

ПРОБЛЕМНАЯ ЛЕКЦИЯ

План лекции

1. Информационные технологии: основные определения, классификация.....	2
2. Основы экономико-математического моделирования	4
2.1. Моделирование как метод научного познания	4
2.2. Виды моделей	5
2.3. Классификация экономико-математических моделей	7
2.4. Этапы экономико-математического моделирования	13
2.5. Особенности экономико-математического моделирования	14
2.6. Компьютерные технологии в математическом моделировании	17

1.ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ

В современной науке существует много различных подходов к определению термина «информационные технологии» (ИТ). Данный термин связан с двумя понятиями: информация и технология. Прежде всего, обратимся к определению этих категорий.

Технология (от греч. *techne* – мастерство, искусство и *logos* – понятие, учение) определяется как совокупность знаний о способах и средствах осуществления процессов, при которых происходит качественное изменение объекта. В ином понимании **технология** – это совокупность процессов, приемов обработки или переработки материалов, применяемых в каком-либо деле, мастерстве, искусстве, а также научное описание способов производства, совокупность знаний о способах и средствах осуществления процессов, при которых происходит качественное изменение объекта.

Термин «**информация**» (от лат. *informatio* – разъяснение, изложение) первоначально обозначал сведения, передаваемые от одного человека к другому устно, письменно, посредством условных сигналов или с использованием каких-либо технических средств. С середины XX века понятие информации стало общенаучным. Так стали называть любые сведения, передаваемые от человека к человеку, от человека к автоматическому устройству, от одного автоматического устройства к другому, от одной клетки живого вещества к другой, от одного организма к другому, от одной организации к другой и т. п. Существует также иная трактовка понятия: **информация** – это сведения о состоянии каких-либо объектов, их предыстории и программах их дальнейшего существования, хранимые в их памяти, или видоизменяемые ими для достижения заданных или задаваемых целей, или передаваемые ими другим объектам.

Учитывая вышесказанное, определим термин ИТ, исходя из совокупности рассмотренных нами выше понятий: технологии и информации.

Таким образом, **информационная технология** – сочетание процедур, реализующих функции сбора, получения, накопления, хранения, обработки, анализа и передачи информации в организационной структуре с использованием средств вычислительной техники, или, иными словами, совокупность процессов циркуляции и переработки информации и описание этих процессов. Целью ИТ является качественное формирование и использование информационных ресурсов в соответствии с потребностями пользователя. Методы ИТ – это методы обработки данных. В качестве средств ИТ выступают математические, технические, программные, информационные, аппаратные и другие средства.

На выбор того или иного способа обработки данных влияет очень большое количество факторов, связанных как с самим объектом управления, так и с управляющей системой. Количество возможных вариантов построения технологического процесса обработки данных оказывается довольно значительным. Поэтому с целью облегчения изучения и проектирования этих процессов целесообразно выделять некоторые классы процессов.

При этом существенное влияние на классификацию оказывают возможные режимы обработки данных в *вычислительных системах* (ВС). Режимы эксплуатации во многом связаны с повышением эффективности работы пользователей. Режимы работы в основном определяют эффективность работы ВС.

Эффективность работы ВС часто характеризуется ее производительностью. Большое влияние на производительность оказывает возможность совмещения в системе работы устройств ввода-вывода и центрального процессора. Такую возможность обеспечивает использование в системе многопрограммного режима работы. Наличие нескольких процессоров также влияет на повышение производительности. Такой режим работы системы именуется многопроцессорным.

Еще больше увеличивает скорость ответа системы пользователю возможность непосредственного доступа, осуществляемого в оперативном режиме обработки (online). При многопрограммном режиме работы ЭВМ с использованием квантования времени и режима непосредственного доступа получается режим, именуемый разделением времени (time-sharing).

Задачи, решаемые в АСУ, можно подразделить на задачи, которые требуют немедленного ответа, и задачи, допускающие определенную задержку ответа. Для задач с немедленным ответом предназначен режим реального времени. Он характеризуется дистанционной обработкой информации, или телеобработкой. Телеобработка применима и для других режимов (например, для пакетного), позволяет передавать пакеты на обработку ЭВМ и получать результаты пользователям, находящимся на значительном расстоянии от нее. Для передачи данных часто используются каналы связи.

Выбор того или иного режима эксплуатации вычислительной системы определяется параметрами решаемых задач. Когда пользователь имеет доступ к какому-либо терминалу и в обработке участвует небольшой объем данных (что характерно для информационного поиска и обработки сообщений) целесообразно использовать непосредственный доступ с немедленной обработкой.

Для больших объемов информации и не критичности времени обработки характерен пакетный режим. Он сочетается с телеобработкой, что обеспечивает более быструю доставку результатов пользователю.

Подготовленные и введенные в ВС данные в процессе хранения располагаются, как правило, на внешних накопителях информации.

Идеология, положенная в основу организации системы хранения, во многом определяет технологию внутримашинной обработки данных. Т. е. рост избыточности информационных массивов, возрастание суммарного объема архивов данных на МН и соответственно рост машинного времени и численности работников приводят к необходимости организации хранения данных в виде банка данных, что облегчает внесение изменений в массивы.

Значительная часть информации подлежит переработке, хранению, передаче, сбору, доведению до пользователей, остальная часть информации поступает извне или вырабатывается внутри производства, т. е. можно говорить о процессах циркуляции и переработки информации (информационных процессах).

2.ОСНОВЫ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

2.1.Моделирование как метод научного познания

Модель (от лат. *modulus*– мера, образец) – это материальный или идеальный объект, который рассматривается для изучения исходного объекта (оригинала) и который отражает наиболее важные свойства, качества или параметры оригинала.Процесс построения и изучения моделей называют моделированием.

Исторически первыми моделями, отражающими реальные объекты и явления, считаются языковые знаки (слова), которые возникли в ходе развития человечества и постепенно превратились в разговорный язык.

Следующим этапом развития моделирования считают возникновение знаковых числовых обозначений. Сведения о результатах счета первоначально сохранялись в виде зарубок, которые затем трансформировались в цифры как системы знаков.

В научных исследованиях моделирование стало применяться еще в глубокой древности. Так, в Древней Греции в V–III вв. до н. э. была создана геометрическая модель Солнечной системы. Известно, что древнегреческий врач Гиппократ (ок. 460–370 гг. до н. э.) для изучения строения человеческого глаза использовал его физическую модель – глаз быка. И таких примеров можно привести множество.

Постепенно моделирование проникло во все области научных знаний: сначала в техническое конструирование, строительство, архитектуру, астрономию, физику, химию, биологию, затем в гуманитарные и общественные науки.

Моделирование – универсальный способ исследования явлений, процессов и объектов реального мира. Он основывается на принципе аналогии и связан с такими категориями, как абстракция, гипотеза и др.

Главная особенность моделирования заключается в том, что это метод опосредованного познания с помощью объектов-заместителей. Модель выступает как своеобразный инструмент познания, который исследователь ставит между собой и объектом и с помощью которого изучает интересующий его объект.

Следовательно, процесс моделирования включает три обязательных компонента (рис. 1):

- 1) субъект (исследователь);
- 2) объект исследования;
- 3) модель, опосредствующая отношения познающего субъекта и познаваемого объекта.



Рис. 1. Компонентный состав процесса моделирования

Причем для одного объекта исследования могут быть построены различные модели в зависимости от целей, средств и возможностей исследователя.

Еще в древности были сформулированы правила – «признаки мудрости», выполнение которых приводило к успеху моделирования:

- учитывать главные свойства моделируемого объекта;
- пренебрегать его второстепенными свойствами;
- уметь отделить главные свойства от второстепенных.

Однако не всегда бывает легко отделить главное от второстепенного и составить приемлемую математическую модель. **Составление модели** – это искусство, творчество, но, безусловно, опирающееся на знания.

2.2. Виды моделей

Существуют различные классификации моделей, которым соответствуют определенные виды моделирования. Общепринятой точки зрения в этом вопросе пока нет.

Рассмотрим один из вариантов классификации моделей по средствам моделирования. По этому признаку модели делятся на материальные и идеальные.

Материальная модель – это реально существующий, материальный объект. Такая модель воспроизводит основные геометрические, физические, динамические и функциональные характеристики изучаемого объекта. Ее можно непосредственно увидеть, потрогать руками, исследовать.

Процесс построения материальной модели называют *материальным (предметным) моделированием*. Это экспериментальный метод, который состоит в непосредственном исследовании модели как материального объекта.

Основными разновидностями материального моделирования являются *физическое и аналоговое моделирование*.

Физическим называют моделирование, при котором реальному объекту сопоставляется его увеличенная или уменьшенная копия, допускающая исследование (обычно в лабораторных условиях) с помощью последующего перенесения свойств изучаемых процессов и явлений с модели на объект на основе теории подобия. Примерами физических моделей являются макет здания, планетарий, игрушечная модель автомобиля, фотография человека, карта Омской области и др.

Аналоговое моделирование основано на аналогии процессов и явлений, имеющих различную физическую природу, но одинаково описываемых формально (одними и теми же математическими уравнениями, логическими схемами и т. д.). Примером аналогового моделирования является изучение механических колебаний с помощью электрической схемы, описываемой теми же дифференциальными уравнениями.

Идеальное моделирование принципиально отличается от материального. Оно основано не на материальной аналогии объекта и модели, а на аналогии мыслимой, идеальной. Оно носит теоретический характер.

Различают два вида идеального моделирования: *интуитивное и знаковое*.

Интуитивным называют моделирование, основанное на интуитивном представлении об объекте исследования, не поддающемся формализации или не нуждающемся в ней. Жизненный опыт каждого человека можно рассматривать как интуитивную модель окружающего мира.

Знаковым называют моделирование, использующее в качестве моделей знаковые преобразования какого-либо вида: схемы, графики, чертежи, формулы и т. д., а также включающее совокупность законов, по которым можно оперировать с выбранными знаковыми образованиями и их элементами.

Важнейшим видом знакового моделирования является *математическое моделирование*. В экономических исследованиях оно играет главную роль.

Математическая модель представляет собой совокупность формул, уравнений, неравенств, логических условий и т. д. Используемые в математической модели математические соотношения определяют процесс изменения состояния объекта исследования в зависимости от его параметров, начальных условий, времени.

Существует мнение, что вся математика является идеальной моделью реального мира и служит для формирования математических моделей.

Математическое моделирование – метод изучения объекта исследования, основанный на построении его математической модели.

Значительный толчок развитию математического моделирования дало появление ЭВМ, хотя сам метод зародился одновременно с математикой тысячи лет назад.

В математическом моделировании выделяют два вида: *аналитическое и компьютерное*, которые все больше переплетаются и дополняют друг друга.

При *аналитическом* моделировании исследователь получает результат вследствие раздумий, размышлений, умозаключений «на кончике пера». Формирование модели производится в основном с помощью точного математического описания объекта исследования.

Классическим примером аналитического моделирования является открытие планеты Нептун на основании анализа движения планеты Уран, которое сделал в XIX веке французский астроном Урбен Жан Жозеф Леверье (1811–1877 гг.).

При *компьютерном* моделировании математическая модель создается и анализируется с помощью вычислительной техники. В этом случае часто используют приближенные (численные) методы расчета, однако создание символьных процессоров и соответствующих компьютерных систем позволяет достаточно легко получать любые аналитические решения.

В последние десятилетия развивается особый вид компьютерного моделирования – *имитационное моделирование* (от английского выражения *simulation modeling*), которое предполагает имитацию реального процесса и включает в себя как процесс создания модели, так и ее исследование (проведение многократных вычислительных экспериментов) с помощью ЭВМ.

Имитационной моделью реального процесса (объекта, явления) называют программу для ЭВМ, реализующую упрощенную модель этого процесса вместе с алгоритмом, описывающим течение этого процесса.

Таким образом, приведенную выше классификацию моделей можно представить в виде схемы (рис. 2).

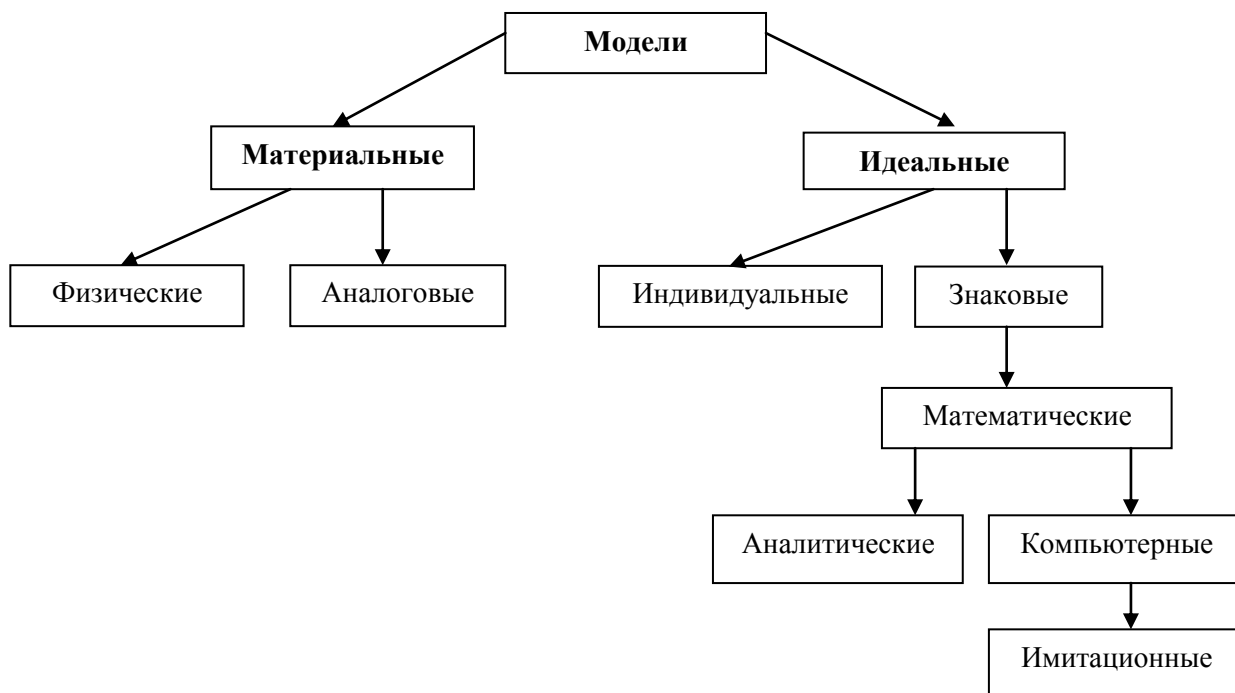


Рис. 2. Классификация моделей

С бурным развитием вычислительной техники и активным внедрением ее во все сферы человеческой деятельности математическое моделирование играет ведущую роль в различных исследованиях, в том числе и экономических.

2.3. Классификация экономико-математических моделей

Классифицировать экономико-математические модели (ЭММ) можно разными способами, исходя из принципов, положенных в основу типологии. Рассмотрим десять вариантов возможных классификаций:

1. Наиболее общее деление ЭММ – по способу отражения действительности:

- **аналоговая** модель, свойства которой определяются законами, аналогичными (сходными, подобными) законам изучаемой системы;
- **портретная (коническая)** модель, точно повторяющая структуру объекта и отношения между его элементами;
- **концептуальная** модель – принципиальная основа экономико-математической модели, предназначенная для реализации различными математическими и техническими средствами и, следовательно, для непосредственного решения задачи;
- **функциональная** модель, описывающая поведение системы безотносительно к ее внутренней структуре;

• **структурная** модель, отражающая структуру системы, подлежащей исследованию, ее внутренние параметры, характеристики внешних возмущений.

В исследованиях на народнохозяйственном уровне чаще применяются структурные модели, т. к. для планирования и управления большое значение имеют взаимосвязи подсистем. Типичными структурными моделями являются модели межотраслевых связей.

Функциональные модели широко применяются в экономическом регулировании, – примером может служить модель поведения потребителей в условиях товарно-денежных отношений. Один и тот же объект может описываться одновременно и структурной, и функциональной моделью. Так, например, для планирования отдельной отраслевой системы используется структурная модель, а на народнохозяйственном уровне каждая отрасль может быть представлена функциональной моделью.

2. По целевому назначению ЭММ делят на:

• **теоретические**, используемые в исследованиях общих свойств и закономерностей экономических процессов;

• **прикладные**, применяемые в решении конкретных экономических задач.

3. Имеет место классификация, согласно которой ЭММ делят на две большие группы:

• модели, отражающие производственный аспект экономики;

• модели, отражающие социальные аспекты экономики.

Предложенное деление является в значительной степени условным, т. к. в каждой конкретной модели социальные аспекты могут изменяться. Вместе с тем, из моделей *первой группы* выделяют:

• модели долгосрочного прогноза сводных показателей экономического развития;

• межотраслевые модели;

• отраслевые модели оптимального планирования и размещения производства;

• модели оптимизации структуры производства в отраслях.

Из моделей *второй группы* наиболее разработаны ЭММ, связанные с прогнозированием и планированием доходов и потребления населения, демографических процессов.

4. По уровню моделируемого объекта в хозяйственной иерархии выделяют:

• глобальные модели, отражающие процессы глобального характера (модели наиболее масштабных социальных, экономических и экологических явлений и процессов, охватывающих земной шар);

• макроэкономические (агрегированные) модели, отражающие функционирование народного хозяйства как единого целого;

• микроэкономические модели, отражающие функционирование и структуру отдельного элемента экономической системы, взаимодействие его с другими элементами системы.

Четкого разграничения макромоделей от микромоделей пока не существует. Вместе с тем, к первым относят наиболее обобщенные модели.

К *микроэкономическим моделям* относят, например, модели спроса и потребления, ценообразования, рынка товаров, рынка капиталов и др. Отличие *микромоделей от макромоделей* заключается в большей зависимости от внешней среды и дезагрегации показателей.

Модели, в которых учитывается членение народного хозяйства на крупные подсистемы (секторы, отрасли, регионы и т. п.), одни авторы относят к микромоделям, другие – к макромоделям.

5. По назначению (цели создания и применения) ЭММ делят на:

- балансовые модели, представляющие собой систему уравнений, каждое из которых выражает требование баланса между производимым отдельными экономическими объектами количеством продукции и совокупной потребностью в этой продукции;
- дескриптивные модели (от англ. *description* – описание), предназначенные для описания и объяснения наблюдаемых фактов или прогноза поведения объектов;
- нормативные (в т. ч. оптимизационные) модели, предназначенные для нахождения желательного (например, оптимального) состояния объекта;
- имитационные модели, предназначенные для использования в процессе компьютерной имитации (являются по сути программами для компьютера);
- информационные модели, несущие информацию об объекте исследования.

Дескриптивные модели отвечают на вопрос: «Как это происходит?» или «Как это вероятнее всего может дальше развиваться. Они только объясняют наблюдаемые факты или дают вероятный прогноз.

Нормативные модели отвечают на вопрос: «Как это должно быть?», т. е. предполагают целенаправленную деятельность. Типичным примером нормативных моделей являются модели оптимального планирования, формализующие тем или иным способом цели экономического развития, возможности и средства их достижения.

Применение дескриптивного подхода в моделировании экономики объясняется необходимостью эмпирического выявления различных зависимостей в экономике, установления статистических закономерностей экономического поведения социальных групп, изучения вероятных путей развития каких-либо процессов при неизменных условиях. Примерами дескриптивных моделей являются производственные функции и функции покупательского спроса, построенные на основе обработки статистических данных.

Является ли экономико-математическая модель дескриптивной или нормативной – зависит не только от ее математической структуры, но и от характера использования этой модели. Например, модель межотраслевого баланса дескриптивная, если она используется для анализа пропорции прошлого периода. Но эта же математическая модель становится нормативной, когда она применяется для расчетов сбалансированных вариантов развития народного хозяйства, удовлетворяющих конечные потребности общества при плановых нормативах производственных затрат.

Многие ЭММ сочетают признаки дескриптивных и нормативных моделей. Типична ситуация, когда нормативная модель сложной структуры объединяет

отдельные блоки, которые являются частными дескриптивными моделями. Например, межотраслевая модель может включать функции покупательского спроса, описывающие поведение потребителей при изменении доходов. Подобные примеры характеризуют тенденцию эффективного сочетания дескриптивного и нормативного подходов к моделированию экономических процессов

6. По характеру отражения причинно-следственных связей различают:

- детерминированные модели, предполагающие наличие жестких связей между переменными (аналитические представления закономерности, операции и т. п., при которых для данной совокупности входных значений на выходе системы может быть получен единственный результат);

- стохастические модели, учитывающие случайность и неопределенность. Необходимо различать неопределенность, описываемую вероятностными законами, и неопределенность, для описания которой законы теории вероятностей неприменимы. Второй тип неопределенности гораздо более сложен для моделирования.

7. По способам отражения фактора времени экономико-математические модели делятся на статические и динамические.

В статических моделях все зависимости относятся к одному моменту или периоду времени. Динамические модели характеризуют изменения экономических процессов во времени. По длительности рассматриваемого периода времени различаются модели краткосрочного (до года), среднесрочного (до 5 лет), долгосрочного (10–15 и более лет) прогнозирования и планирования. Само время в экономико-математических моделях может изменяться либо непрерывно (в этом случае ЭММ называют непрерывной), либо дискретно (в этом случае ЭММ называют дискретной).

8. Модели экономических явлений и процессов чрезвычайно разнообразны по формам математических зависимостей, поэтому используют классификацию ЭММ по применяемому математическому аппарату (рис. 3).

При такой классификации ЭММ особо выделяется класс линейных моделей, наиболее простых и удобных для анализа и вычислений, вследствие чего получивших большое распространение в экономико-математическом моделировании. Различия между линейными и нелинейными моделями существенны не только с математической, но и с экономической точки зрения. Многие зависимости в экономике носят принципиально нелинейный характер: эффективное использование ресурсов при увеличении производства, изменение спроса и потребления населения при увеличении производства, изменение спроса и потребления населения при росте доходов и т.п. Теория линейной экономики существенно отличается от теории «нелинейной экономики». От того, предполагаются ли множества производственных возможностей подсистем (отраслей, предприятий) выпуклыми или же невыпуклыми, существенно зависят выводы о возможности сочетания централизованного планирования и хозяйственной самостоятельности экономических подсистем.

9. По внутренней структуре модельного описания системы выделяются следующие виды ЭММ:

- автономная модель часть системы моделей, которую можно анализировать независимо от других частей;

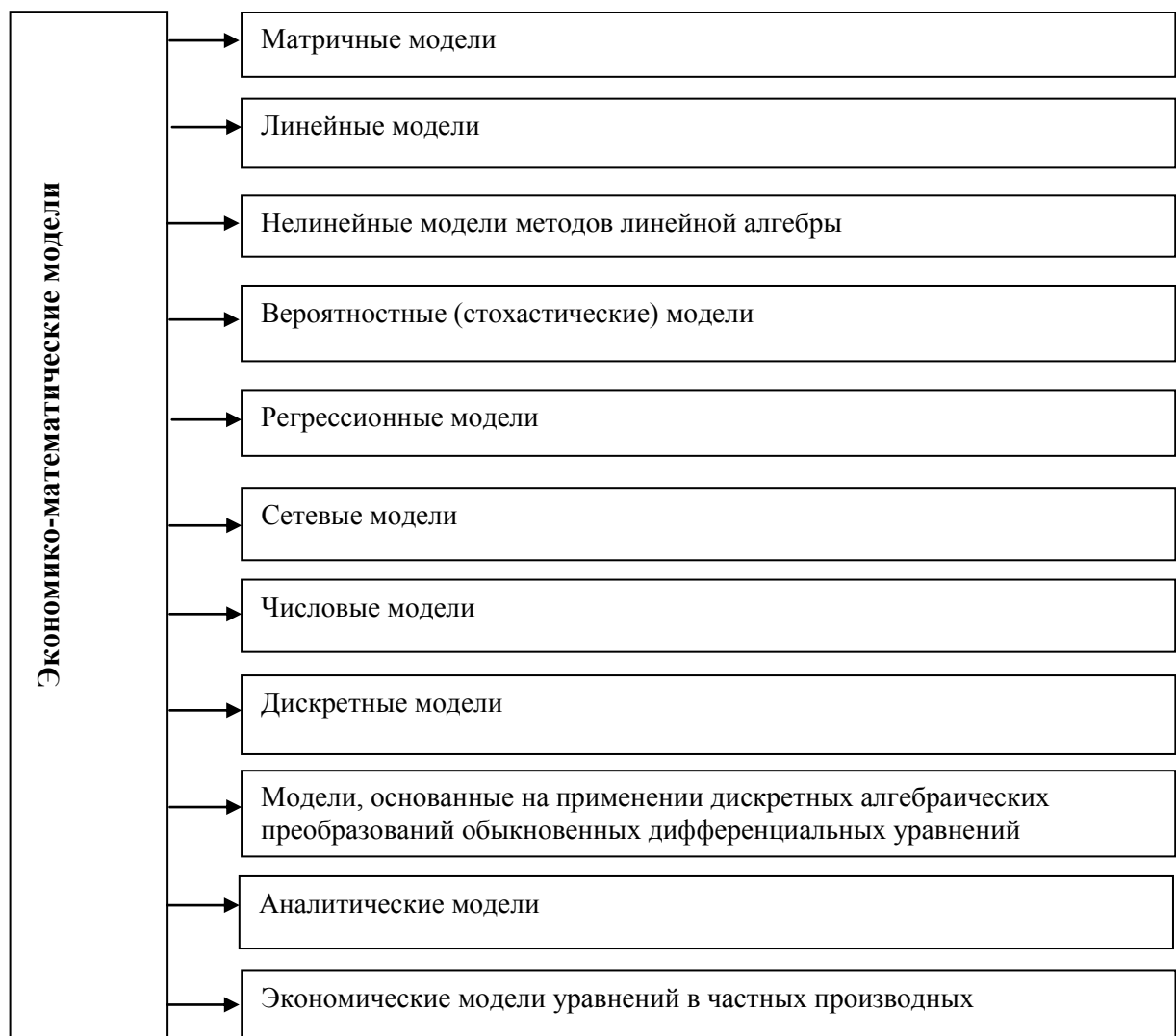


Рис. 3. Классификация ЭММ по применяемому математическому аппарату

- закрытая модель, у которой нет входов и выходов или они не принимаются во внимание, т. е. она изолирована от внешней среды;
- открытая модель, в которой учитывается взаимодействие моделируемого объекта с окружающей средой (внешние связи);
- многосекторная модель – модель народного хозяйства, представляющая его как совокупность крупных секторов. Если в качестве секторов принимают отрасли производства, то такая модель называется многоотраслевой.

10. В зависимости от того, включают ли народнохозяйственные модели пространственные факторы и условия или не включают, различают модели *пространственные и точные*.

Таким образом, классификация экономико-математических моделей может проводиться на основе различных признаков, при этом одна и та же модель может входить в разные классы в зависимости от признака, по которому ведется классификация.

С развитием экономико-математических исследований проблема классификации применяемых моделей усложняется. Наряду с появлением новых

видов моделей (особенно смешанных типов) и новых признаков их классификации осуществляется процесс интеграции моделей разных типов в более сложные модельные конструкции.

Отдельные наиболее используемые в теории и практике моделирования виды ЭММ представлены на рис. 4.

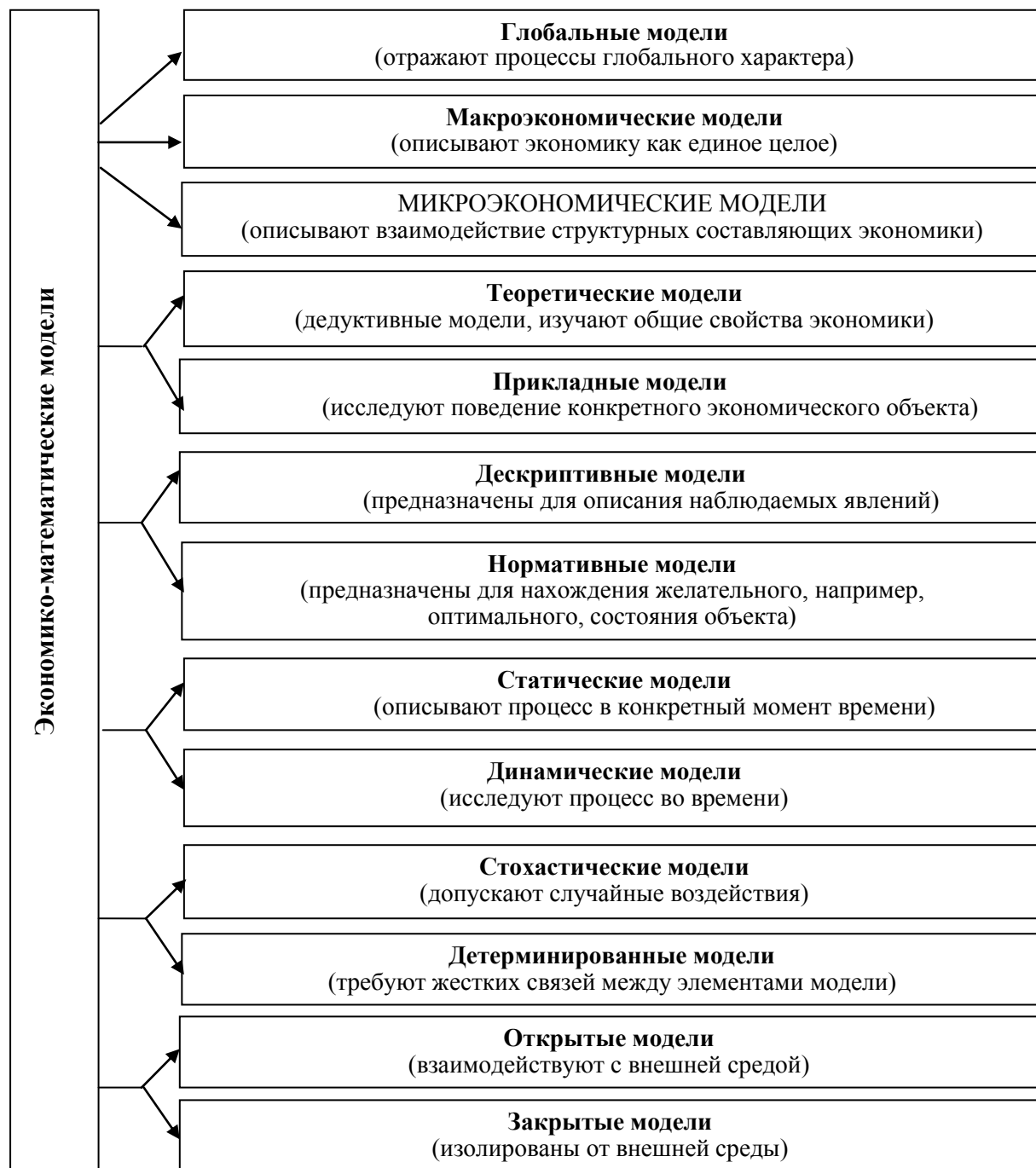


Рис. 4. Виды ЭММ

2.4. Этапы экономико-математического моделирования

В моделировании экономических объектов, явлений или процессов можно выделить следующие взаимозависимые этапы (рис. 5).

1. Постановка проблемы, формулировка целей моделирования.

2. Построение концептуальной модели. Выделение в исследуемой экономической системе структурных или функциональных элементов, соответствующих целям моделирования, и наиболее важных характеристик. Словесное, качественное описание взаимосвязей между элементами модели. Чем четче построена концептуальная модель, тем более вероятно создание хорошей математической модели.

3. Построение математической модели. Введение символьных обозначений и формализация взаимосвязей, т. е. выражение экономической проблемы в виде конкретных математических зависимостей (уравнений, неравенств, функций и др.).

4. Математический анализ модели. Математическими методами исследования выявляются общие свойства модели. Важным моментом этого этапа является доказательство существования решения сформулированной задачи. Осуществляется выбор методов решения задачи в рамках построенной математической модели. При аналитическом исследовании выясняется, единственно ли решение, какие переменные могут входить в решение, каковы тенденции их изменения и т. д. Практика показывает, что при моделировании сложных экономических объектов и явлений более приемлемы численные методы, а иногда они единственно возможны.

5. Решение задачи с помощью ЭВМ: составление алгоритма решения (этап алгоритмизации); запись алгоритма решения поставленной задачи на каком-либо языке программирования или среде программного средства (этап программирования).

6. Проведение расчетов вручную или на ЭВМ (вычислительный этап).

7. Анализ и интерпретация полученных результатов. В первую очередь проверяется адекватность модели тем свойствам, которые выбраны в качестве существенных, т. е. проводятся верификация (проверка правильности структуры (логики) модели) и валидация (проверка соответствия данных, полученных на основе модели, реальному процессу) модели. При необходимости – коррекция модели, метода решения, алгоритма, программы. Устранение ошибок продолжается до тех пор, пока результаты не придут в соответствие с прогнозируемыми.

Все перечисленные этапы важны, находятся в тесной взаимосвязи и влияют на окончательный результат. Преимуществом моделирования является возможность не только прямых, но и обратных связей этапов. Это означает, что при работе над последующим этапом можно при необходимости вернуться к предыдущим для уточнения тех или иных моментов. Например, на этапе построения математической модели (этап 3) может выясниться, что первоначальная постановка задачи противоречива, или приводит к очень сложной математической модели. В этом случае необходимо скорректировать исходную постановку задачи (этап 1), уточнить концептуальную модель (этап 2). Математический анализ модели (этап 4) может показать ошибки предыдущих шагов.



Рис. 5. Этапы моделирования

Моделирование является циклическим процессом, т. е. после прохождения всех этапов первого цикла может последовать второй, третий и т. д. Недостатки, которые не удалось исправить на тех или иных этапах моделирования, могут быть устранены в последующих циклах. При этом с каждым «проходом» расширяются и уточняются знания об исследуемом объекте или явлении, а первоначально построенная модель постепенно совершенствуется.

2.5. Особенности экономико-математического моделирования

Экономика – одна из сложнейших областей человеческой деятельности, поэтому создание экономико-математических моделей является чрезвычайно трудоемким процессом.

Во-первых, экономические объекты, как правило, описываются сотнями параметров, многие из которых носят случайный характер.

Во-вторых, в экономическом моделировании не пригодны модели подобию, широко используемые в технике и физических экспериментах. Невозможно построить

точную копию экономического явления или процесса в определенном масштабе и отрабатывать этой копии различные варианты экономической политики.

В-третьих, в экономике действует человеческий фактор, а все мы знаем, что предсказать поведение отдельного человека бывает трудно, в отдельных случаях и невозможно.

Кроме того, экономика зависит от политики, социального устройства общества и многих других факторов. Вместе с тем экономико-математическое моделирование существует, активно развивается и оказывает неоценимую помощь в таких случаях, как:

- анализ экономических объектов, явлений и процессов;
- прогнозирование развития экономических явлений и процессов;
- выработка управленческих решений на всех уровнях хозяйственной иерархии.

В экономико-математическом моделировании ведущую роль играет системный подход, т.к. большинство объектов, изучаемых экономической наукой, характеризуются таким понятием, как сложная система.

Система – это совокупность элементов, находящихся во взаимодействии и образующих некоторое единство и целостность. Сложность системы определяется количеством входящих в нее элементов, связями между этими элементами, а также взаимоотношениями между системой и средой.

Экономика страны обладает всеми признаками очень сложной системы. Она объединяет огромное число элементов, отличается многообразием внутренних связей и связей с другими системами (природная среда, экономика других стран и т.д.). В народном хозяйстве взаимодействуют природные, технологические, социальные процессы, объективные и субъективные факторы.

Экономическая система – это совокупность взаимосвязанных экономических элементов, образующих определенную целостность, экономическую структуру общества, единство отношений, складывающихся по поводу производства, распределения, обмена и потребления экономических благ.

Как всякая сложная система, экономическая система может рассматриваться в разных аспектах. С материально-производственной точки зрения ее входом являются материально-вещественные потоки природных и производственных ресурсов, выходом – материально-вещественные потоки предметов потребления, накопления, возмещения, товары для экспорта, отходы производства (рис. 6).



Рис. 6. Экономическая система

В социально-экономическом аспекте входом экономической системы являются определенные производственные отношения людей в обществе, выходом – воспроизведенные и развитые системой производственные отношения.

Экономическая система может рассматриваться и как сложная информационная система, преобразующая информацию (опыт, знания людей) в новую информацию, новое знание. Экономической системой может быть назван любой экономический объект (отдельное подразделение, фирма, предприятие, регион и т.д.).

В экономической системе, как в любой системе, выделяют структуру и функции.

Структура системы – организация связей и отношений между элементами системы, а также собственно состав этих подсистем и элементов, каждому из которых соответствуют определенные функции.

Экономические системы, как правило, имеют иерархическую структуру, обладающую следующими свойствами:

- каждый уровень иерархии имеет свой собственный язык, свою систему концепций или принципов, например, понятия «структура общеэкономического баланса», «внешнеэкономическая деятельность» не используются на уровне производственного участка;
- на каждом уровне иерархии происходит обобщение свойств объектов более низкого уровня;
- взаимосвязи между уровнями несимметричны; для нормального функционирования объектов высшего уровня необходимо, чтобы успешно работали объекты более низкого уровня, но не наоборот.

В отличие от структуры системы, которая характеризует внутреннюю организацию, закон связи элементов систем, функции системы отражают ее связь с внешней средой.

Структура и функции – взаимосвязанные, взаимно дополняющие друг друга свойства системы; причем *структура* характеризует постоянство системы, а *функции* – ее изменчивость, приспособляемость к внешней среде.

Функции первыми реагируют на различные изменения среды, изменяясь сами и постепенно изменяя структуру системы в той степени, в какой это необходимо для эффективного выполнения функций.

При моделировании экономических явлений и процессов необходимо учитывать следующие свойства сложных систем:

- эмерджентность – целостность системы, т.е. наличие таких свойств, которые не присущи ни одному из элементов, рассматриваемых отдельно, вне системы. Поэтому социально-экономические системы необходимо исследовать и моделировать в целом;
- массовый характер экономических явлений, процессов. В экономике многие процессы характеризуются закономерностями, которые не обнаруживаются на основании лишь одного или нескольких наблюдений. Поэтому моделирование в экономике должно опираться на массовые наблюдения;
- динамичность экономических явлений и процессов, заключающаяся в изменении параметров и структуры экономических систем под влиянием среды (внешних факторов). Вследствие этого экономические процессы приходится постоянно держать под наблюдением, необходимо иметь устойчивый поток новых данных. Поскольку наблюдения за экономическими процессами, обработка эмпирических данных обычно занимают довольно много времени, то при построении

математических моделей экономики требуется корректировать исходную информацию с учетом ее запаздывания;

– случайность и неопределенность в развитии экономических явлений. Поэтому экономические явления и процессы носят в основном вероятностный характер, и для их изучения необходимо применение экономико-математических моделей на базе теории вероятностей и математической статистики. При этом различают два типа неопределенности: «истинную», обусловленную свойствами экономических процессов, и «информационную», связанную с неполнотой и неточностью имеющейся информации об этих процессах. Истинную неопределенность нельзя смешивать с объективным существованием различных вариантов экономического развития и возможностью сознательного выбора среди них эффективных вариантов.

2.6. Компьютерные технологии в математическом моделировании

В современных условиях, когда информационные и коммуникационные технологии проникли во все сферы человеческой деятельности, компьютер является незаменимым помощником в математическом моделировании.

В настоящее время уже нет острой необходимости составлять на каком-либо языке программирования свои программы для решения той или иной прикладной задачи. На мировом рынке программного обеспечения присутствует огромное количество готовых программных средств (ПС), предназначенных для автоматизации математических расчетов и проведения математического моделирования. Среди них можно выделить следующие группы ПС:

- табличные процессоры (Excel);
- программы для специальных расчетов (специализированные ПС для проведения математических расчетов определенного вида, например DiffEg, DynamicSolver – для решения дифференциальных уравнений и их систем; TK Solver – для решения нелинейных уравнений; LP88 – для решения задач линейного программирования и др.);
- статистические и эконометрические пакеты (STATGRAPHICS, STADIA, SPSS, S-PLUS, Econometricviews и др.);
- системы построения графиков функций (Axum, Grapher, MathPlot, SigmaPlot, Surfer и др.);
- универсальные математические системы (MathCAD, Maple, Mathematica, MatLAB и др.).

Очевидно, что выбор ПС (или набора ПС) для решения конкретной математической задачи зависит от ряда факторов, прежде всего от имеющегося типа вычислительной техники; следующим по важности фактором является набор возможностей, реализованных в ПС. Если же перед потенциальным пользователем находится ряд программных средств с одинаковым функциональным наполнением и ориентированных на нужный тип ПК, то выбор ПС осуществляется, как правило, в зависимости от качества пользовательского интерфейса и цены.

Выделим следующие критерии отбора компьютерных программ для решения учебных прикладных задач:

- технические требования к компьютеру, предъявляемые ПС;
- функциональное наполнение ПС;
- пользовательский интерфейс;
- возможность использования в будущей профессиональной деятельности.

По мере развития компьютерных технологий первый критерий отбора ПС теряет свою актуальность. При желании можно подобрать версию требуемого программного средства, ориентированную на имеющийся тип ПК. Однако полностью этот критерий игнорировать нельзя.

Табличные процессоры (ТП) позволяют решать финансовые, экономические, математические и статистические задачи.

Первую электронную таблицу VisiCalc изобрели в 1979 г. Дэн Бриклин (DanBricklin) и Боб Фрэнкстон (BobFrankston). В 1982 г. Мич Кейпор (MitchKapoor) и Джонатан Сачс (JonathanSachs) разработали Lotus1-2-3.

В 1987 г. фирма Microsoft выпустила программу Excel. В настоящее время этот табличный процессор является наиболее распространенным и входит наряду с другими программами в пакет MicrosoftOffice.

В состав табличного процессора Excel входит более 800 математических функций и функций для проведения финансово-экономических расчетов. В Excel можно строить различные диаграммы и графики (как на плоскости, так и в трехмерном пространстве). Excel позволяет быстро и точно решать линейные оптимизационные задачи, а также задачи целочисленного, нелинейного и стохастического программирования.

Говоря о табличных процессорах, отметим, что они ориентированы на решение разнообразных задач, но в большей степени – на решение задач, данные которых могут быть представлены в табличной форме. Если такое представление данных не является естественным в решении поставленной задачи, то следует воспользоваться другим, наиболее подходящим ПС.

Универсальные математические системы охватывают широкий спектр научных, инженерных и экономических приложений. Наиболее известными являются Derive, MathCAD, Maple, Mathematica, matLAB. Их отличительными чертами являются следующие:

- наличие средств для проведения численных расчетов;
- возможность символьных (аналитических) вычислений практически по всем разделам математики;
- возможность построения разнообразных графиков;
- наличие средств для создания научно-технических документов;
- возможность интеграции с другими ПС.

Указанные системы выполнены на высоком профессиональном уровне, удовлетворяют таким важнейшим качествам программ, как надежность и эффективность. Разработчиками ПС являются крупнейшие, признанные во всем мире корпорации по производству программного обеспечения.

Derive названа В. П. Дьяконовым «жемчужиной символьной математики». Ее уникальность заключается в том, что, занимая немного места на диске, она по надежности и скорости вычисления обходит многие другие математические системы. Сведения о программе можно найти в сети Internet на сайте www.derive.com.

Система MathCAD (от *Mathematical Computer Aided Design* – математическое автоматизированное проектирование; фирма-разработчик – MathSoft) предназначена для решения различных вычислительных задач, в том числе и экономических. Основное отличие MathCAD от других математических пакетов заключается в том, что математические выражения на экране компьютера представлены в общепринятом виде, т.е. так же, как записаны в книге, тетради, на доске. Система содержит более 20 встроенных функций.

Mathematica (фирма-разработчик – Wolfram Research Ltd.) и Maple (фирма-разработчик – Waterloo Maple Software) – более мощные математические системы. Первая версия Mathematica появилась в 1988 году и заняла лидирующее положение. Maple насчитывает около 3 000 встроенных функций, используется в образовательном процессе в 300 самых крупных университетах мира.

MatLAB (фирма-разработчик – MathWorks) – язык технического программирования сверхвысокого уровня. Название пакета MatLAB (matrix Laboratory – «матричная лаборатория») говорит об ориентации на матричные и векторные вычисления. Однако последние версии MatLAB называют элитарными математическими системами, т.к. они позволяют решать научно-технические задачи с применением алгебраических методов. MatLAB применяют практически во всех научных центрах и университетах мира.

Функциональное наполнение систем компьютерной математики охватывает не только весь стандартный курс высшей математики, но и специальные разделы, что делает их незаменимыми помощниками в научных, инженерных, экономических исследованиях и расчетах.

Статистические и эконометрические пакеты

Рынок статистических и эконометрических пакетов динамично развивается. Появляются как абсолютно новые ПС, так и усовершенствованные версии существующих пакетов. Обзоры ПС периодически публикуются в компьютерных журналах («Мир ПК», «PC Magazine» и др.), в сети Internet на сайтах компаний-производителей и сайтах, посвященных статистическим пакетам, например, <http://isl.cemi.rssi.ru>. Исходя из функционального наполнения, статистические программные средства можно разделить на универсальные и специализированные.

Универсальные статистические пакеты, или статистические пакеты общего назначения, характеризуются тем, что содержат широкий диапазон статистических методов и не ориентированы на специфическую предметную область. К таким пакетам относятся STAGRAPHS, STADIA, SPSS, S-PLUS и др.

Универсальные статистические пакеты являются наиболее распространенными на рынке ПС. Их отличительные особенности:

- содержат достаточно полный набор стандартных статистических методов;
- имеют модульную структуру, что удобно в работе и существенно экономит средства пользователей;

- имеют широкие графические возможности;
- имеют удобный пользовательский интерфейс (Windows-интерфейс последних версий пакетов унифицирует взаимодействие пользователя с аналитическими, графическими и системными процедурами);
- имеют средства обмена данными, включающие буфер обмена данными (clipboard), динамический обмен данными (DDE), механизм связи и внедрения объектов (OLE), что существенно помогает при решении сложных задач, требующих использования нескольких программ;
- включают подробную справочную систему.

Специализированные статистические пакеты характеризуются тем, что содержат методы из отдельных разделов статистики или методы, используемые в конкретной предметной области.

Наиболее распространены пакеты для анализа временных рядов, регрессионного и факторного анализа, кластерного анализа, многомерного анализа. Это такие ПС, как Forecast Expert, DataFit Nonlinear Regression и многие другие. К этому классу ПС можно отнести и эконометрические (регрессионные) пакеты (Stata, Econometric Views и др.).

В экономико-математическом моделировании широко используются методы, преобразующие табличные значения к аналитическому виду с помощью интерполяции, аппроксимации и экстраполяции. Их относят к приближенным методам, поскольку, в решении практических задач, как правило, не удается получить точного решения (точной формулы, совпадающей в «узловых» точках с табличными данными).

Рассмотрим каждый из них, и более подробно остановимся на аппроксимации.

Интерполяция – приближенное или точное нахождение некоторой величины по известным отдельным значениям этой же или другой величины, с ней связанной. Так, через любые $n+1$ точки можно провести линию, описываемую полиномом n -й степени и проходящую через все заданные точки.

Задача интерполяции сводится к требованию точного совпадения в узловых точках функции и ее приближения, где число определяемых параметров аппроксимирующей зависимости равно числу точек. При выборе данного критерия задача сводится к построению интерполяционных многочленов (полиномов).

Интерполяцию определяют как отыскание промежуточных значений величины по некоторым известным ее значениям. Слово «интерполяция» происходит от латинского *interpolation*, что в переводе означает «изменение, переделка».

Графически задача интерполяции заключается в том, чтобы построить такую интерполирующую функцию, которая бы проходила через все узлы интерполяции. Чаще всего в качестве интерполирующей функции $F(x)$ используются многочлены $P_n(x)$. Задача состоит в том, чтобы подобрать многочлен $P_n(x)$, обеспечивающий требуемую интерполяцию ϵ . Наиболее успешно для интерполяции используется полином Ньютона, для записи которого в случае интерполяции функции равноотстоящими узлами используются конечные разности.

Термин «полином» имеет то же значение, что и слово «многочлен» и происходит от «поли...» – часть сложных слов, указывающая на множество, всесторонний охват или разнообразный состав чего-либо (от греч. *polys* – многий, многочисленный, обширный и лат. *polen*, т. е. имя).

Простейшим и часто используемым видом *интерполяции* является *линейная интерполяция*. Она состоит в том, что заданные точки $M(x_i, y_i)$ ($i = 0, 1, \dots, n$) соединяются прямолинейными отрезками, и функция $f(x)$ приближается к ломаной с вершинами в данных точках (рис. 7).

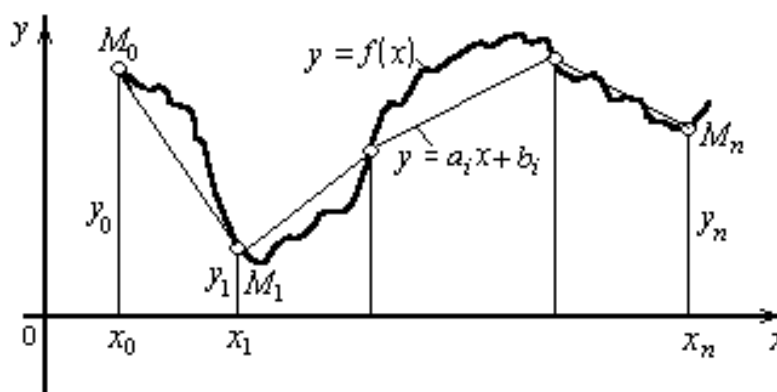


Рис. 7. Линейная интерполяция

Экстраполяция (от «экстра...» и лат. *polio* – приглаживаю, изменяю) – это процедура, аналогичная интерполяции, но при условии, что x лежит вне интервала (x_0, x_n) .

Методы экстраполяции во многих случаях сходны с методами интерполяции. Наиболее распространенным методом экстраполяции является параболическая экстраполяция, для которой используют интерполяционные формулы.

В прогнозировании экстраполяция (экстраполирование) применяется при изучении временных рядов и представляет собой нахождение значений функции за пределами области ее определения с использованием информации о поведении данной функции в некоторых точках, принадлежащих области ее определения.

Временной ряд представляет собой совокупность последовательных измерений показателя (объем валовой продукции, объем валовых инвестиций, численность занятых в экономике и др.), произведенных через одинаковые интервалы времени. Анализ временных рядов позволяет решать следующие задачи:

- исследовать структуру временного ряда, включающую, как правило, тренд – закономерные изменения среднего уровня, а также случайные периодические колебания;
- исследовать причинно-следственные взаимосвязи между процессами, проявляющиеся в виде корреляционных связей между временными рядами;
- построить математическую модель процесса, представленного временным рядом;
- преобразовать временной ряд средствами сглаживания и фильтрации.

Различают перспективную и ретроспективную экстраполяцию. **Перспективная экстраполяция** предполагает продолжение уровней ряда динамики на будущее на основе выявленной закономерности изменения уровней в изучаемом отрезке времени.

Ретроспективная экстраполяция характеризуется продолжением уровней ряда динамики в прошлое.

При экстраполяции предполагается, что:

- текущий период изменения показателей может быть охарактеризован траекторией – трендом;
- основные условия, определяющие технико-экономические показатели в текущем периоде, не претерпят существенных изменений в будущем, т. е. в будущем они будут изменяться по тем же законам, что и в прошлом, и в настоящем;
- отклонения фактических значений показателей от линии тренда носят случайный характер и распределяются по нормальному закону.

Аппроксимация(от лат. *approximate*– приближаться) – приближенное выражение каких-либо математических объектов (например, чисел или функций) через другие более простые, более удобные в пользовании или просто более известные. В научных исследованиях аппроксимация применяется для описания, анализа, обобщения и дальнейшего использования эмпирических результатов.

Как известно, между величинами может существовать точная (функциональная) связь, когда одному значению аргумента соответствует одно определенное значение функции, и менее точная (корреляционная) связь, когда одному конкретному значению аргумента соответствует приближенное значение или некоторое множество значений функции, в той или иной степени близких друг к другу. При ведении научных исследований, обработке результатов наблюдения или эксперимента обычно приходится сталкиваться со вторым вариантом. При изучении количественных зависимостей различных показателей, значения которых определяются эмпирически, как правило, имеется некоторая их вариабельность. Для этого применяется аппроксимация – приближенное описание корреляционной зависимости переменных подходящим уравнением функциональной зависимости, передающим основную тенденцию зависимости (или ее «тренд»).

При выборе аппроксимации следует исходить из конкретной задачи исследования. Обычно, чем более простое уравнение используется для аппроксимации, тем более приблизительно получаемое описание зависимости. Поэтому важно учитывать, насколько существенны и чем обусловлены отклонения конкретных значений от получаемого тренда. При описании зависимости эмпирически определенных значений можно добиться и гораздо большей точности, используя какое-либо более сложное, многопараметрическое уравнение. Однако нет никакого смысла стремиться к передаче с максимальной точностью случайных отклонений величин в конкретных рядах эмпирических данных. Гораздо важнее уловить общую закономерность, которая в данном случае наиболее логично и с приемлемой точностью выражается именно двухпараметрическим уравнением степенной функции. Таким образом, выбирая метод аппроксимации, исследователь всегда идет на компромисс: решает, в какой степени в данном случае целесообразно и уместно «пожертвовать» деталями и, соответственно, насколько обобщенно следует выразить зависимость сопоставляемых переменных. Наряду с выявлением закономерностей, замаскированных случайными отклонениями эмпирических данных от общей закономерности, аппроксимация позволяет также решать много других важных задач: формализовать

найденную зависимость; найти неизвестные значения зависимой переменной путем интерполяции или, если это допустимо, экстраполяции.

Анализ экономических зависимостей

В практике экономических исследований не всегда удастся воспользоваться аналитическими зависимостями для анализа данных. Как правило, экономические данные представляются в табличном виде. Поэтому одной из наиболее распространенных задач является задача аналитического описания экспериментальных зависимостей, при решении которой используются процедуры оптимизации.

Аппроксимация экспериментальных данных

Аппроксимация – это подбор аналитической формулы $y=f(x)$ для установленной из опыта функциональной зависимости $y=\varphi(x)$.

Аппроксимируемая функция уможет зависеть от одной или от нескольких переменных. Рассмотрим эти зависимости.

Одна независимая переменная. В простейшем случае задача аппроксимации для функции одной переменной выглядит следующим образом.

Пусть имеются данные, полученные в ходе эксперимента или наблюдений, которые можно представить в виде таблицы значений (x, y) (табл. 1).

Таблица 1

Данные эксперимента

x	x_1	x_2	...	x_n
y	y_1	y_2	...	y_n

На основе этих данных требуется подобрать такую функцию $y=f(x)$, которая с точки зрения некоторого критерия оптимальности наилучшим образом описывала бы экспериментальную зависимость.

Обычно задача аппроксимации распадается на две части. Сначала устанавливают вид зависимости $y=f(x)$ и, соответственно, вид эмпирической формулы, т. е. решают, является ли она линейной, квадратичной, логарифмической или какой-либо другой. После этого определяются численные значения неизвестных параметров выбранной эмпирической формулы, для которых приближение к заданной функции оказывается наилучшим.

Для сглаживания экспериментальных зависимостей $y_i=\varphi(x_i)$, заданных таблично, в MSExcel используются различные функции $y=f(x)$:

- линейная;
- полиномиальная;
- логарифмическая;
- степенная;
- экспоненциальная.

Параметры аппроксимирующей функции подбираются так, чтобы выполнялось условие минимума среднеквадратичных отклонений (критерий оптимальности):

$$Z = \sum_{i=1}^n [f(x_i) - \varphi(x_i)]^2 \rightarrow \min,$$

где $y_i = \varphi(x_i)$ – экспериментальные точки ($i = 1 \dots n$).

Степень точности аппроксимации экспериментальных данных в MSExcel оценивается коэффициентом детерминации (R^2). Чем ближе этот коэффициент к значению 1, тем точнее приближение.