

1.4 ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Методы моделирования можно классифицировать на три основные группы: аналитические, численные и имитационные.

1. Аналитические методы моделирования. Аналитические методы позволяют получить характеристики системы как некоторые функции параметров ее функционирования. Таким образом, аналитическая модель представляет собой систему уравнений, при решении которой получают параметры, необходимые для расчета выходных характеристик системы (среднее время обработки задания, пропускную способность и т.д.). Аналитические методы дают точные значения характеристик системы, но применяются для решения только узкого класса задач. Причины этого заключается в следующем. Во-первых, вследствие сложности большинства реальных систем их законченное математическое описание (модель) либо не существует, либо еще не разработаны аналитические методы решения созданной математической модели. Во-вторых, при выводе формул, на которых основываются аналитические методы, принимаются определенные допущения, которые не всегда соответствуют реальной системе. В этом случае от применения аналитических методов приходится отказываться.

2. Численные методы моделирования. Численные методы предполагают преобразование модели к уравнениям, решение которых возможно методами вычислительной математики. Класс задач, решаемых этими методами, значительно шире. В результате применения численных методов получают приближенные значения (оценки) выходных характеристик системы с заданной точностью.

3. Имитационные методы моделирования. С развитием вычислительной техники широкое применение получили имитационные методы моделирования

для анализа систем, преобладающими в которых являются стохастические воздействия.

Суть имитационного моделирования (ИМ) заключается в имитации процесса функционирования системы во времени, с соблюдением таких же соотношений длительности операций как в системе оригинале. При этом имитируются элементарные явления, составляющие процесс, сохраняется их логическая структура, последовательность протекания во времени. В результате применения ИМ получают оценки выходных характеристик системы, которые необходимы при решении задач анализа, управления и проектирования.

Моделирование водных экосистем:

Научно-технический прогресс, развитие сельского хозяйства, урбанизация привели к загрязнению природных вод. Проблема загрязнения вод приобрела глобальный характер. В настоящее время выделяют химическое, физическое, биологическое, тепловое, радиоактивное типы загрязнений.

Загрязняющие вещества, в зависимости от типа источника загрязнения, разными путями попадают в водную среду. Они могут поступать из атмосферы; могут быть смыты склоновым стоком с сельскохозяйственных полей и угодий в подземные и речные воды; загрязнение также может быть бактериальным в результате развития и отмирания водной растительности. Поступление загрязняющих веществ в водоём может происходить непрерывно (по времени) или в результате массового сброса, в виде точечных или распределённых в пространстве источников.

При имитационном моделировании качества воды необходимо совместное описание гидрофизических и химико-биологических процессов. Задача моделирования заключается в том, чтобы научиться предвидеть, возможно, более отдалённые последствия вмешательства человека в установившийся в природе круговорот веществ и уметь нейтрализовать нежелательные результаты.

Под экосистемой понимают единый природно-антропогенный комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания, в котором

экологические компоненты связаны между собой причинно-следственными связями, обменом веществ и распределением потока энергии. Водная экосистема является элементом системы более высокого порядка – биосферы. Водоём – открытая система, связанная с окружающей средой входными и выходными данными.

Математическое моделирование глобального развития:

В настоящее время проблема “Человек и среда его обитания” широко обсуждается во всём мире. Рост населения, истощение природных ресурсов, отрицательные воздействия человека на окружающую среду, нехватка продуктов питания в некоторых развивающихся странах – вот основные аспекты этой проблемы. В условиях научно-технической революции воздействие человека на окружающую его среду приобрело масштабы, которые можно сравнить с природными процессами. Возникла реальная угроза необратимых отрицательных последствий. Современные социально-экономические процессы взаимодействия человека и окружающей среды настолько сложны и масштабны, что нельзя пассивно надеяться на их стихийную адаптацию в желательном направлении. Возникает задача – изучить действие всех в совокупности факторов, обуславливающих развитие человечества, найти пути сознательного управления этим развитием.

В этих условиях важным инструментом анализа управления развитием сложных систем становятся методы математического моделирования. Методологической базой комплексного исследования наиболее важных сторон развития человеческого общества является системный анализ. Системный анализ – это прикладная дисциплина, занимающаяся решением конкретных проблем, возникающих в процессе проектирования и анализа сложных технических, биологических, экономических и прочих систем.

Глобальные модели Форрестера и Мидоуза.

Первая попытка формализовать описание экологических процессов была принята в 1971 г. американским исследователем Дж. Форрестером. В своей книге

“Мировая динамика” Форрестер предложил некоторый вариант модели экономического развития, содержащий лишь два экологических параметра: численность населения и загрязнение среды. Модель позволила оценивать взаимное влияние этих параметров, с одной стороны, и темпов экономического развития – с другой. Хотя, как писал сам Форрестер, основная задача его книги была чисто методической, а модель носила учебный характер, роль его работы в развитии исследований глобального характера трудно переоценить. Впервые была продемонстрирована принципиальная возможность объединить производственные, социальные и экологические процессы одним формализмом. Через год после “Мировой динамики” вышла в свет книга “Пределы роста”, написанная группой ученых под руководством Д. Мидоуза. Модель Мидоуза – “Мир - 3” – представляет собой систему нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих динамику взаимодействия таких секторов, как народонаселение, промышленность, сельское хозяйство, не возобновляемые природные процессы, загрязнение среды и др. Целью их работы было выявление общих качественных тенденций процесса взаимосвязанного изменения основных переменных системы, анализ чувствительности результатов по отношению к различным заложенным в модель предположениям.

Работы Форрестера и Мидоуза вызвали широкий отклик в мировой литературе. Принципиальным недостатком математических моделей “Мир-2” и “Мир-3” являлось то, что модели не отражали возможности сознательного воздействия человека на процесс развития. Но следует отметить определённое положительное значение указанных работ. Впервые были системно проанализированы некоторые глобальные экономические, демографические и экологические процессы.

Проект “Стратегия выживания” Месаровича – Пестеля.

Следующим этапом в работах по глобальному моделированию явился проект “Стратегия выживания”, который возглавил М. Месарович (США) и Э. Пестель (ФРГ). Критикуя модель “Мир-3” как “механическую”, Месарович и

Пестель выдвигают задачу построения “кибернетической” модели мира. Основные принципы её построения могут быть сформулированы в трёх тезисах:

1. Модель, отражающая сложные процессы взаимодействия человека с окружающей средой, должна основываться на теории многоуровневых иерархических систем.
2. Модель должна быть управляемой, т.е. включать в себя процесс принятия решений, что позволяет учесть возможность сознательного воздействия человека на развитие мировой системы. Для этого необходимо обеспечить работу в режиме диалога между исследователем модели и ЭВМ.
3. Мир следует рассматривать не как единое однородное целое, а как систему взаимодействующих регионов, различающихся уровнем развития, населенностью и т.п.

В модели Месаровича – Пестеля (М-П-модель) все страны мира, в соответствии с их социально-экономическими структурами и уровнями развития, объединены в 10 регионов; каждый регион описывается системой региональных подмоделей, их структура – одна и та же для всех регионов, отличие – в начальных данных и значениях параметров. Связь регионов осуществляется через миграцию населения, импорт и экспорт продукции.

Латиноамериканская модель глобального развития.

В 1974 г. группа аргентинских учёных во главе с профессором А. Эррерой получила предварительные результаты работы над латиноамериканской моделью глобального развития. Предпосылки для выполнения работы при обсуждении модели “Мир-3” послужил тезис о том, что основные преграды на пути гармонического развития человечества заключаеются главным образом в неравномерном распределении богатства между различными странами.

В модели Эрреры за основную цель развития человеческого общества принято достижение удовлетворительных условий жизни всеми странами мира, а не просто рост материального потребления. Под удовлетворительными

условиями понимаются некоторые достаточно высокие уровни медицинского обслуживания, образования, обеспеченности питанием и жильём.

Качественное моделирование

Качественное моделирование наименее требовательно к наличию информации. Для его использования необходимо лишь ввести переменные и решить, является ли отношение между ними положительным (увеличение A влечет увеличение B), отрицательным (увеличение A влечет уменьшение B) или нейтральным (увеличение A непосредственно не влияет на B). Можно усовершенствовать этот метод, введя данные об амплитуде эффектов взаимодействия (удвоение величины A влечет уменьшение вдвое величины B и т. д.).

Метод допускает также существование факторов различной важности и возможность того, что находясь, например, вблизи максимума, факторы будут действовать сильнее, чем вблизи минимума. Метод можно использовать для учета большого числа количественных деталей, однако тогда он будет скорее имитационным, чем качественным.

Достоинство этого метода заключается в том, что он позволяет проследить связь между динамикой системы, с одной стороны, и характером взаимодействия между переменными — с другой, когда информация недостаточна для построения имитационной модели.

Модель этого типа может дать лишь грубое качественное описание тенденций в динамике переменных и непригодна для повседневно встречающихся случаев, чувствительных к точному количественному балансу между переменными.

Матрица Леопольда

Матрица Леопольда и многие ее варианты представляют собой таблицу воздействий, включающую в себя по вертикали список возможных действий

(отвод воды, строительство дорог и т.д.), а по горизонтали — множество потенциальных индикаторов воздействия (рис. 1.3.1).

	a	b	c	d	e
a		2/1			8/5
b		7/2	8/3	3/1	9/7

Рис.1.3.1 — Фрагмент матрицы Леопольда.

В первоначальном ее варианте по горизонтали были перечислены 100 действий, способных повлиять на окружающую среду, а по вертикали — 88 характеристик окружающей среды. Воздействие, соответствующее пересечению каждого действия и каждого фактора, описывается через его амплитуду и важность. Амплитуда — это мера общего уровня. Например, постройка дорог изменит или вредно повлияет на существующую систему водостока и, таким образом, может оказать большое воздействие на сток.

Важность — это мера значимости отдельного действия человека в каждом конкретном случае. Важность влияния конкретной дороги на сток может быть незначительной вследствие малой длины дороги или потому, что именно в данном конкретном случае дорога не сильно препятствует стоку. Если каждое взаимодействие оценивать двумя числами, то удастся отделить фактические данные, которые легче получить путем измерения амплитуд, от более субъективных оценок важности, выраженных в баллах.

Леопольд предложил инструкцию по использованию этой матрицы:

- изучить все действия (расположенные в верхней части матрицы), входящие в предполагаемый проект;
- под каждым из действий, способных оказать воздействие, на пересечении с соответствующей строкой матрицы сделать разрез;
- в верхнем левом углу каждой клетки с разрезом поместить число от 1 до 10, определяющее амплитуду возможного воздействия; 10 соответствует

наибольшей амплитуде, 1– наименьшей (ненулевой); перед каждым числом поставить «+», если воздействие выгодно для человека; в нижнем правом углу клетки поместить число от 1 до 10, определяющее важность возможного воздействия;

- в прилагаемом к матрице тексте должно содержаться обсуждение наиболее важных воздействий, а также тех строчек и столбцов, которые содержат ячейки с наибольшими числами.

Основная проблема, возникающая в связи с использованием матриц воздействия, состоит в том, что схема «действие-единичный эффект» нереалистична. Возникают трудности определения последовательности воздействий и вызывающих их причин. Кроме того, наличие 8800 ячеек делает матрицу Леопольда громоздкой для вычислений.

Такие матрицы длительное время являлись общепринятым методом оценки воздействия на окружающую среду в Северной Америке. Существуют усовершенствованные вариации этого метода, в которых устранены отдельные недостатки, однако общая структура их не изменилась.

Статистические модели

Статистические модели строят на допущении, о том, что моделируемый процесс случаен по своей природе. Для исследования применяют статистические методы, в частности методы Монте-Карло. В основе их лежит использование случайных чисел. Имеется точка зрения, согласно которой закономерности функционирования сложных систем (объекты биосферы и геосистемы) «существенно вероятностны». Таким образом, можно предположить, что методы

Монте-Карло будут высокоэффективными методами компьютерного моделирования в экологии.

Кроме того, статистические модели успешно применяют при неполной информации о моделируемых объектах. Исследование этими методами, как правило, дает лишь вероятностные оценки поведения экосистемы, что не всегда приемлемо. Статистические модели, хотя и не являются основными методами

моделирования, могут применяться в качестве составных частей более сложных моделей, внося в них элемент случайности.

Модели типа «хищник - жертва» Модели типа «хищник - жертва» или «паразит - хозяин» — классические модели биоэкологии, их применяют для изучения частных случаев взаимодействия популяций нескольких видов.

Модель типа «хищник - жертва» — одна из первых моделей теоретической экологии (или теоретической биологии). Однако взаимодействием двух-трех и даже более видов, которые реализуются в таких моделях, не исчерпывается динамика объектов окружающей среды, поэтому данные модели не являются универсальными и имеют прикладное значение. В частности, модели этого типа получили широкое распространение в микробиологии.

Экологические процессы включают в себя рост, воспроизведение, конкуренцию, хищничество и естественный отбор.

Хищничество — один из процессов, наиболее подробно описанных документально. Существуют уравнения пищевой конкуренции и роста численности популяции и т. д. В основе их лежат уравнения Вольтерра – Лотки, предложенные для модели «хищник - жертва».

Имитационные модели

Имитационные модели применяют в тех случаях, когда можно воспользоваться большим количеством теоретических и экспериментальных работ в исследуемой области и обосновать функциональное представление соотношений между переменными, используемыми при моделировании. В большинстве случаев соотношения между этими переменными есть результат изучения статистических зависимостей между ними.

Суть имитационного моделирования заключается в попытке формализации с помощью компьютера любых эмпирических знаний о рассматриваемом объекте. Имитационная модель представляет собой полное формализованное описание изучаемого явления «на грани нашего понимания». Слова «на грани нашего

понимания» означают понимание причинно-следственных связей между событиями.

Для создания качественной модели требуется точная схема причинно-следственных связей. Однако стремление к реализму в модели не должно приводить к излишней детализации. Выход заключается в том, чтобы ограничиться минимумом учитываемых факторов, при котором модель остается точным и работоспособным представлением ключевых эффектов. В этих условиях математический аппарат будет второстепенным. Большого внимания требует содержательная часть моделирования.

При моделировании сложные системы разбивают на подсистемы, поэтому модель предстает как некий комплекс подмоделей. Последние строят, используя в каждой из них различный математический аппарат. О характере некоторых процессов известно из источников, о других — практически ничего неизвестно; некоторые взаимосвязи можно адекватно описать с помощью простых функций, анализ других требует сложного математического аппарата. Именно это обстоятельство приводит к использованию имитационного моделирования как метода анализа. Благодаря имитационным моделям можно манипулировать функциями и отношениями и полнее использовать имеющиеся знания.

Метод Монте-Карло

В природе часто встречаются системы, в распределении которых нет видимых закономерностей. Это относится, например, к расположению деревьев на однородном участке леса. Случайными по времени можно считать внешние воздействия на исследуемую систему, такие, например, как метеорологические факторы, а случайными флуктуациями — передвижение микроорганизмов в окружающей их среде. Если какие-либо факторы подчиняются определенным закономерностям, то при некоторых условиях их можно моделировать случайными процессами. Например, при изучении развития популяции микроорганизмов исследователя не интересует появление или гибель отдельной бактерии. При больших количествах микроорганизмов рождаемость, смертность

и питание подчиняются строгим статистическим закономерностям. Если известно, что в течение какого-то периода погибает некоторая часть популяции, то неважно, какие именно особи исчезнут, можно считать, что этот процесс случаен.

Метод Монте-Карло заключается в использовании случайных чисел для моделирования различных объектов, ситуаций и физических явлений, реализации игр и др.

