

## 1.2. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

*Имакаева Дария Амангельдиевна, аспирант кафедры «Математического моделирования в космических системах»*

*Место учебы: РУДН*

*dariya-im@yandex.ru*

*Аннотация: в данной статье раскрываются возможности применения имитационной модели для анализа экономических систем. Данный вид моделирования преследует различные цели, среди которых могут быть: установление свойств и характеристик изучаемых объектов, а также практическое применение полученных данных в решении задач прикладного характера. Имитационное моделирование получило значительный импульс развития в последние десятилетия в связи с развитием вычислительной техники. Имитационное моделирование представляет собой описание динамики поведения изучаемой системы. Особенностью имитационного моделирования является тот факт, что каждое ее машинное выполнение дает сведения, которые являются достоверными только при определенных исходных параметрах, которые были в нее внесены до начала выполнения. Другими словами, результаты выполнения процесса имитации будут зависеть от конкретных значений множества параметров.*

*Задача. Основной задачей, которая стояла в данном исследовании являлась изучение использования имитационных моделей в экономических процессах.*

*Результаты, полученные при выполнении имитационных исследований способны обеспечить данными, которые помогут принять правильное решение при различных сценариях развития ситуации.*

*В то же время имитационное моделирование имеет ряд недостатков, среди которых трудность восприятия по причине математической сложности, трудность разработки и некоторая неточность получаемых результатов.*

*Модель. Для экономического анализа важным является установление причинно-следственных связей, установление особенностей взаимного влияния параметров друг на друга. Вид имитационного моделирования «системная динамика» как раз и позволяет установить природу и сущность процессов, происходящих в изучаемой системе.*

*Выводы. Данный метод анализа широко применяется в различных отраслях экономики, в том числе и в управлении человеческими ресурсами предприятий. Например, позволяет прогнозировать динамику изменения производительности труда или оценить будущую потребность в квалифицированных специалистах.*

*Ключевые слова: имитационное моделирование, ковариация, корреляция, верификация модели, валидация, определение степени адекватности.*

## SIMULATION MODELING IN ECONOMIC OPTIMIZATION

*Imakaeva Dariya A., PhD student of the Mathematical modeling in cosmic systems Chair*

*Study place: PFUR (RUDN University)*

*dariya-im@yandex.ru*

*Annotation: the present article reveals the possibilities of applying simulation modeling in the economic systems analysis. This type of modelling aims at establishing the features and characteristics of different objects, as well as the practical use of the findings obtained in solving applied tasks. The simulation modeling received an important impetus to its further development in the last decades due to computer science progress. The simulation modeling represents a description of behaviour dynamics of the system explored. The main feature of simulation modeling is the fact that every execution of the machine gives information that is valid only under certain entry parameters given before the execution. In other words, the results of the simulation process execution will depend on the specific values of a series of parameters.*

*Task. The main task of this study was exploring the use of simulation models in economic processes.*

*The results obtained during the imitation studies are able to provide data that will help to make the right decision under different scenarios of the situation development. At the same time, simulation modeling has a number of shortcomings, among which the difficulty of perception due to mathematical complexity, the difficulty of development and some inaccuracy of the results obtained.*

*Model. In economic analysis it is important to establish cause-effect relationships, as well as the characteristics of the mutual influence of the parameters on each other. The type of simulation modeling such as «system dynamics» allows us to establish the nature and essence of the processes occurring in the system explored.*

*Conclusions. This method of analysis is widely used in various sectors of the economy, including the management of human resources of enterprises. For example, it allows to predict the dynamics of changes in labor productivity or to assess the future need for qualified specialists.*

*Keywords: simulation modeling, covariance, correlation, model verification, validation, determination of the degree of adequacy.*

В процессе любой своей деятельности человек постоянно сталкивается с необходимостью принимать те или иные решения и жить их последствиями. Очень часто масштаб последствий принятия ошибочных решений может быть настолько большим, что может привести к катастрофическим последствиям для целой страны. При принятии решений человек полагается на определенные данные, которые могут носить как объективный, так и сугубо субъективный характер. Примером объективных данных могут, например, уровень текущих цен на нефть или иностранную валюту, состояние финансовых резервов. Субъективные данные зачастую связаны с жизненным опытом конкретного человека, его окружения. Переплетаясь, объективные и субъективные данные в целом формируют у человека представление о ситуации и оказывают непосредственное влияние на принятие им тех или иных решений [7].

По мере совершенствования человеческой цивилизации принимать правильные решения, от которых зависели жизни, и благосостояние целых народов оказывалось все сложнее. Постепенно возникла необходимость создания инструментов, позволяющих адекватно проанализировать складывающуюся ситуацию, например, в экономике и на основе имеющихся данных принимать решения, которые вполне могли быть судьбоносными. Одним из таких инструментов является метод имитационного моделирования, который в настоящее время все более часто находит применение для анализа сложных экономических систем. В общем случае под имитационным моделированием понимается проведение экспериментов с применением, каких либо моделей объектов, в которых взаимодействие между отдельными элементами описано с помощью математических формул.

По сравнению с другими методами исследований имитационное моделирование обладает рядом преимуществ. Во-первых, для изучения системы с применением данного метода нет необходимости использовать саму систему – достаточно создать математическую модель, которая будет имитировать данную систему. Также важным является возможность вычлени из изучаемой системы определенную часть и понять особенности ее взаимодействия с другими компонентами системы. Учитывая данный факт именно имитационное моделирование очень хорошо подходит для изучения экономических процессов как внутри организации, так и на макроуровне [6].

Очень часто недостаток сведений о каком-либо процессе или явлении является сдерживающим фактором для принятия решений. При этом получение недостающих данных невозможно или в значительной степени затруднено. В таких ситуациях логично применять имитационное моделирование с составлением прогнозов развития ситуации. При этом фактические показатели заменяются на данные, собранные в результате моделирования.

Проведение имитационного анализа обычно осуществляется в несколько этапов, основными из которых являются:

- выявление зависимости между входными и выходными значениями, выраженными в виде математических формул;
- компьютерная визуализация ключевых параметров исследуемой модели;
- вычисление основных характеристик для получения данных;
- осмысление полученных в результате моделирования данных и принятие решений.

В зависимости от конкретной ситуации, для придания полученным в результате имитационного моделирования данным

необходимой однозначности прибегают к статистической обработке данных.

Имитационное моделирование в экономике полезно также и тем, что оно позволяет минимизировать затраты на сбор необходимых для принятия решений данных. Основная же цель имитационного моделирования – определить возможные варианты поведения исследуемой системы [8].

Среди многообразия подходов к решению задач имитационного моделирования можно выделить три основных. Первый – агентное моделирование – чаще всего применяется для изучения систем с выраженной децентрализацией, под которой понимается такой тип функционирования, который не связан с какими-либо жесткими правилами. Наоборот – правила представляют собой продукт активности изучаемой системы. В данном случае задача имитационного моделирования сводится к исследованию правил и принципов, по которым осуществляется функционирование данной системы. При этом математически описывается поведение отдельных компонентов данной системы. Такие отдельные компоненты и получили название агентов.

Другой метод имитационного моделирования основан на анализе лишь только ключевых элементов изучаемой системы. Здесь не придается значения каким-либо отдельным компонентам. Такой метод получил название дискретно-событийный и широко используется в различных отраслях экономики.

Для определения взаимосвязи между двумя множествами данных в имитационном анализе широко применяется ковариация и корреляция, рассчитываемая по формуле:

$$Cov(X, Y) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (X_i - M(X))(Y_i - M(Y)),$$

где X и Y являются множествами случайных величин, а величина m характеризует размерность этих величин. M(X) и M(Y) рассматриваются, как математические ожидания величин X и Y соответственно.

Положительная ковариация будет иметь место лишь в том случае, если большим значениям X будут соответствовать большие значения Y. Данный факт будет сигнализировать о тесной зависимости между величинами. Напротив, отрицательная ковариация имеет место быть тогда, когда малым значениям X соответствуют большие значения Y. При этом зависимость будет слабой, а показатель ковариации будет стремиться к нулю.

Значения ковариации находятся в зависимости от единиц измерения величин, подвергающихся изучению, что в определенных условиях является фактором, ограничивающим использование данного метода на практике. В этом случае прибегают к введению в расчёты коэффициента корреляции. Следует учитывать, что коэффициент корреляции обладает такими же свойствами, что и ковариация, однако в тоже время он является величиной безразмерной, а его значения могут находиться в диапазоне от -1 (в случае обратной линейной взаимосвязи) до +1 (в случае если взаимосвязь прямая линейная). Если же изучаемые величины независимы друг от друга, значение корреляции стремится 0.

В настоящее время, в связи с широким распространением вычислительной техники для расчета корреляции и ковариации имеет смысл использовать специальные компьютерные программы, в частности Microsoft Excel. Данный программный продукт обладает всеми необходимыми функциями для вычисления вышеназванных показателей.

Общеизвестным является факт, что моделирование представляет собой создание математической модели изучаемой системы и требует наличие сведений о задачах ее функционирования, возможных ограничений, которые сужают область допустимых значений применяемых переменных. Анализ подобной модели дает возможность выявить путь наиболее оптимального воздействия на управляемый объект при выполнении каких-либо определенных условий.

Большое количество различных переменных и ограничений значительно усложняет процесс имитационного моделирования, поэтому всегда нужно стремиться к вычленению из системы только наиболее ключевых параметров и сфокусировать внимание именно на них. Таким образом, для успешного проведения имитационного моделирования нужно уметь определять, прежде всего, приоритетные параметры и ограничения.

В основном имитационные модели должны воспроизводить поведение исследуемой системы в течение определенного промежутка времени за счет определения ряда событий и условий, распределение которых во времени позволяет получить необходимую информацию о системе. Такая информация, накапливающаяся в виде статистических данных, должна постоянно обновляться, во время возникновения определенных событий. Имитационные модели позволяют получить данные о работе сложных систем, для которых невозможно создать математическую модель. В то же время имитационное моделирование обладает рядом недостатков. Здесь, прежде всего, необходимо отметить необходимость проведения очень большого количества экспериментов, что, в свою очередь неизбежно ведет к возникновению ошибок.

Моделирование процессов в экономике необходимо для оптимизации некой определенной функции при учете некоторых ограничений. При этом само понятие «оптимизация» как правило, применяется для установления максимизации и минимизации данной исследуемой функции. Так, например, при выборе максимизации прибыли или минимизации производственных затрат, при использовании одинаковых ограничений не всегда возможно прийти к оптимальному решению. Здесь определяющим фактором может быть общая ситуация в экономике, в частности спад потребления, вызванный финансовым кризисом. Известно, что данный параметр не является контролируемым данной фирмой, а значит, применение его может исказить имитационную модель.

Принимая во внимание вышесказанное, получение оптимального решения при использовании математической модели может быть наиболее выгодным исключительно в рамках этой модели при соблюдении всех условий. Другими словами, полученное решение является наилучшим только в том случае, когда принятые критерии полностью достоверные и выбраны в соответствии с задачами организации.

Важно, что имитационное моделирование представляет собой экспериментальный метод исследования реально существующей системы по построенной модели с присущими ей определенными ограничениями. Для того чтобы лучше понять особенности имитационного моделирования, необходимо познакомиться с его структурой, в основе которой заключены четыре ключевых компонента:

- реально существующая система;
- логико-математическая модель имитируемой системы;
- машинная модель системы;
- компьютер, на котором производится расчет модели.

При осуществлении процесса имитационного моделирования необходимо учитывать правило, согласно которому построенная модель должна передавать логическую структуру и поведенческие особенности ее элементов. Также содержание изучаемой системы должно отображаться в самой имитационной модели. Таким образом, ее создание основано на описании содержания и функциональных особенностей данной системы [9].

При создании модели необходимо учитывать следующие моменты:

- на этапе создания модели важным пунктом является осуществление структурного анализа изучаемых процессов, а значит необходимо статически охарактеризовать моделируемую систему, в соответствии с ее содержанием.

- для создания функциональной модели необходимо также динамическое описание системы и взаимодействие ее элементов.

На этапе программной реализации процесса имитации необходимо сопоставить программные компоненты, а их состояние обозначить через переменные. Учтя, что между отдельными элементами модели всегда происходит обмен данными, важно создать соответствующий моделирующий алгоритм. Кроме этого, система существует во времени, а значит нужно обязательно учитывать временной фактор.

Возможность имитации взаимодействий между отдельными компонентами системы является характерной чертой имитационного моделирования. В связи с этим для создания информационно модели важно:

- рассматривать систему как совокупность отдельных взаимодействующих элементов;

- математически описать функционирование каждого отдельного элемента;

- создать механизм взаимодействия различных компонентов модели, как между собой, так и с внешней средой.

Выявление и математическое описание процессов, протекающих в системе, представляет собой важнейшую часть имитационного моделирования. Каждая определенная комбинация параметров моделируемой системы описывает их конкретное состояние, а значит, при изменении переменных возможна имитация перехода системы в другое состояние.

Вне зависимости от конкретного типа модели имитационное моделирование можно разбить на несколько стадий:

- формулировка задачи моделирования, установление первоочередных проблем исследования. На данном этапе составной частью процесса описания модели является формализация результатов изучения;

- выбор метода формализации объекта моделирования и определение метода вербального описания;

- придание объекту моделирования формального стиля и официализация имитационной модели;

- создание программного кода имитационной модели, его отладка;

- осуществление тестирования, верификации модели с целью ее комплексного тестирования, соответствие модели заданным параметрам;

- создание прогноза и осуществление имитационного эксперимента. При завершении данного этапа происходит получение плана эксперимента;

- проведение вариации итогов деятельности и выработка решений для применения результатов исследования на практике.

После создания программного кода модели тестирование является важным и ответственным шагом. В случае если данный этап будет пропущен, возможные ошибки могут привести к искажению, как отдельных элементов модели, так и ее в целом. Здесь следует помнить, что имитационные модели создаются, чтобы оценить точность, полезность и

корректность получаемых данных, которые помогают принимать правильные решения.

Отличительной особенностью имитационных моделей является высокий уровень информизма, под которым понимается степень сходства данной модели с исходным объектом. В корректно составленной модели сохранена связь и характер взаимодействия с отдельными компонентами.

Уровень детализации модели определяет степень ее сходства с реальной системой. Увеличение данного показателя является очень трудоемким и не всегда необходимым. Наоборот, многие имитационные модели используют упрощения, различные аналоги и абстракции реально существующих систем. Также при описании моделей всегда действует субъективный фактор, избежать которого зачастую не представляется возможным. Поэтому всегда следует определить границу сходства модели с реальной системой, не забывая, при этом удостовериться, что созданная модель отвечает требованиям функциональности, надежности и достоверности.

В настоящее время сложилась практика имитационного моделирования, при которой используются определенные подходы и концепции, позволяющие установить степень достоверности имитационной модели. Вообще проблема достоверности относят к «вечным» проблемам моделирования. Дело в том, что по сравнению с другими методами исследования имитационное моделирование не способно обеспечить проектировщиков соответствующими формальными средствами описания многих процессов.

Существует значительное количество работ, посвященных оценке достоверности имитационных моделей. Известны работы таких авторов как Вавилов А.В., Клейнен Дж., Бусленко Н.П. и др.

Значительный прогресс в повышении степени достоверности имитационных моделей произошел в середине 90-х годов XX века. В этот период американскими исследователями был выполнен ряд научных работ по созданию методологических схем. Осуществление достоверности было впервые рассмотрено как процесс, состоящий из многих этапов и итераций по повышению правдивости. Были выделены следующие основные категории оценки:

- верификация модели;
- валидация;
- определение степени адекватности.

Под термином «валидация» понимается проверка модели, при которой сравнивается заданное поведение с фактическим. Другими словами, валидация позволяет установить соответствие модели заданным требованиям. На этапе валидации проводятся ряд тестовых исследований созданной модели.

Верификация модели позволяет доказать возможность ее использования в виде компьютерного аналога логической (концептуальной) модели за счет высокой степени соответствия. Данная процедура проводится с целью установления уровня, при котором достигается сходство модели с реально существующей системой.

Как валидация, так и верификация позволяют контролировать внутреннюю структуру модели, соответствие модели тем гипотезам, которые были для нее приняты. Здесь подтверждается или опровергается точность данных, которые используются в модели, составляются прогнозы, являющиеся частью проблемного анализа. Под проблемным анализом понимаются выводы, которые были получены при эксперименте с имитационной моделью. Здесь первоначально

важным является чувствительность, устойчивость и точность результатов моделирования.

В моделировании экономических процессов, вычислительный эксперимент рассматривается как новый метод научного исследования. При этом подобный эксперимент представляет собой полноценное научное исследование, базирующееся на имитационной модели. Последнее позволяет получить сведения и сформулировать выводы, которые могут оказать влияние на последующие решения. При этом модель выполняет свое главное предназначение – обеспечение достоверными данными в меняющихся условиях.

Цели имитационного моделирования формулируются при предварительном анализе, который представляет собой часть научного эксперимента.

Данные, представленные выше, позволяют заключить, что задачи, ставящиеся при проведении имитационного исследования, состоят из следующих элементов:

- стратегического прогнозирования будущего исследования;
- подбор оптимального метода обработки данных, полученных в результате вычислительного эксперимента;
- создание алгоритма реализации эксперимента.

Планирование эксперимента имеет двойственный характер. Во-первых, предварительное прогнозирование позволяет выбрать конкретный способ получения необходимой информации для принятия дальнейших решений. Во-вторых, такое планирование дает возможность достичь целей исследования наиболее эффективным способом. Правильно подобранные методы статистической обработки данных позволяют правильно интерпретировать полученные данные [4].

Важной задачей при планировании имитационного эксперимента является выбор способа анализа результатов. Именно цели и задачи исследования и определяют набор применяемых математических методов. В целом же имитационная модель может быть рассмотрена как некий черный ящик, в котором установлена взаимосвязь между входом и выходом. При этом регрессивная модель является простейшим случаем, при котором функция  $F$  вычисляется как интерполяция [2].

В то же время имитационное моделирование имеет ряд недостатков, среди которых трудность восприятия по причине математической сложности, трудность разработки и некоторая неточность получаемых результатов. Тем не менее, имитационное моделирование находит широкое применение в отраслях экономики, связанных с инновационными технологиями, а также в сфере менеджмента при принятии управленческих решений. Широкое развитие информационных технологий способствуют дальнейшему усовершенствованию методики проведения имитационных исследований, делая его доступным для широкого круга специалистов [1].

Сложные системы имеют в своем составе множество функциональных компонентов, на которые в любой момент времени действуют разнообразные факторы различной природы и имеющие различную неопределенность [5].

В подобных системах причина со следствием разнесены друг от друга, а краткосрочные решения должны быть согласованы с долгосрочными прогнозами. В таких непростых условиях наличие компьютерной модели, имитирующей ту или иную экономическую систему, может быть весьма эффективным инструментом в руках государственного служащего или руководителя крупной коммерческой организации. Наличие такой модели позволяет выработать эффективные решения возникающих проблем, что в итоге позволит сохранить не только

финансы, но и организацию в целом. Главным преимуществом имитационного моделирования является возможность проведения эксперимента без участия в нем реальной системы. Проведение имитационных экспериментов позволяет ответить на вопрос «что если...?» и поэтому находит самое широкое применение в таких сферах экономики как консалтинг, операционный и производственный менеджмент, а также в государственном и территориальном управлении.

**Выводы.** Имитационное моделирование представляет собой метод исследования, который позволяет изучить особенности и свойства сложных систем. Применение имитационного моделирования в управленческой деятельности дает возможность анализа вероятного развития ситуации при определенных исходных условиях и помогает принять правильное решение.

*Статья проверена программой «Антиплагиат». Оригинальность 98.06%.*

#### Список литературы:

1. Абальмасова С.А. Использование комплексных кадровых технологий в менеджменте организаций // Электронный научный журнал. – 2016. – № 9 (12). С. 315-320.
2. Азарова Р.Р., Борисова У.С. Совершенствование кадровой политики // Новое слово в науке: перспективы развития. – 2014. – № 1 (1). С. 339-340.
3. Желаяева С.Э., Сотнич П.М. Эволюционная модель временного механизма самоорганизации экономики // Вопросы экономики и права. – 2015. – № 90. С. 77-80.
4. Зигерт А. Трансмиграция высококвалифицированного персонала – вызов для кадрового менеджмента // Форсайт. – 2008. – Т. 2. № 4. С. 10-21.
5. Казначеева С.Н., Репина Р.В. проблемы адаптации персонала в кадровом менеджменте // Интернет-журнал Науковедение. – 2015. – Т. 7. № 5 (30). С.28-35.
6. Ключев В.К. Стандартизация профессиональной деятельности в

системе кадрового менеджмента // Динамика систем, механизмов и машин. 2–014. – № 5. С. 47-50.

7. Пахлова И.В. модель компетенций как инструмент управления системой кадрового менеджмента организации // Альманах современной науки и образования. – 2015. – № 2 (92). С. 97-100.

8. Трофимов И.В. Аудит человеческих ресурсов как инструмент кадрового менеджмента // Российское предпринимательство. – 2012. – № 8. С. 89-94.

9. Филкина Ю.Ю., Филкина Л.Ю., Рогова К.А. кадровая политика как основа успешного функционирования организации // Молодежь и наука. – 2015. – № 1. С. 28.

#### **РЕЦЕНЗИЯ**

на статью «Имитационное моделирование при экономической оптимизации» аспиранта РУДН Имакаевой Д.А.

Статья автора посвящена эффективности использования имитационного моделирования для экономической оптимизации.

Актуальность данной статьи не вызывает сомнения, поскольку математическая модель показывает, какое ожидается изменение обстановки, в ответ на это решение, и к каким последствиям оно приведет спустя некоторое время.

Применение имитационного моделирования в условиях российской экономики при анализе финансовой ситуации имеет важное значение. Дело в том, что экономика нашей страны отличается высокой степенью неопределенности и субъективности, зависимостью от неэкономических факторов.

Практическая значимость статьи обусловлена тем, что на современном этапе экономического развития имитационное моделирование по своей сути является наиболее эффективным и, очень часто, единственным способом изучения сложных проблем в сфере управления. В условиях постоянного развития экономических систем, и как следствие, все более их усложнения, таких субъективных данных как интуиция, жизненный опыт и советы экспертов бывает абсолютно недостаточно.

Вывод: статья рекомендуется для публикации в открытой печати и ранее не публиковалась.

Доцент кафедры «Прикладная экономика» РУДН,  
канд. экон. наук

Т.В. Кокуйцева