

## **Методы компьютерного моделирования в экономике**

**Садыков А. Ш., Халяпов Р.М.**

Научный руководитель: Р.Ш. Мисбахов, доцент кафедры Естественных наук и информационных технологий

Альметьевский филиал Казанского национального исследовательского  
технического университета  
им. А.Н. Туполева-КАИ

**Аннотация.** В статье рассматривается роль компьютерного моделирования в экономике, анализируется важность применения компьютерных технологий, описываются модели и факторы компьютерного моделирования. Статья акцентирует внимание на трёх основных методах компьютерного моделирования: математическом, имитационном и агент-ориентированном. Эти методы позволяют изучать сложные экономические системы, прогнозировать их поведение и разрабатывать оптимальные стратегии развития.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, неструктурированные модели, компьютерное моделирование; стохастическое моделирование; системный анализ; мультисекторное моделирование; моделирование поведения потребителей и производителей.

**Sadykov A. Sh., Khalyapov R.M.**

Supervisor: R.S. Misbakhov, docent of the Department of Natural Sciences and Information Technology

Almetyevsk branch of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI

**Annotation.** The article examines the role of computer modeling in economics, analyzes the importance of using computer technologies, describes models and factors of computer modeling. The article focuses on three main methods of computer modeling: mathematical, simulation and agent-oriented. These methods make it possible to study complex economic systems, predict their behavior and develop optimal development strategies.

**Keywords:** mathematical modeling, unstructured models, computer modeling; stochastic modeling; system analysis; multisectoral modeling; modeling of consumer and producer behavior.

### **Введение**

Компьютерное моделирование является одним из наиболее важных инструментов для анализа экономических процессов и принятия решений в современном мире. В данной статье мы рассмотрим методы компьютерного моделирования, применяемые в экономике, их преимущества и недостатки.

### **Математическое моделирование**

Один из самых распространенных методов компьютерного моделирования в экономике – это математическое моделирование. Этот метод основан на использовании математических формул и уравнений для описания экономических процессов и явлений. Математические модели могут быть линейными и нелинейными, статическими и динамическими, дискретными и непрерывными.

Линейная модель предполагает, что изменение одной переменной приводит к пропорциональному изменению другой переменной. Это означает, что если мы увеличим значение одной переменной, то значение другой переменной изменится на определенный процент. Линейные модели часто используются в статистике и эконометрике для прогнозирования будущих значений переменных на основе прошлых данных.

Нелинейная модель, напротив, предполагает, что изменение одной переменной может привести к нелинейному изменению другой переменной. Это означает, что если мы увеличим значение одной переменной, то значение другой переменной может измениться не пропорционально, а экспоненциально или степенным образом.

Статические математические модели – это модели, характеристики которых не изменяются во времени. Они используются для описания объектов и процессов, состояние которых не зависит от времени. Примеры статических моделей: регрессионные модели, кластерный анализ.

Динамические математические модели – это модели с переменными во времени характеристиками. Они описывают объекты и процессы, состояние которых изменяется со временем. Динамические модели используются для анализа и прогнозирования поведения систем в изменяющихся условиях. Примеры динамических моделей: системы дифференциальных уравнений, разностные уравнения, системы обыкновенных алгебраических уравнений.

Дискретные математические модели используют дискретные значения переменных, то есть переменные могут принимать только определенные фиксированные значения. Примерами таких моделей являются логические схемы, комбинаторные задачи, теории графов и другие области, где переменные могут принимать только определенные значения.

Непрерывные математические модели, наоборот, используют непрерывные значения переменных, то есть переменные могут принимать любые значения в определенном диапазоне. Примерами таких моделей являются дифференциальные уравнения, интегральные уравнения, математическая физика и другие области, где переменные могут изменяться плавно и непрерывно.

Примеры математических моделей в экономике:

1. Модель мультипликатора-акселератора – это экономическая модель, которая объясняет взаимосвязь между автономными инвестициями, ростом дохода и дальнейшими инвестициями. Она состоит из двух основных компонентов: мультипликатора и акселератора.

Мультипликатор –

это коэффициент, который показывает, насколько увеличится доход при изменении автономных инвестиций. Он определяется по формуле (1).

$$I = M \times \Delta Y, \quad (1)$$

где:  $I$  — новые инвестиции,  
 $M$  — мультипликатор,  
 $\Delta Y$  — изменение дохода.

Акселератор — это коэффициент, который показывает, насколько ускорится рост инвестиций при увеличении дохода. Он определяется по формуле (2).

$$A = \alpha * (Y_t - Y_{t-1}), \quad (2)$$

где:  $A$  — акселератор,  
 $\alpha$  — коэффициент акселерации,  
 $Y_t$  — текущий доход,  
 $Y_{t-1}$  — предыдущий доход.

Таким образом, модель мультипликатора-акселератора объясняет, как автономные инвестиции влияют на доход и дальнейшие инвестиции через мультипликационный и акселеративный эффекты.

2. Модель Леонтьева — это математическая модель многоотраслевой экономики, созданная американским экономистом Василием Леонтьевым в 1936 году. Она позволяет анализировать таблицы межотраслевого баланса и отвечает на вопрос, какой объём продукции должна производить каждая отрасль, чтобы удовлетворить потребности всех отраслей.

Балансовый анализ преследует цель увеличения эффективности ведения многоотраслевого хозяйства. Уравнение соотношения баланса имеет вид (3).

$$x_i = x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{in} + y_i, \quad (3)$$

где:  $i=1,2,\dots,n$ .

Леонтьев заметил, что отношение  $x_{ij}/x_j$  мало меняется из-за неизменности технологии производства. Это отношение называется коэффициентом прямых затрат и обозначается  $a_{ij}$ .

Тогда уравнение можно записать в виде системы уравнений для конечного количества отраслей:

$$X = AX + Y, \quad (4)$$

$$Y = (E - A)X, \quad (5)$$

$$X = (E - A)^{-1} Y, \quad (6)$$

$$Y = SY, \quad (7)$$

где:  $S$  — матрица полных затрат

$s_{ij}$  — объём валового выпуска  $i$ -ой отрасли, необходимый для производства единицы конечного продукта  $j$ -й отрасли.

3. Модель Эрроу-Дебрё (модель Эрроу-Дебрё-Маккензи) – это формализованная статическая экономическая модель общего равновесия в условиях совершенной конкуренции. В ней присутствуют индивиды-потребители, которые могут свободно обмениваться экономическими благами, и фирмы-производители этих благ. Доходы фирм распределяются между индивидами, и каждый индивид владеет определённой долей дохода фирм.

В модели Эрроу-Дебрё предполагается наличие следующих элементов:

1.  $n$  фирм, выпускающих  $q$  видов продукции.
2. Технологические множества каждой фирмы, предполагаемые замкнутыми и ограниченными.
3. Функции полезности потребителей, имеющие все частные производные и строго выпуклые множества векторов потребления.
4. Доходы потребителей, состоящие из стоимости начальных запасов и доходов от фирм.
5. Закон Вальраса, согласно которому при неотрицательном векторе цен должно выполняться равенство (8).

$$pF(p) = 0, \quad (8)$$

Теорема Эрроу-Дебрё утверждает, что при описанных предположениях в модели всегда существует экономическое равновесие (неотрицательный вектор цен, удовлетворяющий условиям равновесия). Доказательство теоремы основано на теореме Какутани о неподвижной точке многозначного отображения.

Преимуществом математического моделирования является его точность и возможность получения количественных результатов. Однако этот метод требует высокой квалификации специалистов и может быть сложным для понимания непрофессионалами.

### **Имитационное моделирование**

Имитационное моделирование (симуляционное моделирование) – это метод компьютерного моделирования, позволяющий исследовать поведение экономических систем путём воспроизведения их функционирования на компьютере. Имитационные модели основаны на использовании алгоритмов и программ, которые имитируют поведение реальных экономических агентов (фирм, потребителей, инвесторов и т. д.).

Примеры имитационных моделей в экономике:

Модель фон Неймана – это концепция построения компьютеров, предложенная учёным Джоном фон Нейманом в середине XX века. Ключевые особенности этой архитектуры включают:

1. Единое хранилище данных и инструкций: программы и данные хранятся в одной памяти, облегчая модификацию программ во время выполнения.
2. Процессор: состоит из арифметико-логического устройства (АЛУ) для выполнения математических и логических операций и управляющего устройства для контроля выполнения команд и взаимодействия с другими компонентами.

3. Последовательное выполнение команд: команды выполняются одна за другой в строгой последовательности, и в каждый момент времени компьютер работает только над одной командой.

4. Ввод-вывод: устройства ввода-вывода обеспечивают интерфейс между компьютером и внешним миром, включая клавиатуру, мышь, монитор, диски и другие устройства.

5. Адресуемая память: все данные и инструкции имеют уникальные адреса в памяти, что позволяет процессору быстро получать доступ к нужной информации. Модель Форрестера: описывает взаимодействие между различными отраслями экономики и влияние внешних факторов на экономический рост.

Модель Форрестера «Пределы роста» была разработана профессором Джейм Форрестером из Массачусетского технологического института в 1972 году. Эта модель рассматривает нарушение равновесия между растущим населением и конечными невозобновляемыми ресурсами. Модель использует динамический системный подход и анализирует взаимодействие пяти основных переменных: население, загрязнение окружающей среды, природные ресурсы, объём промышленного производства на душу населения и продовольствие на душу населения.

Основные допущения модели включают ограниченность невозобновляемых ресурсов, ограниченность пахотных земель для выращивания продуктов питания и конечность продуктивности пахотных земель. Также предполагается увеличение численности населения и существование загрязнения, связанного с промышленным производством.

С помощью собранных данных модель пытается спрогнозировать изменяющиеся тенденции и их последствия вплоть до 2100 года. Результаты моделирования показывают возможные сценарии развития событий при различных комбинациях основных факторов.

Имитационные модели позволяют проводить эксперименты и тестировать различные сценарии развития событий. Преимуществом имитационного моделирования является его гибкость и возможность учета большого количества факторов. Однако этот метод также требует высокой квалификации специалистов и может быть затратным по времени.

### **Агент-ориентированное моделирование**

Агент-ориентированное моделирование (АОМ) – это метод компьютерного моделирования, основанный на представлении экономических агентов (фирм, потребителей, инвесторов и т. д.) как автономных объектов, взаимодействующих друг с другом и с окружающей средой. АОМ позволяет исследовать сложные взаимодействия между агентами и их влияние на экономические процессы.

Примеры агент-ориентированных моделей в экономике:

Модель «Зарождение фирмы» предложена Ицхаком Адизесом и основана на жизненном цикле организации. Она включает 10 закономерных этапов от зарождения до смерти компании. Этапы разделены на две группы: рост организации (жёлтый цвет) и старение (коричневый цвет).

1. Зарождение: будущий руководитель должен иметь идею и собрать вокруг себя людей, готовых воплотить идею в жизнь.
2. Младенчество: компания создана, но нет чёткой структуры и распределения ролей, производительность низкая, возможны проблемы с разработкой продукта и продажами.
3. Высокая активность: продукт закрепляется на рынке, спрос растёт, компания успешно работает, но решения принимаются поспешно и без анализа.
4. Юность: формируются чёткая структура и профессиональные управленцы, возникает конфликт между «костяком» компании и новыми специалистами, фокус смещается с увеличения продаж к увеличению прибыли.
5. Расцвет: появилась относительно чёткая структура, разделены основные функции и обязанности, есть прозрачные системы поощрения и наказания сотрудников.

Последующие стадии относятся к старению организации: стабильность, аристократия, ранняя бюрократия, бюрократизация и смерть. Модель «Межрегиональная миграция»: исследует влияние миграции населения между регионами на экономический рост и развитие.

Модель межрегиональной миграции описывает перемещение населения из одного региона в другой с целью улучшения условий проживания и поиска работы. Эта модель включает три основных компонента:

1. Сущность и понятие миграции: миграция влияет на структуру населения, трудовой потенциал и состав населения.
2. Виды миграции: миграция делится на внешнюю (эмиграция и иммиграция) и внутреннюю (внутрирегиональная и межрегиональная).
3. Базовые показатели: для характеристики межрегиональной миграции используется миграционное сальдо — разница между количеством приехавших и уехавших граждан.

## **Заключение**

Методы компьютерного моделирования в экономике играют важную роль в современном экономическом анализе и управлении. Они позволяют изучать сложные экономические системы, прогнозировать их поведение и разрабатывать оптимальные стратегии развития. Математическое моделирование, имитационное моделирование и агент-ориентированное моделирование являются основными методами компьютерного моделирования в экономике.

## **Список литературы**

1. Компьютерное моделирование экономики. теория и практика [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompyuternoe-modelirovanie-ekonomiki-teoriya-i-praktika>
2. Кольцов, С.Н «Математические модели в экономике» 2014 г
3. НОУ ИНТУИТ | Экономическая теория. Лекция 30: Кейнсианская теория выхода из экономического кризиса [Электронный ресурс] URL: <https://intuit.ru/studies/courses/3639/881/lecture/31304?page=2>

4. МОДЕЛЬ ЛЕОНТЬЕВА МНОГООТРАСЛЕВОЙ ЭКОНОМИКИ -  
Международный студенческий научный вестник (сетевое издание) [Электронный  
ресурс] URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=15013>