форрестер разработал модель *World 2* (Мир-2) — модель городской динамики.

На основе его исследований были построены модели *World 3* (Мир-3); «Человечество перед выбором»; «ЛИНК»; «Разработка экономического развития»; «США на пороге XXI века» др.

Группа Д. Медоуза проводила свою работу на основе моделей Дж. Форрестера. Разработанная модель получила название *World 3*. Цель создания модели состояла в том, чтобы представить возможные пути достижения экономикой потенциальной емкости планеты. Модель мировой системы *World 3* использует семь уровней переменных:

- 1) численность населения,
- 2) капитал производительной сферы,
- 3) капитал сферы обслуживания,
- 4) капитал сельскохозяйственной сферы,
- 5) уровень загрязнения окружающей среды,
- 6) уровень продуктивности земель,
- 7) невозобновляемые природные ресурсы.

Капитал сферы обслуживания и уровень продуктивности земель — важные дополнения к первоначальной схеме. Капитал сферы обслуживания более подробно описывает сложные пути оборота капитала. Фактически этот сектор создает новые петли обратных связей в обороте капитала, причем переменная капитала сферы обслуживания выступает как дополнительный резервуар, буфер капитала в процессе его экспоненциального роста. Уровень продуктивности земель выступает как дополнительное ограничение, налагаемое на систему, пространственный предел, с которым могут

столкнуться сельское хозяйство и промышленность. С одной стороны, промышленность и растущее население изымают территории, которые сельское хозяйство могло бы использовать для производства продуктов питания, с другой стороны, в результате роста уровня загрязнений и слишком интенсивного сельскохозяйственного использования этих земель их продуктивность, уровень плодородия падают, вызывая уменьшение производства продуктов питания с единицы площади.

Помимо введения двух новых уровневых переменных, по сравнению с моделью Дж. Форрестера, в схеме есть и другие изменения. Проводится более детальный расчет сектора численности населения — в него введено возрастное распределение: суммарное население подразделяется на три группы — от 0 до 14 лет, от 15 до 44 лет (фертильный период), после 45 лет. В системе увеличилось количество связей, появилось большое количество дополнительных параметров и показателей.

Элементы модели World 3 объединяются таким образом, что их поведение становится динамически сложным. Особое внимание в этой модели уделяется времени, необходимому для совершения того или иного события, а также запаздыванию потоков информации и физических процессов. В основе этой модели лежат процессы с обратной связью, т.е. каждый элемент системы отчасти может служить причиной своего собственного дальнейшего поведения.

В модели World 3 основное условие развития промышленности — непрерывный экономический рост. Население прекратит увеличиваться только в том случае, если оно достигнет определенного уровня материального благосостояния. Мировые ресурсы ограничены и подвержены разрушению. Многие причинные связи в модели World 3 нелинейные и не строго пропорциональны во всей области существования функции.

По результатам работы авторы сделали следующие выводы:

«1. Если существующие тенденции роста населения мира, индустриализации, загрязнения окружающей среды, производства продуктов питания и истощения ресурсов сохранятся неизменными, то уже в течение следующего столетия человечество подойдет к пределам роста.

Наиболее вероятным результатом будет довольно резкое и неуправляемое падение как численности населения, так и промышленного производства.

2. Имеется возможность изменить эти тенденции роста и установить экологически и экономически стабильное состояние, которое может поддерживаться в далеком будущем. Состояние глобального равновесия можно спроектировать таким образом, чтобы для каждого человека на Земле удовлетворялись основные материальные потребности, и реализовался его индивидуальный потенциал.

3. Если люди всего мира решат бороться не за первый, а за второй вариант развития, то чем скорее они возьмутся за его воплощение, тем больше шансов на успех будут иметь».

По результатам аналогичного исследования через 20 лет авторы сделали следующие выводы: «Экспоненциальный рост численности населения планеты, капитала, потребления ресурсов и загрязнения окружающей среды продолжается. Он подстегивается стремлением решить насущные проблемы человечества, начиная от безработицы и нищеты и кончая борьбой за достойное положение в обществе, свои права, самоутверждение.

Экспоненциальный рост может быстро выйти за любой фиксированный предел. Если один предел отодвинут, экспоненциальный рост скоро сталкивается с другим.

Вероятно, из-за запаздывания обратных связей мировая экономическая система выходит за пределы устойчивости и разрушает их. Действительно, для многих источников и стоков, важных для мировой экономики, выход за пределы уже произошел.

Технология и рынок всегда функционируют с запаздыванием и используют лишь искаженную информацию. Они сами состоят из процессов с отрицательными обратными связями, реакция которых запаздывает. Это усиливает тенденцию экономики к выходу за пределы.

Технология и рынок служат ценностям либо всего общества, либо его наиболее могущественной части. Если основная цель — рост, то они, по мере возможностей, будут обеспечивать рост. Если основная цель — справедливость и устойчивость, они могут служить и этим целям.

Когда численность населения и экономика вышли за физические пределы Земли, есть только два пути назад: неизбежный коллапс, обусловленный ростом дефицита и кризисами, либо добровольное контролируемое снижение обществом объемов потребления».

2. Система и системный анализ.

Современный системный анализ в биологии и сельском хозяйстве совсем молод и недостаточно разработан, живые системы очень сложны, велика роль случайности в их поведении. Но без понимания системного подхода, без системного мышления эколог не может состояться.

Система – это любая совокупность взаимосвязанных составляющих, объединенных прямыми и обратными связями в некое единство. По природе элементов системы бесконечно разнообразны, но у всех есть одна особенность – иерархичность соподчинения элементов. Иерархичность – это подчинение простых уровней системы более сложным. На рисунке приведено условное обозначение и описание уровней иерархии живых систем.

<u>Уровень</u>	<u>описание уровня</u>
...
i+1	совокупность организмов (популяция)
i	организм
i-1	органы
i-2	ткани
i-3	клетки

i-4	органеллы
.....	макромолекулы
.....

Иерархия систем характерна не только для живых систем, но и для коммерческих предприятий, социального устройства, электронного оборудования и др. Описание поведения животного на уровне I имеет право на существование само по себе. Однако можно еще лучше понять исследуемое явление, если проанализировать процессы, относящиеся к более низким уровням иерархии.

Объекты, принадлежащие каждому структурному уровню, могут рассматриваться как системы, образованные из подсистем (объектов более низких уровней), и как подсистемы, входящие в состав некоторой системы (объект более высокого уровня).

Для иерархических систем характерны 3 важных свойства:

1. Каждый уровень иерархии имеет свои принципы и законы (понятие «производство продуктов животноводства» или «урожайность с-х культуры» бессмысленны на уровне клетки или органеллы);
2. На каждом уровне иерархии происходит обобщение свойств объектов более низких уровней: т.е. описание уровня I способствует пониманию явлений, происходящих на уровне I+1.
3. Взаимосвязи между уровнями несимметричны: для нормального функционирования объектов высшего уровня необходимо, чтобы успешно «работали» объекты более низкого уровня, но не наоборот.

Системный анализ – это стратегия научного поиска, которая использует математический аппарат для организации наших знаний об объекте с целью выбора нужной стратегии управления.

Системный анализ – упорядоченная и логическая организация информации в виде моделей, которая сопровождается проверкой и анализом самих моделей для их улучшения.

Системный подход ориентирован на изучение специфических характеристик систем, многообразие связей элементов, их разнокачественность и соподчинение.

Системность подхода свойственна работам В.И. Вернадского, Людвиг фон Бергаланфи, Дж. Форрестера и других.

Из представленной описательной части систем легко выводятся основные принципы системологии [Флейшман и др., 1982; Розенберг, 1984; Розенберг с соавт., 1999]:

1. принцип эмерджентности [Реймерс, 1990], важную роль которого в экологии особо подчеркивает Ю. Одум [1986]: «...принцип не сводимости свойств целого к сумме свойств его частей должен служить первой рабочей заповедью экологов»;
2. принцип иерархической организации (или принцип интегративных уровней; Одум, 1975);

3. принцип несовместимости Л. Заде [1974]: чем глубже анализируется реальная сложная система, тем менее определены наши суждения о ее поведении;

4. принцип контринтуитивного поведения Дж. Форрестера (1977, 1978): дать удовлетворительный прогноз поведения сложной системы на достаточно большом промежутке времени, опираясь только на собственный опыт и интуицию, практически невозможно.

3. Этапы системного анализа:

Системный анализ, – скорее способ мышления, чем набор рецептов. Следовательно, для решения некоторых задач может быть изменен порядок следования этапов, или какие-то устранены.

Системный анализ позволяет выявить те факторы и взаимосвязи, которые в последствии могут оказаться весьма существенными.

Выбор проблемы

Осознание того, что существует некая проблема, которую можно исследовать с помощью системного анализа, достаточно важная для детального изучения, не всегда оказывается тривиальным шагом. Само понимание того, что необходим действительно системный анализ проблемы, столь же важно, как и выбор правильного метода исследования. С одной стороны, можно взяться за решение проблемы, не поддающейся системному анализу, а с другой – выбрать проблему, которая не требует для своего решения всей мощи системного анализа и изучать которую данным методом было бы неэкономично. Такая двойственность первого этапа делает его критическим для успеха или неудачи всего исследования. Специалисты по системному анализу должны хорошо вникнуть в проблему и начать работать над ее решением. Вообще подход к решению реальных проблем действительно требует большой интуиции, практического опыта, воображения и того, что называется «чутьем». Эти качества особенно важны, когда сама проблема, как это часто случается, изучена довольно слабо.

Постановка задачи и ограничение ее сложности

Когда существование проблемы осознано, требуется упростить задачу настолько, чтобы она скорее всего имела аналитическое решение, сохраняя в то же время все те элементы, которые делают проблему достаточно интересной для практического изучения. Здесь мы вновь имеем дело с критическим этапом любого системного исследования. Вывод о том, стоит ли рассматривать тот или иной аспект данной проблемы, а также результаты сопоставления значимости конкретного аспекта для аналитического отражения ситуации с его ролью в усложнении задачи, которое вполне может сделать ее неразрешимой, часто зависит от накопленного опыта в применении системного анализа. Именно на этом этапе опытный специалист по системному анализу может внести наиболее весомый вклад в решение проблемы. Успех или неудача всего исследования во многом зависят от тонкого равновесия между упрощением и усложнением – равновесия, при котором сохранены все связи с исходной проблемой, достаточные для того,

чтобы аналитическое решение поддавалось интерпретации. Ни один заманчивый проект оказывался в конце концов неосуществленным из-за того, что принятый уровень сложности затруднял последующее моделирование, не позволяя получить решение. И напротив, в результате многих системных исследований, выполненных в самых разных областях экологии, были получены тривиальные решения задач, которые на самом деле составляли лишь подмножества исходных проблем.

Установление иерархии целей и задач

После постановки задачи и ограничения степени ее сложности можно приступать к установлению целей и задач исследования. Обычно эти цели и задачи образуют некую иерархию, причем основные задачи последовательно подразделяются на ряд второстепенных. В такой иерархии необходимо определить приоритеты различных стадий и соотнести их с теми усилиями, которые необходимо приложить для достижения поставленных целей. Таким образом, в сложном исследовании специалист по системному анализу может присвоить сравнительно малый приоритет тем целям и задачам, которые хотя и важны с точки зрения получения научной информации, довольно слабо влияют на вид решений, принимаемых относительно воздействий на экосистему и управления ею. В иной ситуации, когда данная задача составляет часть программы какого-то фундаментального исследования, исследователь заведомо ограничен определенными формами управления и концентрирует максимум усилий на задачах, которые непосредственно связаны с самими экологическими процессами. Во всяком случае, для плодотворного применения системного анализа очень важно, чтобы приоритеты, присвоенные различным задачам, были четко определены.

Выбор путей решения задач

На данном этапе исследователь может обычно выбрать несколько путей решения проблемы. Как правило, опытному специалисту по системному анализу сразу видны семейства возможных решений конкретных задач. В общем случае он будет искать наиболее общее аналитическое решение, поскольку это позволит максимально использовать результаты исследования аналогичных задач и соответствующий математический аппарат. Каждая конкретная задача обычно может быть решена более чем одним способом. И вновь выбор семейства, в рамках которого следует искать аналитическое решение, зависит от опыта специалиста по системному анализу. Неопытный исследователь может затратить много времени и средств в попытках применить решение из какого-либо семейства, не осознавая, что это решение получено при допущениях, несправедливых для того частного случая, с которым он имеет дело. Аналитик же часто разрабатывает несколько альтернативных решений и только позже останавливается на том из них, которое лучше подходит для его задачи.

Моделирование

После того, как проанализированы подходящие альтернативы, можно приступать к важному этапу – моделированию сложных динамических взаимосвязей между различными аспектами проблемы. При этом следует

помнить, что моделируемым процессам, а также механизмам обратной связи присуща внутренняя неопределенность, а это может значительно усложнить как понимание системы, так и ее управляемость. Кроме того, в самом процессе моделирования нужно учитывать сложный ряд правил, которые необходимо будет соблюдать при выработке решения о подходящей стратегии. На этом этапе математику очень легко увлечься изяществом модели, и в результате будут утрачены все точки соприкосновения между реальными процессами принятия решений и математическим аппаратом. Кроме того, при разработке модели в нее часто включаются непроверенные гипотезы, а оптимальное число подсистем предопределить достаточно сложно. Можно предположить, что более сложная модель полнее учитывает сложности реальной системы, но хотя это предположение интуитивно вполне кажется корректным, необходимо принять во внимание дополнительные факторы. Рассмотрим, например, гипотезу о том, что более сложная модель дает и более высокую точность с точки зрения неопределенности, присущей модельным прогнозам. Вообще говоря, систематическое смещение, возникающее при разложении системы на несколько подсистем, связано со сложностью модели обратной зависимостью, но налицо и соответствующее возрастание неопределенности из-за ошибок измерения отдельных параметров модели. Те новые параметры, которые вводятся в модель, должны определяться количественно в полевых и лабораторных экспериментах, и в их оценках всегда есть некоторые ошибки. Пройдя через имитацию, эти ошибки измерений вносят свой вклад в неопределенность полученных прогнозов. По всем этим причинам в любой модели выгодно уменьшать число включенных в рассмотрение подсистем.

Оценка возможных стратегий

Как только моделирование доведено до стадии, на которой модель можно использовать, начинается этап оценки потенциальных стратегий, полученных из модели. Если окажется, что основные допущения некорректны, возможно придется вернуться к этапу моделирования, но часто удается улучшить модель, незначительно модифицировав исходный вариант. Обычно необходимо также исследовать «чувствительность» модели к тем аспектам проблемы, которые были исключены из формального анализа на втором этапе, т.е. когда ставилась задача и ограничивалась степень ее сложности.

Внедрение результатов

Заключительный этап системного анализа представляет собой применение на практике результатов, которые были получены на предыдущих этапах. Если исследование проводилось по вышеописанной схеме, то шаги, которые необходимо для этого предпринять, будут достаточно очевидны. Тем не менее, системный анализ нельзя считать завершенным, пока исследование не дойдет до стадии практического применения, и именно в этом отношении многие выполненные работы оказывались невыполненными. В то же время как раз на последнем этапе может выявиться неполнота тех или иных стадий или необходимость их пересмотра, в результате чего понадобится еще раз пройти какие-то из уже завершенных этапов.

Выбор проблемы.

Этот этап критический. Трудности: а) часто непросто уяснить, что сложившееся у людей представление ошибочно, что в какой-то области знания существует проблема.

б) можно взяться за анализ проблемы, не поддающейся системному анализу.

в) проблема может оказаться мелкой и системный анализ для нее использовать не экономично.

Постановка задачи и ограничение степени ее сложности.

Моделирование – это упрощение требования. Упрощать следует до такой степени, чтобы задача имела аналитическое решение. Но при этом важно сохранить все важнейшие элементы, чтобы выводы могли быть полезны для практики.

Тоже критический этап. Нужно выдержать равновесие между упрощением и усложнением. Лишняя сложность затрудняет моделирование, при излишнем упрощении результат будет бесполезным.

Установление иерархии целей и задач.

Иерархия – расположение и функциональное соподчинение элементов целого в порядке от высшего к низшему. Иерархия – ступенчатый ряд при условии вхождения подсистем в более крупную совокупность.

Цели и задачи исследования, обычно, можно расположить в виде иерархии и основные задачи разбить на ряд второстепенных.

Выбор путей решения.

Исследователь может выбрать несколько путей, т. к. конкретная задача может быть решена более чем одним способом. Нужно хорошо знать математические методы анализа. Настоящий аналитик разрабатывает несколько решений, а останавливается на том из них, которое лучше подходит для конкретной задачи.

Моделирование.

Когда изучены альтернативы, можно моделировать сложные связи между разными аспектами проблемы. При этом важно помнить, что моделируемым процессам свойственна неопределенность (разброс возможных значений). Это усложняет и решение проблемы, и управляемость модели. Сложны правила, которые надо соблюдать при выработке решения о стратегии моделирования. Легко увлечься изяществом модели и оторваться от реальности.

Оценка возможных стратегий.

На этапе оценки стратегий исследуют чувствительность результатов к допущениям, сделанным при построении модели. Если допущения оказались не корректны, возможно, придется вернуться к этапу моделирования.

Внедрение результатов – заключительный этап.

Без внедрения системный анализ не завершен. Может быть, именно на этом этапе проявится неполнота тех или иных стадий и придется вернуться к пройденным этапам.

4. Состав, структура, функция системы.

Элементы, образующие систему Y обозначаются символами X_1, X_2, \dots, X_n , где n – число элементов. Множество $\sum X$, состоящее из всех элементов $\sum X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, назовем составом системы.

Множество внешних систем, находящихся в существенной связи с системой Y , обозначим $V = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$ - это окружающая среда системы Y .

Множество связей элементов системы Y между собой и их связи с внешней средой, назовем структурой системы Y ; и обозначим $\Sigma = \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n\}$

Внешняя среда, состав и структура системы могут изменяться во времени: $V = V(t)$, $X = X(t)$, $\Sigma = \Sigma(t)$.

Функцией системы $Y(t)$ назовем закон F , по которому, в зависимости от внешних факторов ($V(t)$) происходит изменение во времени внутренних элементов $X(t)$ и структуры $\Sigma(t)$ системы Y .

Системой $Y(t)$, функционирующей в ОС $V(t)$, называется объект, образуемый элементами множества $X(t)$, которые связаны между собой и ОС определенными связями $\Sigma(t)$. Состав и структура изменяются во времени в соответствии с функцией F .

5. Огрубляющее и гомоморфное отображение объекта.

Сущность метода моделирования состоит в том, что наряду с системой-оригиналом $I^0 = I^0(X^0, V^0, \Sigma^0, F^0)$ существует ее модель $I = (X, V, \Sigma, F)$; модель I - подобие системы I^0 (рисунок).

Обозначим через f закономерность, в соответствии с которой система-оригинал преобразуется в модель: $f: (I^0) \rightarrow I$, не все особенности I^0 отображаются в I . Создание модели может происходить в несколько этапов, через разработку промежуточной подсистемы I^1 .

$f = q + h$, где: f - моделирующее отображение, q - огрубляющее отображение, h - гомоморфное отображение.

Моделирующее отображение f можно представить в виде сочетания двух последовательных отображений: гомоморфного и огрубляющего:

$$\begin{aligned} q: (I^0) &\rightarrow I^1; \\ h: (I^1) &\rightarrow I. \end{aligned}$$

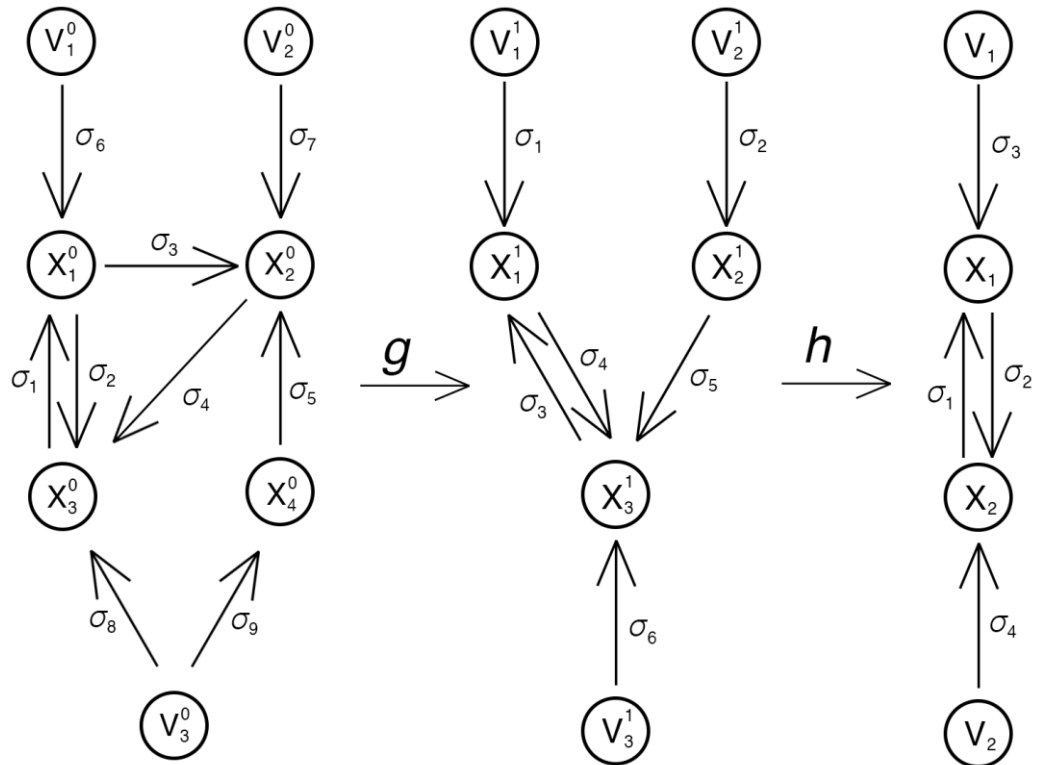


Рисунок. Схема гомоморфного и огрубляющего отображений при моделировании

Моделирование – это один из важнейших методов научного познания, с помощью которого создается модель (условный образ) объекта исследования. Сущность его заключается в том, что взаимосвязь исследуемых явлений и факторов передается в форме конкретных математических уравнений.

6. Этапы моделирования

Первый этап: уяснение целей моделирования. Вообще-то это главный этап любой деятельности. Цель существенным образом определяет содержание остальных этапов моделирования. Заметим, что различие между простой системой и сложной порождается не столько их сущностью, но и целями, которые ставит исследователь. Обычно целями моделирования являются:

- прогноз поведения объекта при новых режимах, сочетаниях факторов и т. п.;
- подбор сочетания и значений факторов, обеспечивающих оптимальное значение показателей эффективности процесса;
- анализ чувствительности системы на изменение тех или иных факторов;
- проверка различного рода гипотез о характеристиках случайных параметров исследуемого процесса;

- определение функциональных связей между поведением («реакцией») системы и влияющими факторами, что может способствовать прогнозу поведения или анализу чувствительности;

- уяснение сущности, лучшее понимание объекта исследования, а также формирование первых навыков для эксплуатации моделируемой или действующей системы.

Второй этап: построение концептуальной модели. Концептуальная модель (от лат. *conception*) – модель на уровне определяющего замысла, который формируется при изучении моделируемого объекта. На этом этапе исследуется объект, устанавливаются необходимые упрощения и аппроксимации. Выявляются существенные аспекты, исключаются второстепенные. Устанавливаются единицы измерения и диапазоны изменения переменных модели. Если возможно, то концептуальная модель представляется в виде известных и хорошо разработанных систем: массового обслуживания, управления, авторегулирования, разного рода автоматов и т. д.

Концептуальная модель полностью подводит итог изучению проектной документации или экспериментальному обследованию моделируемого объекта. Результатом второго этапа является обобщенная схема модели, полностью подготовленная для математического описания – построения математической модели.

Третий этап: выбор языка программирования или моделирования, разработка алгоритма и программы модели. Модель может быть аналитической или имитационной, или их сочетанием. В случае аналитической модели исследователь должен владеть методами решения.

Результатом третьего этапа моделирования является программа, составленная на наиболее удобном для моделирования и исследования языке – универсальном или специальном.

Четвертый этап: планирование эксперимента. Математическая модель является объектом эксперимента. Эксперимент должен быть в максимально возможной степени информативным, удовлетворять ограничениям, обеспечивать получение данных с необходимой точностью и достоверностью. Результат четвертого этапа – план эксперимента.

Пятый этап: выполнение эксперимента с моделью. Если модель аналитическая, то эксперимент сводится к выполнению расчетов при варьируемых исходных данных. При имитационном моделировании модель реализуется на ЭВМ с фиксацией и последующей обработкой получаемых данных. Эксперименты проводятся в соответствии с планом, который может быть включен в алгоритм модели. В современных системах моделирования такая возможность есть.

Шестой этап: обработка, анализ и интерпретация данных эксперимента. В соответствии с целью моделирования применяются разнообразные методы обработки: определение разного рода характеристик случайных величин и процессов, выполнение анализов – дисперсионного, регрессионного, факторного и др. Многие из этих методов входят в системы

моделирования и могут применяться автоматически. Не исключено, что в ходе анализа полученных результатов модель может быть уточнена, дополнена или даже полностью пересмотрена.

После анализа результатов моделирования осуществляется их интерпретация, то есть перевод результатов в термины предметной области. Это необходимо, так как обычно специалист предметной области (тот, кому нужны результаты исследований) не обладает терминологией математики и моделирования и может выполнять свои задачи, оперируя лишь хорошо знакомыми ему понятиями.

В заключении отметим, что, во-первых, моделирование процесс итеративный, то есть с каждого этапа может осуществляться возврат на любой из предыдущих этапов для уточнения информации, необходимой на этом этапе, а документация может сохранить результаты, полученные на предыдущей итерации.

Во-вторых, в случае исследования сложной системы в нем участвуют большие коллективы разработчиков, причем различные этапы выполняются различными коллективами. Поэтому результаты, полученные на каждом этапе, должны быть переносимы на последующие этапы, то есть иметь унифицированную форму представления и понятное другим заинтересованным специалистам содержание.

В-третьих, результат каждого из этапов должен являться самоценным продуктом. Например, концептуальная модель может и не использоваться для дальнейшего преобразования в математическую модель, а являться описанием, хранящим информацию о системе, которое может использоваться как архив, в качестве средства обучения и т. д.

7. Ценность математических моделей в экологии

1. Гипотезы об объекте, выраженные математически, могут служить количественным описанием биологических, сельскохозяйственных и других объектов (процессов) и тем самым способствуют более углубленному их пониманию.

2. Математическая модель часто подсказывает способ представления результатов научных исследований в форме, удобной для использования в практике (графики, гистограммы).

3. Благодаря модели может быть количественно оценена экономическая эффективность внедрения нового объекта или процесса в производство.

4. Позволяет выбрать оптимальную стратегию воздействия на объект.

5. Дает возможность сократить объем дальнейших экспериментальных работ с объектом.

6. При исследовании сложных объектов модель позволяет объединить разрозненные знания об отдельных частях системы в единое целое.

7. С помощью модели можно выбрать наиболее рациональную стратегию и тактику реализации исследовательских программ (теория планирования эксперимента).

8. Математическая модель – это мощное средство обобщения разнородных данных об объекте, позволяющее осуществлять как интерполяцию (восстановление недостающей информации о прошлом), так и экстраполяцию (прогнозирование будущего поведения объекта).

В основе любой математической модели и метода ее анализа лежит математический аппарат. Это могут быть дифференциальные уравнения, формулы теории вероятностей, математической статистики и т.д. Правильный подбор математического аппарата – необходимое условие построения удачной модели.

Литература:

1. Гершензон, В.Е. Информационные технологии в управлении качеством среды обитания: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений/ В.Е. Гершензон, Е. В. Смирнова, В. В. Элиас; под ред. В.Е. Гершензона. М.: Издат. центр «Академия», 2003. – 288 с.
2. Медоуз, Д. Х. Пределы роста: Доклад по проекту римского клуба «Сложное положение человечества» / Д. Х. Медоуз, Д. Л. Медоуз, Й. Рендерс, В. В. Беренс. – М., 1991.
3. Карпов, Ю. Имитационное моделирование систем: Введение в моделирование с AniLogic 5. – СПб.: ПХВ-Петербург. 2005, 400 с.
4. Кельтон, В., Лоу, А. Имитационное моделирование. 3-е изд. СПб.: Питер: Киев: Издательская группа ВНУ, 2004. – 847 с.
5. Розенберг Г.С., Мозговой Д.П., Гелашвили Д.Б. Экология. Элементы теоретических конструкций современной экологии (Учебное пособие). - Самара: Самарский научный центр РАН, 2000. - 396 с.
6. Дулепов В.И., Лескова О.А., Майоров И.С. Системная экология/ под ред. Александровой Л.И Учеб. пособие: Владивосток, 2004, 209 с.