Вестник ЦЭМИ РАН. 2018-2023

ISSN 2658--3887

URL - <http://cemi.jes.su>

Все права защищены

Выпуск 2 Том 2. 2019

Анализ социально-экономических систем и принятие решений на основе машинных экспериментов

Исаева Марта Константиновна

Центральный экономико-математический институт РАН

Москва, Нахимовский проспект, 47

Аннотация

В статье обсуждаются способы организации машинных экспериментов в режиме диалога с экспертом. Проведение машинных экспериментов на основе имитационных моделей в некотором смысле представляют искусство и науку, поскольку такие процедуры, как отбор существенных факторов, введение упрощающих допущений и принятие решений на основе моделей ограниченной точности опираются в значительной мере на эвристические способности человека: практический опыт, интеллект и интуицию исследователя. Приведены примеры, в которых показано, как в режиме машинного эксперимента можно организовать процесс целенаправленного выбора решений.

Ключевые слова: имитационное моделирование, машинный эксперимент, принятие решений, метод Байеса, экспертные оценки, целенаправленный выбор

Дата публикации: 06.11.2019

Ссылка для цитирования:

Исаева М. К. Анализ социально-экономических систем и принятие решений на основе машинных экспериментов // Вестник ЦЭМИ РАН. – 2019. – Т. 2. – Выпуск 2. URL: <https://cemi.jes.su/s265838870007380-1-1/>. DOI: 10.33276/S265838870007380-1

1 ВВЕДЕНИЕ

2 Свести исследование социально-экономических систем к некоторой строго формализованной математической задаче удастся далеко не всегда. «Действительность сложнее и многообразнее всех тех возможностей, которыми располагает математическая формализация. В решении сложных конкретных проблем общественной жизни нельзя обойтись без опоры на опыт, интуицию и, наконец, просто талант. Это сочетание математического анализа с опытом и интуицией возможно в моделях, которые называются имитационными» (Моисеев, 1975). Когда не удастся построить формализованную математическую модель, чтобы рассчитать величины и их взаимозависимости, необходимые для понимания того или иного явления современного мира (физического, технического, социально-экономического и т.п.), такие величины приходится определять непосредственными измерениями – экспериментально.

3 Жизнь ставит проблемы, экспериментальное, натурное исследование которых, бывает исключительно затруднено, порой невозможно. Особая осторожность необходима в социально-экономических экспериментах. В подобных ситуациях остается одно: создать такие средства и методы, которые позволили бы провести необходимые исследования. В основе этих исследований лежит конструирование имитационных моделей и экспериментирование с этими моделями на ЭВМ,

4 Имитационное моделирование является весьма широким и недостаточно четко до сих пор определенным понятием. Идея такого моделирования проста и интуитивна привлекательна. Этот метод дает возможность исследователю экспериментировать с системами (существующими или предполагаемыми) в тех случаях, когда делать это на реальном объекте практически невозможно или нецелесообразно. Отрасли знаний, которые лежат в основе имитационного моделирования социально-экономических систем – это весь современный арсенал экономико-математических методов, вычислительной математики, теории вероятностей, статистики, программирования, теории проведения экспериментов.

5 В то же время конструирование имитационных моделей на ЭВМ и проведение на них машинных экспериментов во многом остается интуитивным процессом. Чтобы овладеть искусством машинного эксперимента, недостаточно хорошо разбираться в классических моделях, необходимо знакомство, как с методологией конструирования имитационных моделей, так и с практикой их реализации на ЭВМ, с возможными причинами успехов и неудач. Отбор существенных факторов для построения модели, введение упрощающих допущений и принятие решений на основе эксперимента с помощью модели опираются в значительной мере на практический опыт и интуицию исследователя. «Разработка и применение имитационных моделей все еще в большей степени искусство, нежели наука. Следовательно, успех или неудача определяются не столько методом, сколько тем, как он применяется» (Шеннон, 1978). Таким образом, построение имитационных моделей и проведение машинных экспериментов – это своего рода искусство, где тесно переплетаются и знание теории, и опыт, и эвристические способности человека.

6 Подобно всем средствам, существенно зависящим от искусства их применения, машинный эксперимент способен дать либо очень хорошие, либо очень плохие результаты. Он может либо пролить свет на решение проблемы, либо ввести в заблуждение. Следует отметить, что машинный эксперимент с имитационной моделью не дает решения в том виде, как это имеет место в формализованных моделях, а служит лишь средством выбора решения в условиях, которые определяет экспериментатор. Проблема выбора наилучшего или некоторого множества вполне удовлетворительных решений имеет две стороны: необходимость характеристики всех возможных в данной ситуации решений и описание способа выбора наилучшего решения.

7 Выбор наилучших решений в ходе машинного эксперимента с имитационной моделью, как правило, осуществляется в режиме человеко-машинного диалога и обеспечивается тем, что множество возможных вариантов решений получается с помощью формальных алгоритмов, реализованных в виде программ на ЭВМ, а выбор окончательного решения остается за человеком или коллективом специалистов. При этом лицо принимающее решение (ЛПР) имеет возможность с помощью управляющих воздействий получить множество возможных вариантов решения.

8 В статье приведены три примера работы с имитационными системами в режиме машинных экспериментов.

- 9 1. Система согласования уровня жизни и общественного производства;
- 10 2. Комплекс имитационных моделей для исследования различных механизмов инновационного развития;
- 11 3. Принятие решений на основе экспертных оценок машинных экспериментов с использованием метода Байеса.

12 В представленных примерах основное внимание было обращено на организацию процесса выбора решения на основе машинного эксперимента в режиме человеко-машинного диалога. Заинтересованный читатель найдет детальное описание моделей в работах, ссылки на которые приведены в тексте.

13 ПРИМЕРЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ МАШИННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

14 ***1. Имитационная система согласования уровня жизни и общественного производства***

15 Цель разработки такой системы моделей заключалась в создании инструментария для исследования обратной связи между благосостоянием и производством, выявления различных форм сбалансированности. На первом этапе практической реализации этой системы был создан макет имитационной диалоговой системы согласования платежеспособного спроса населения и предложения на рынке потребительских товаров, на котором были практически реализованы и экспериментально проверены на ЭВМ основные принципы, заложенные в модели. Структура, алгоритмы и организация работы с этой моделью в режиме машинного эксперимента подробно изложены в книге

(Шевяков, Исаева и др., 1990). В основе макета лежит имитационная модель согласования спроса и предложения в многоотраслевой экономике (Багриновский, Исаева, 2002).

¹⁶ Укажем несколько моментов организации машинных экспериментов с этой моделью. Построенная имитационная система позволяет в режиме человеко-машинного диалога проводить эксперименты, в которых право окончательного выбора того или иного варианта решения остается за человеком, который делает этот выбор на основе своих знаний и опыта. Экспериментатор использует для оперативного диалога с ЭВМ информацию, полученную на основе сопоставления расчетных данных спроса и сведений о конечной продукции отраслей (корректировочные показатели). Эти показатели служат характеристиками соответствия структуры фонда конечного потребления и спроса со стороны населения. Значение показателя больше единицы соответствует случаю, когда спрос на данный вид продукции превышает его производство (предложение), значение меньше единицы свидетельствует об обратном явлении. Корректировочный показатель наряду темпами роста валовых выпусков отраслей выступает как главный источник информации для экспериментатора в процессе проведения имитационного эксперимента.

¹⁷ Экспериментатор решает, находятся ли значения этих показателей в допустимых пределах или нуждаются в изменении. В последнем случае он может заменить один из параметров управления. Так, варьируя доли общей суммы капитальных вложений по различным направлениям в народном хозяйстве, экспериментатор тем самым «вызывает» изменение фондовооруженности труда, и следовательно его производительности в соответствии с правилом, заложенным в алгоритмах модели. Если неблагоприятные тенденции в динамике показателей оказываются устойчивыми, экспериментатор может провести эксперимент по изменению совокупного дохода населения или попытаться изменить масштаб цен. Управляющими параметрами в этом случае выступают отраслевые коэффициенты зарплатоемкости, индексы оптовых и розничных цен.

¹⁸ Имитационная модель согласования спроса и предложения в многоотраслевой экономике явилась, как уже отмечалось выше, основой имитационной системы согласования производства и уровня жизни. Целью разработки такой системы было создание эффективного инструментария для исследования обратной связи между благосостоянием и производством, выявления различных форм несбалансированности.

¹⁹ ***2. Комплекс моделей для исследования различных механизмов инновационного развития***

²⁰ Механизм инновационного развития включает в себя целый ряд целевых механизмов, которые предназначены для решения конкретных задач развития научно-технического прогресса. Обзор работ с описанием основных элементов механизмов инновационного развития представлен в (Исаева, 2019). Здесь мы остановимся только на базовом комплексе моделей, который лежит в основе всех этих исследований. На основе этого комплекса в режиме машинного эксперимента было исследовано влияние инвестиционной политики (государства и частных

производителей) на решение ряда задач научно-технологического развития на макроэкономическом уровне. Формальные алгоритмы представлены в работе (Багриновский, Исаева, 2002).

²¹ Центральное место в этом комплексе занимает блок формирования инвестиций на различные цели. Так, государство (за вычетом потраченных средств на рынке средств производства) и частные инвесторы распределяют свои доходы на восполнение и модернизацию производственных фондов в сфере производства товаров потребления и в сфере производства средств производства, а так же выделяют определенные инвестиции на технологическое развитие этих сфер.

²² Очевидно, что пропорции такого распределения доходов влияют на величины инвестиций, направляемых на различные цели, что в конечном итоге сказывается на величине выпусков продуктов и на получении доходов как населением, государством, так и частным сектором. Построенная имитационная система и проведенные машинные эксперименты позволили представить в динамический процесс развития производства по всему периоду прогнозирования и при различных целях, которые ставит перед собой государство и частные производители. Следует отметить, что базовый комплекс явился полигоном, на котором в процессе многочисленных машинных экспериментов и анализа результатов принимались и отбраковывались различные варианты, подтверждались или опровергались определенные теоретические положения и алгоритмы для их реализации, устанавливалось понимание качественных и количественных взаимосвязей различных параметров модели. Поскольку решение исследуемой проблемы является многопараметрическим, то машинные эксперименты планировались таким образом, чтобы можно было оценить индивидуальное влияние того или иного параметра (или части параметров), оставляя остальные параметры фиксированными.

²³ Перечислим некоторые варианты проведенных экспериментов.

²⁴ - Варианты, при которых на технологическое развитие вообще не выделялось инвестиций.

- Варианты, при которых на технологическое развитие инвестиции выделяло только государство.

- Варианты, при которых выделялись средства на технологическое развитие только частными инвесторами, причем это могла быть либо фиксированная доля дохода, либо задавалось правило, которому следовал частный инвестор (например, имитация часов Шумпетера).

- Варианты, описанные выше, рассчитывались в условиях равновесного и неравновесного рынков.

- Варианты, при которых на технологическое развитие выделялись инвестиции, как частными инвесторами, так и государством.

- Варианты, в которых исследовалась возможность государственного регулирования на рынке средств производства и технологического развития.

- Варианты, в которых производилось релейное переключение направления инвестиций в различные периоды временного цикла расчетов.

25 Целью данной работы было показать, что на модельном уровне могут быть выявлены функциональные связи между инвестиционной политикой, технологической структурой экономики, научно-исследовательским сектором, экологической обстановкой и внедрением передовых производственных и организационных структур. Сконструированные имитационные модели и анализ результатов экспериментальных расчетов показал, что в режиме машинного эксперимента можно эффективно проводить исследования различных механизмов инновационного развития и осуществлять сравнительную оценку вариантов их функционирования.

26 **3. Принятие решений на основе экспертных оценок машинных экспериментов с использованием метода Байеса**

27 Для принятия решений на основе машинных экспериментов предлагается использовать метод Байеса (Исаева, 2018). Применение этого метода основывается на знании предварительно полученных экспертных оценок (априорных) имеющихся вариантов решений и возможности их изменения (апостериорные оценки), при этом считается, что каждый вариант решения характеризуется некоторой выгодой. В качестве такой оценки предлагается использовать функцию полезности, построенную на основе парного сравнения элементов базового множества сценарных вариантов (Житков, Исаева и др., 2004). Считается, что лицо, принимающее решение (ЛПР), действует разумно, в том смысле, что выбирает такой эксперимент, результат которого приводит к решению с наилучшей выгодой в соответствии с теорией Байеса.

28 Процесс нахождения решения в этом случае предлагается организовывать в виде определенной последовательности операций на иерархической модели, представляющей собой дерево решений. Решением в этом случае будет маршрут, проложенный по ветвям дерева, приводящий к наилучшей выгоде.

29 Рассмотрение иерархии процесса с помощью построения обширного дерева решений и определение наилучшего эксперимента для каждой точки на этом дереве в принципе можно провести лишь один раз, предварительно построив полное дерево решений, включающее все возможные последовательности экспериментов для заданных априорных вероятностей и оценки решений в каждой точке. Тогда ЛПР после запланированного и выполненного эксперимента должен иметь возможность обследовать это дерево и просто выбрать тот эксперимент для следующего шага, который является для него предпочтительным. Однако, на практике это, как правило, не выполнимо, так как работа по построению полного дерева решений для реальной задачи оказывается непомерно трудоемкой. Поэтому приходится периодически обращаться к эксперименту на ЭВМ для получения нового варианта решения и иметь возможность его оценивать в новом состоянии системы.

30 Смысл теории Байеса принятия решений состоит в рассмотрении всех возможных последовательностей экспериментов как можно дальше вперед. Основная проблема при реализации данного подхода связана с размерностью задачи. Поскольку число решений возрастает с увеличением ветвей на дереве решений, число возможных комбинаций экспериментов и их результатов очень

быстро увеличивается. В силу стремления построить и просчитать дерево решений с как можно большим числом ветвей вступает в противоречие с практической целесообразностью, требующей снижения вычислительных затрат. Хотя проведение экспериментов на ЭВМ для этих целей значительно ускоряет процесс поиска решений, вычисления все же требуют больших затрат времени, поэтому необходимо разработать алгоритм, который позволил бы в определенной точке прекратить рассмотрение дальнейшей последовательности экспериментов в связи с тем, что выполненная серия уже дала достаточно информации.

³¹ В (Мангейм, 1970) предложен метод, позволяющий найти компромисс между стремлением к полноте и точности, с одной стороны, и ростом затрат на выполнение работ с другой. При построении дерева учитываются два взаимосвязанных обстоятельства. Прежде всего - это вопрос о том, когда следует закончить анализ любой части ветви. Решение этого вопроса позволяет исключить из дальнейшего рассмотрения целые «поддеревья». Используемые для этого правила получили название правил «усечения». Второй вопрос связан с необходимостью нахождения некоторого значения ожидаемой выгоды для граничной точки решения, участвующей в рассмотрении. Эти два вопроса взаимосвязаны, т.к. точность ожидаемой выгоды на определенном участке дерева решений окажет влияние на ответ, следует ли отсечь этот участок или продолжить его исследование. Для этих целей разработаны формализованные алгоритмы правил «усечения», которые требуют дополнительной априорной информации.

³² Представляется, что такая процедура «усечения» может быть эффективно организована на основе человеко-машинного диалога. Участие человека (ЛПР) в выборе эксперимента, оценке его результатов, принятии решения по прекращению эксперимента или выбора нового, как было указано выше, является искусством, поскольку опирается в значительной мере на эвристические способности исследователя, включая практический опыт, интеллект и интуицию.

³³ Упрощенная схема организации такого процесса на основе человеко-машинного диалога может быть представлена следующим образом:

³⁴ 1. Выбор ЛПР эксперимента при заданном состоянии решения задачи, включая начальный и завершающий эксперименты

36 2. Получение результата проведенного эксперимента и связанную с ним
полезность.

37 3. Оценка ЛПР результата предлагаемого эксперимента.

38 4. Корректировка состояния решения задачи:

- выясняется, уменьшилась ли полезность наилучшего решения, найденного до сих пор (если выполненный эксперимент не начальный);
- к списку решений добавляется новое решение;
- вычисляются изменения в распределении вероятностей по всем ранее полученным решениям.

39 5. Если рассмотрены не все возможные результаты проведенного эксперимента, ЛПР принимает решение: возвратиться к пункту 2 и рассмотреть следующий результат, или прекратить эксперимент.

40 6. Если рассмотрены не все эксперименты, которые возможны в данной точке, ЛРП принимает решение: возвратиться к пункту 1 и выбрать другой эксперимент, или прекратить процесс.

41 7. Когда все возможные результаты экспериментов рассмотрены, вычисляются их выгоды в соответствии с теорией Байеса.

42 8. Выбор эксперимента, при выполнении которого было получено решение с наилучшей выгодой.

43

44 Рассмотренный способ может быть использован при построении человеко-машинных комплексов для генерирования различных вариантов стратегического планирования социально-экономических объектов и выбора решения, приводящего к наилучшей выгоде.

45 **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

46 Основой любого эксперимента на ЭВМ служит имитационная модель. Построение имитационной модели и проведение машинного эксперимента состоит из нескольких этапов:

- 47 • формулировка задачи;
- 48 • конструирование математической модели;

- 49 • составление программы на ЭВМ;
- 50 • оценка пригодности модели;
- 51 • планирование экспериментов;
- 52 • обработка результатов экспериментов.

53 Вопросам планирования эксперимента и обработки результатов большое внимание уделено в книге (Нейлор, 1975): глава 6 посвящена проблемам планирования эксперимента, а в главах 7-8 излагаются методы обработки результатов машинных экспериментов. В данной статье ограничимся указанной ссылкой, в дальнейшей работе этот вопрос будет исследован более детально.

54 Как и всякое исследование, машинный эксперимент с имитационной моделью должен начинаться с формулировки проблемы, т.е. с ясного изложения целей эксперимента. Эти цели обычно формулируются в виде вопросов, гипотез, воздействий, на которые надо ответить, проверить либо оценить. Кроме того, надо не только поставить вопросы, но и сформулировать критерии оценки возможных ответов на них. Если не установить точно, что считать «подходящим» ответом на поставленный вопрос, то от проведенного эксперимента нельзя ожидать содержательных результатов. Целью эксперимента может быть проверка одной или нескольких гипотез относительно поведения некоторой сложной экономической системы. В каждом случае проверяемая гипотеза, а так же и критерии, на основании которых решается вопрос «принять» или «отвергнуть» ее, должны быть сформулированы явно. Наконец, эксперимент может быть предпринят, чтобы оценить воздействие некоторой переменной управления на эндогенные или зависимые переменные, описывающие поведение системы.

55 Например, в базовом комплексе моделей, приведенном выше, оценивалось влияние изменений пропорций распределения инвестиций на валовой национальный продукт. В имитационной системе по исследованию механизмов креативного развития производственных систем (Багриновский, Исаева, 2012) проверялась гипотеза, согласно которой изменение в динамике пропорций между числом сотрудников, вовлеченных в творческую деятельность, и числом «пассивных» сотрудников зависит от увеличения инвестиций руководством компании в мероприятия, способствующие творческому раскрытию способностей сотрудников. В модели принятия решений на основе экспертных оценок с использованием метода Байеса экспериментатор руководствуется критерием в выборе решения в соответствии с теорией Байеса, приводящей к наилучшей выгоде

56 Приведенных примеры показывают, что процесс нахождения решения может быть эффективно организован на основе машинных экспериментов с имитационными моделями в режиме человеко-машинного диалога.

Библиография:

1. Багриновский К.А., Исаева М.К. Базовая модель механизма управления технологическим развитием. //Экономическая наука современной России. 2002, №2, с.31-39.
2. Багриновский К.А., Исаева М.К. Основы креативного развития производственных систем. //Экономическая наука современной России, №2(57), 2012, с.79-89.
3. Житков В.А., Исаева М.К., Царфин Л.В. Формализованный метод оценки менеджерского искусства. // Экономика и математические методы, т.40, №2, 2004, с.88-98.
4. Исаева М.К. Байесовский подход к принятию решений на основе экспертных оценок машинных экспериментов. //Вестник ЦЭМИ РАН, № 3, 2018.
5. Исаева М.К. Анализ и методы моделирования механизмов инновационного развития. //Экономическая наука современной России, №1(84), 2019, с.16-33.
6. Мангейм М.Л. Иерархические структуры. Модель процессов проектирования и планирования. М.: Мир, 1970. с.180.
7. Моисеев Н.Н. Математик задает вопросы. М.: Знание, 1975, с. 192.
8. Нейлор Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем. М.: Мир, 1975, с.500.
9. Шевяков А.Ю., Исаева М.К., Горошко Э.Г. Согласование социально-экономических решений (машинный эксперимент). М.: Наука, 1990, с. 172.
10. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М.: Мир, 1978, с.418.

The Analysis of the Socio-economic Systems and the Decision Making based on the Computer Experiments

Marta Isaeva

CEMI RAS

Moscow, Nakhimovky prospect 47

Abstract

The paper presents the methods of the organization of the computer experiments based on the expert dialog. In a séance computer experiments based on simulation modeling are science and art as the selection of the salient parameters, intake simplification and the making decision based on scarcity of accuracy models rest on the heuristic power of men: the practical trial, the intelligence and the intuition. It also discusses the man-computer systems to select the variants by the best utility.

Keywords: simulation modeling, computer-experiment, making decision, Bayesian method, expert estimations, purposeful sampling

Date of publication: 06.11.2019

Citation link:

Isaeva M. The Analysis of the Socio-economic Systems and the Decision Making based on the Computer Experiments // Herald of CEMI. – 2019. – V. 2. – Issue 2.

URL: <https://cemi.jes.su/s265838870007380-1-1/>. DOI: 10.33276/S265838870007380-1