

К 60-летию ЦЭМИ РАН

**Флагман экономико-математического и компьютерного моделирования:
60 лет в строю**

© 2023 г. Г.Б. Клейнер

Г.Б. Клейнер,

член-корреспондент РАН, ЦЭМИ РАН, Финансовый университет при Правительстве РФ, Государственный университет управления, Москва; e-mail: george.kleiner@inbox.ru

Поступила в редакцию 20.06.2023

Аннотация. В статье анализируются основные направления и траектория развития Центрального экономико-математического института (ЦЭМИ) как лидера отечественной экономической науки в сфере разработки и применения экономико-математических и информационно-компьютерных моделей социально-экономических процессов и систем. Уточняются взаимоотношения моделирования с такими компонентами экономики, как экономическая теория, экономическая политика, управление экономикой, хозяйственная практика. Показано, что экономико-математическая модель играет незаменимую роль в интеграции и систематизации знаний в сфере экономической теории и хозяйственной практики. На основе концепции модели как гомоморфного образа реального объекта в сфере онтологии («мира вещей»), идеологии («мира идей»), гносеологии («мира познания») и праксеологии («мира созидания») предложена обобщенная схема и последовательность этапов моделирования. Прослежена эволюция основных компонентов моделирования, существенно изменившая за последние 60 лет представления об объекте, предмете, целях, аппарате и эмпирической базе моделирования. Накопленный в этой сфере в ЦЭМИ РАН опыт позволяет предложить концепцию доказательного моделирования, — аналогичную идеологии доказательной медицины, доказательной политики, доказательного прогнозирования, — направленную на качественное повышение обоснованности и надежности результатов моделирования для применения в экономической теории и практике. Формулируются основные принципы доказательного моделирования, призванные сыграть роль стандартов доказательного моделирования. Процесс моделирования рассматривается как аналог инновационного проекта, каждый самостоятельный этап которого, как и весь проект в целом, должен осуществляться в соответствии с этими стандартами. Приводится перечень наиболее важных, по нашему мнению, пионерных работ ЦЭМИ РАН в области экономико-математического и компьютерного моделирования, определяющих значимые направления дальнейшего развития этой области науки.

Ключевые слова: экономико-математическое и компьютерное моделирование, этапы моделирования, доказательное моделирование, гомоморфизм, Центральный экономико-математический институт (ЦЭМИ).

Классификация JEL: С60.

Для цитирования: **Клейнер Г.Б.** (2023). Флагман экономико-математического и компьютерного моделирования: 60 лет в строю // *Экономика и математические методы*. Т. 59. № 3. С. 5–20. DOI: 10.31857/S042473880027042-5

**ВМЕСТО ВВЕДЕНИЯ: ИСХОДНЫЙ ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ КАПИТАЛ
И ОБЩЕСТВЕННЫЕ ОЖИДАНИЯ**

Создание в Академии наук СССР Центрального экономико-математического института в 1963 г. стало заметным событием в отечественной и мировой экономике. Советское общество проходило в то время этап, получивший название «оттепель» по одноименной повести И. Эренбурга, опубликованной в 1954 г. Это было время общественного подъема, прогрессивных экономических реформ, выдающихся технических достижений, потепления международных отношений и радикальной диверсификации отечественной экономической науки.

После многих лет господства марксистской политэкономии в экономическое мировоззрение общества, прежде всего через ученых-экономистов, стали проникать и развиваться элементы таких немарксистских экономических концепций, как неоклассическая (маржиналистская), эволюционная (шумпетерианская), институциональная (вебленовская) концепции. Идеи повышения

степени самостоятельности экономических отечественных агентов (предприятий), а также укрупненных территориально-административных образований (экономических районов) стали результатом творческого изучения опыта управления экономикой ряда западных стран, в то время как опыт ведения плановой экономики в СССР послужил отправной точкой для включения элементов планирования в экономику таких стран, как Франция, Япония, США и др. Впереди маячили «социализм с общечеловеческим лицом» и «капитализм общесоциальной направленности». Нуждался в объективном изучении опыт функционирования отечественной экономики за 45 лет, включая этапы военного коммунизма, НЭПа, индустриализации, Великой Отечественной войны, строительства развитого социализма. Разнообразие условий и результатов развития экономики требовало многообразия концепций и инструментов социально-экономического анализа. Обоснованные надежды связывались с применением достижений математики, кибернетики, производства ЭВМ.

В этих условиях на ЦЭМИ возлагалась ответственная миссия — разработать новую систему планирования и регулирования экономики, адекватную задачам социалистического строительства и основанную на прогрессе отечественной и мировой экономической науки и вычислительной техники. Сегодня, забегаая вперед, мы можем поставить вопрос, была ли выполнена эта миссия. По нашему мнению, ответ, безусловно, положительный: миссия была выполнена в том объеме, который определялся условиями функционирования ЦЭМИ.

Кроме того, ЦЭМИ АН СССР, а затем РАН внес значимый вклад в развитие экономической науки, отвечающий на многие актуальные вопросы и освещающий грядущие горизонты мировой экономики. Авторитет ЦЭМИ как институционального и идейного лидера экономико-математического направления в отечественной и мировой экономической науке стал непререкаемым.

У истоков ЦЭМИ стояла «могучая кучка» талантливых экономистов и математиков, собранная основателем ЦЭМИ академиком В.С. Немчиновым и выпестованная первым директором ЦЭМИ академиком Н.П. Федоренко. В эту группу с самого начала или чуть позже входили: В.С. Немчинов, Н.П. Федоренко, Л.В. Канторович, В.В. Новожилов, А.Л. Вайнштейн, А.Л. Лурье, Л.Е. Минц, Б.Н. Михалевский, С.С. Шаталин, С.А. Айвазян, Н.Я. Петраков, Э.Ф. Баранов, К.А. Багриновский, В.А. Волконский, Ю.Н. Гаврилец, Е.Г. Гольштейн, К.Г. Гофман, В.С. Дадаян, В.И. Данилов-Данильян, Э.Б. Ершов, Ю.Р. Лейбкин, Ю.В. Овсиенко, Ю.А. Олейник-Овод, В.Л. Перламутров, В.М. Полтерович, В.Ф. Пугачев, Е.Ю. Фаерман и др. С ЦЭМИ связаны имена таких математиков мирового уровня, как В.И. Данилов, Е.Б. Дынкин, Ф.Л. Зак, А.В. Каток, Б.С. Митягин, А.С. Немировский, Ю.В. Нестеров, Г.М. Хенкин и др.

Уникальный сплав экономистов и математиков представлял собой замечательный интеллектуальный и человеческий капитал, способный в принципе решить любую правильно поставленную задачу. Огромное число таких задач в сфере развития социально-экономической теории, разработки экономической политики и управления экономикой, а также исследований и обобщений хозяйственной практики, успешно выполненных сотрудниками ЦЭМИ за 60 лет (Трофимова, 2018; Клейнер, 2013), позволяет поставить новую задачу, решению которой посвящена данная статья: охарактеризовать траекторию движения ЦЭМИ как флагамена развития математического и компьютерного моделирования социально-экономических процессов в России.

Несмотря на активное развитие теории и практики моделирования в мировой науке, в обществе не сложилось общепринятой структуры методологии построения и использования экономико-математических и информационно-компьютерных моделей, в связи с чем в статье предложена обобщенная схема и последовательность этапов этого процесса. В качестве научной базы моделирования использовался подход, основанный на понятии гомоморфизма как отражения особенностей структуры и функции изучаемого объекта в его математической/компьютерной модели. Такой подход позволил раскрыть эволюцию основных компонентов моделирования, существенно изменившую за последние 60 лет представления об объекте, предмете, целях, аппарате и эмпирической базе моделирования. Накопленный в этой сфере опыт позволяет предложить концепцию доказательного моделирования, аналогичную идеологии доказательной медицины, доказательной политики, доказательного прогнозирования. В заключение мы приводим сквозной перечень наиболее важных (по нашему субъективному мнению) пионерных работ ЦЭМИ РАН в области экономико-математического и компьютерного моделирования, способных определить значимые направления дальнейшего развития этой области науки.

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ,
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА,
УПРАВЛЕНИЕ ЭКОНОМИКОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ПРАКТИКА

Взаимоотношения между моделированием, экономической теорией, экономической политикой, управлением экономикой и хозяйственной практикой до сих пор не имеют однозначной трактовки в экономической науке. Цель настоящего раздела — проанализировать эти взаимоотношения более глубоко, чем это обычно делается, уяснить фундаментальную роль моделирования в остальных четырех сферах. В совокупности экономическая теория, политика, регулирование и практика представляют собой приближенное разделение экономики на четыре относительно самостоятельные, хотя и тесно взаимосвязанные, сферы.

Взаимоотношения между экономической теорией, политикой, регулированием и практикой в общем случае имеют весьма сложный характер, но на обобщенном уровне производственно-воспроизводственный цикл отражается в движении информации по кольцевой траектории «теория — политика — управление — практика — теория» (рис. 1). При этом движение по часовой стрелке отражает прямые связи, реализующие производственно-управленческий цикл, а движение против часовой стрелки — обратные связи воспроизводственного характера. Показанные на рис. 1 взаимосвязи играют основную роль во взаимоотношениях между функциональными подсистемами экономики, что не исключает и взаимодействий по схеме «теория — управление» и «политика — практика».

В целом уровень развития экономики любой страны определяется развитием каждой из указанных четырех подсистем, а также институтами и особенностями их взаимодействия. В этом контексте экономико-математические и информационно-компьютерные модели играют роль своеобразных агрегаторов и концентраторов информации, исходящей от каждой из указанных сфер, и одновременно — поставщиков информации для них. Институты и регламенты непосредственных взаимосвязей между основными подсистемами экономики в общем случае дополняются, таким образом, неявными и нерегламентируемыми на формальном уровне связями, осуществляемыми за счет экономико-математических и информационно-компьютерных моделей и их систем. Такие модели осуществляют не только передачу фундаментальных знаний и оперативной информации, но и согласование элементов теоретической, управленческой и эмпирической информации, что

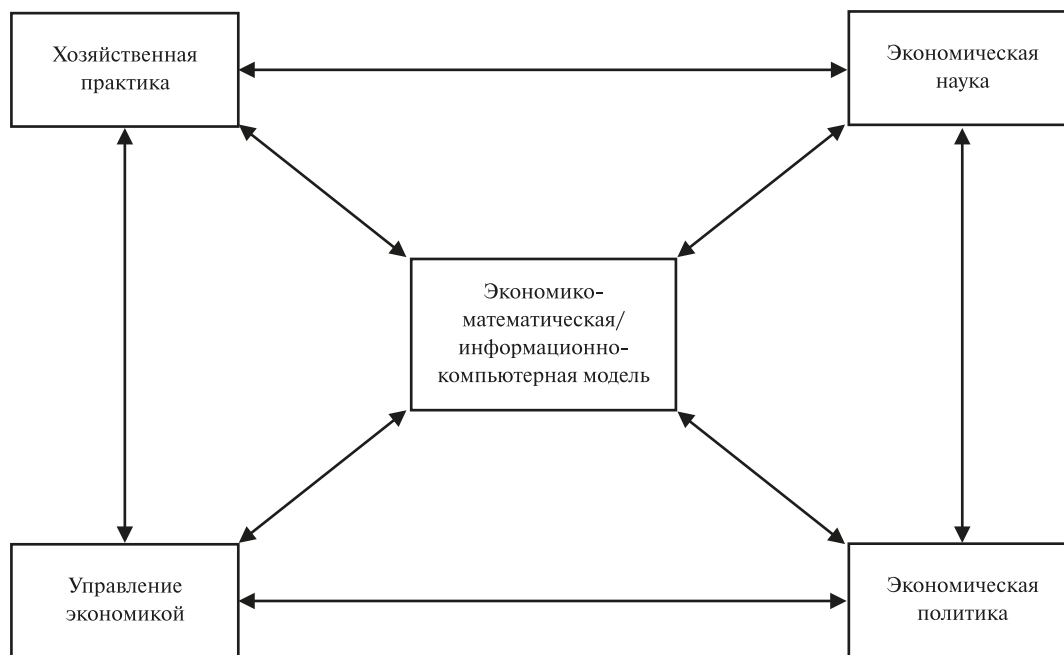


Рис. 1. Влияние экономико-математического и информационно-компьютерного моделирования на функционирование основных сфер экономики

позволяет выявить неполноту, неточность и несогласованность используемой в ходе экономической деятельности информации.

Суммируя, можно сделать вывод, что математические и компьютерные модели исполняют в общем случае следующие функции: накопление и хранение информации теоретического, планово-управленческого и эмпирического характера; получение и распространение новых знаний и сведений для функционирования указанных подсистем; индикация и смягчение фактов несогласованности, неполноты и неточности информации, используемой для принятия решений в каждой из сфер.

В итоге следует заключить, что компьютерно-математическое моделирование не входит целиком ни в теоретическую, ни в планово-управленческую, ни в хозяйственную сферы, а является самостоятельным направлением, обеспечивающим согласованное и эффективное функционирование основных подсистем экономики.

В сегодняшних условиях внешнего давления на российскую экономику развитие данного направления является одним из мощных средств консолидации и дефрагментации экономики, повышения ее преимущества и целенаправленности.

МОДЕЛИ И ГОМОМОРФИЗМЫ

Заголовок раздела воспроизводит название знаменитой книги Ю.А. Гастева «Гомоморфизмы и модели (логико-алгебраические аспекты моделирования)» (Гастев, 1975)¹. В книге раскрывается понятие модели как образа («двойника») объекта моделирования, рассматриваемого под определенным ракурсом как предмет моделирования. При этом модель должна удовлетворять следующим условиям: а) быть подобной объекту в определенном аспекте его изучения, т.е. воспроизводить структуру отношений между компонентами и/или характеристиками объекта; б) позволять исследователю (пользователю) получать новую информацию об объекте моделирования, его внутренней структуре и взаимодействиях с внешней средой. Выполнение этих условий обеспечивает качество модели: условие (а) — ее адекватность; условие (б) — эффективность. Для выполнения первого условия внутренняя структура модели должна отражать структуру объекта, что отвечает понятию *гомоморфизма*, т.е. (неформально выражаясь) сходства форм, а также структур модели с оригиналом. Выполнение второго условия обеспечивается погружением модели в исследовательскую сферу, которая предоставляет исследователю аппарат для изучения взаимосвязи модели с ее окружением. В случае математического моделирования такой сферой является мир математических конструкций и утверждений, в случае технического моделирования — мир технических систем, в случае музыкального моделирования — мир восприятия, интерпретации и анализа музыкальных произведений и т.п. Таким образом, операция моделирования опирается на понятия объекта моделирования, предмета моделирования, целей моделирования и аппарата моделирования. Если рассматривать моделирование как сферу деятельности человека, то неотъемлемым элементом процесса моделирования является субъект моделирования, или модельер — человек (группа людей), осуществляющий процесс построения, анализа и интерпретации результатов моделирования.

На рис. 2 изображены компоненты процесса моделирования и стилизованная схема их взаимосвязей (см. также (Клейнер, 2001)):

- объект моделирования представлен в виде системы, включающей внутреннее наполнение и внешнее окружение объекта;
- информация, используемая при построении модели, характеризует объект моделирования;
- аппарат моделирования представляет собой совокупность математических конструкций и методов, используемых для построения модели;
- цель моделирования отражает совокупность условных или безусловных вопросов, для ответов на которые предназначена модель;
- субъект моделирования;
- процессы идентификации различных компонент модели, включая определение ее вида, оценку параметров и показателей, необходимых для получения ответов на целевые вопросы;
- экономико-математическая и информационно-компьютерная модель объекта;

¹ Переиздано в 2009 г.

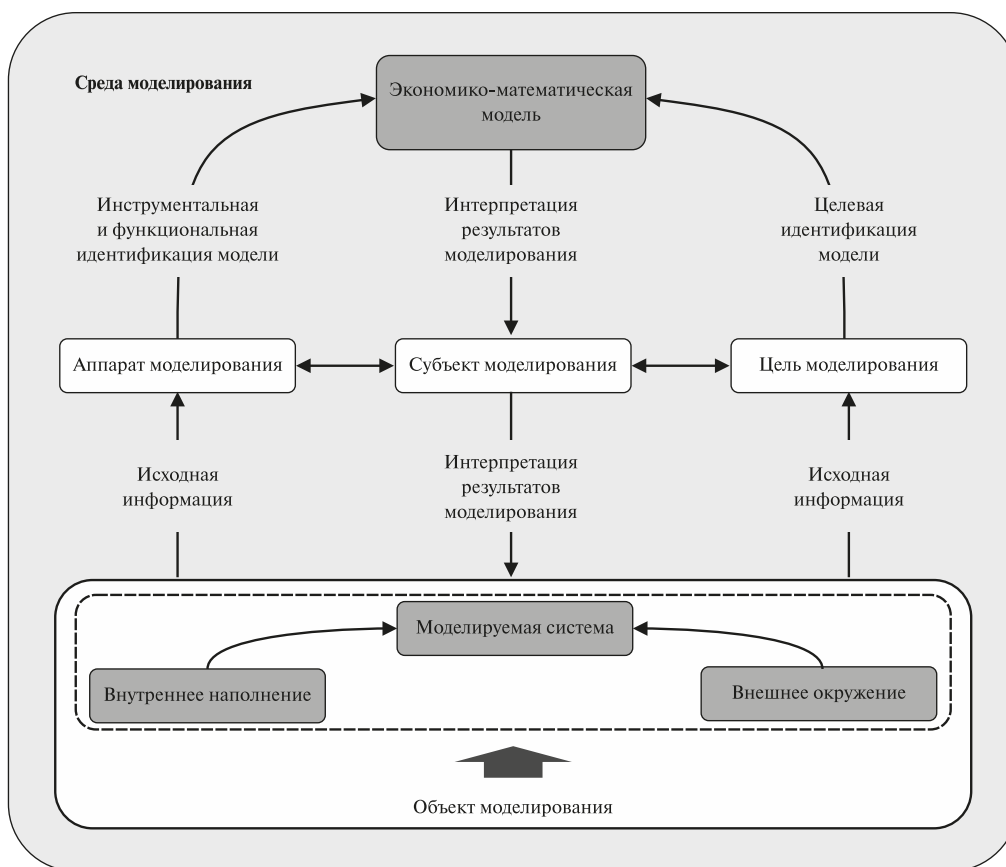


Рис. 2. Компоненты процесса построения и интерпретации модели

- интерпретация результатов моделирования, осуществляемая его субъектом;
- среда моделирования, представляющая собой суперсистему, включает все перечисленные компоненты процесса моделирования.

На схеме отсутствуют изображения этапа анализа построенной модели, осуществляемого средствами той сферы математики, к которой относится аппарат моделирования.

Приведем типовую последовательность реализации этапов моделирования; в конкретных случаях эта последовательность может быть изменена.

Этап 1. Определение пространства (среды) исследования, включая такие ее составляющие, как экономическая теория, социально-психологические характеристики общества, математический аппарат, информационно-компьютерные возможности и технологии, опыт разработки и применения моделей и др.

Этап 2. Определение объекта моделирования.

Этап 3. Определение предмета моделирования.

Этап 4. Формулирование цели моделирования. Постановка задачи.

Этап 5. Системное описание объекта (представление объекта и его непосредственного окружения в виде системы).

Этап 6. Определение предпосылок (допущений) при построении модели.

Этап 7. Выбор теоретической базы (парадигмы) модельного исследования.

Этап 8. Формирование информационной базы моделирования.

Этап 9. Выбор аппарата (инструментария и технологии) моделирования.

Этап 10. Построение и валидация (проверка адекватности и эффективности) модели объекта для решения поставленной задачи.

Этап 11. Системное описание модели (представление модели в виде системы).

Этап 12. Исследование модели, в том числе траекторий решения.

Этап 13. Интерпретация полученных результатов применительно к объекту и цели моделирования.

Этап 14. Возвращение к началу процесса моделирования, уточнение и корректировка этапов.

Мы видим, что этапы моделирования затрагивают ряд разнокачественных материальных и нематериальных систем, включая информационные, технические и социальные системы, в том числе элементы духовного мира человека. При этом каждый из компонентов, начиная с объекта моделирования и кончая его результатом, погружен в особую среду (систему), включающую аналогичные образования и функционирующую в целом, как правило, независимо от данного компонента. В итоге экономико-математическое и информационно-компьютерное моделирование представляет собой своеобразную систему систем, каждая из которых принадлежит отдельному миру, в том числе: миру экономики; миру математики; миру социума; миру науки; мировоззрению человека. Экономико-математическое и компьютерное моделирование, таким образом, имеет принципиально междисциплинарный и межсистемный характер.

Если в первое 20-летие своего существования основным продуктом ЦЭМИ были автономные экономико-математические модели отдельных объектов — предприятий, отраслей, регионов, то к началу 1990-х годов акцент переместился на создание систем моделей — модельных комплексов, отражающих взаимодействие более или менее самостоятельных объектов, функционирование, а порой, и развитие которых происходит согласованно. Наиболее значимым здесь является величественная разработка «Системы оптимального функционирования экономики» (СОФЭ) ((Вопросы оптимального планирования ..., 1982–1985), см. также (Федоренко и др., 2000)). Релевантной концептуальной основой математического моделирования в такой ситуации являются гомоморфизмы так называемых многоосновных алгебраических систем, представляющих собой Декартово произведение конечного числа множеств с различными операциями (Мальцев, 1970; Higgs, 1963). Отметим, что идея и конструкция масштабного замысла В.М. Глушкова создания «Общегосударственной автоматизированной системы учета и обработки информации» (ОГАС, 1950–1980-е годы) также базировались на концепциях общей алгебры (Глушков, 1962, 1972). Соответствующее системное описание объекта моделирования, включая его членение на различные подобъекты и исследование отношений между ними, а также аналогичное описание модели объекта позволяют в концептуальном плане рассматривать процесс моделирования как поиск и исследование гомоморфизмов алгебраических систем².

ЭВОЛЮЦИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ

За минувшие после образования ЦЭМИ 60 лет все основные компоненты экономико-математического моделирования — объект, предмет, цели, аппарат и субъект моделирования — существенно эволюционировали, что нашло отражение в методологии моделирования и его результатах. Немалую роль в этом сыграли исследования и разработки ЦЭМИ. В целом ЦЭМИ не только вписался в процессы эволюции моделирования, но и стал провозвестником новых этапов этой эволюции методологии и инструментария моделирования.

Эволюция объекта моделирования. Вначале типовыми объектами моделирования были такие локальные экономические системы, как предприятие, отрасль, регион, государство, а также взаимоотношения между предприятиями, отраслями, регионами и странами. В состав моделей таких систем входили и подмодели, отражавшие предпочтения тех или иных вариантов развития (критерии оптимальности). Основные усилия при построении моделей объектов микро- и мезоэкономического уровней были направлены на все более адекватное отражение онтологических условий функционирования (модели производственных функций, межотраслевых и межрегиональных взаимодействий). В дальнейшем развитие получили модели обоснования плановых предпочтений

² Такое представление имеет, разумеется, условный характер, поскольку реальные объекты моделирования относятся к онтологии («миру вещей»), в то время как модели — к идеологии («миру идей»). Понятия «модель», «двойник», «образ» следует рассматривать как широкие обобщения понятия «гомоморфизм».

и принятия решений при выборе вариантов развития. В целом совокупность объектов моделирования расширялась, охватывая не только сферу онтологии («мира вещей»), но и сферы идеологии («мира идей»), гносеологии («мира познания») и праксеологии («мира созидания»), а также взаимодействие этих сфер. В перспективе объектами моделирования могут стать все компоненты окружающего мира, включая мир неживой природы, в том числе артефакты; мир живой природы, в том числе человек и его поведение; духовный мир человека, в том числе психологическое состояние и его факторы; мир социальной природы (общество); взаимное влияние указанных компонентов друг на друга. В числе объектов моделирования должны быть выделены системы с краткосрочным (например, флешмоб) и неограниченным (например, фирма) жизненным циклом, а также процессы концентрации и диссипации, обуславливающие появление относительно краткосрочных и долгосрочных объектов. В качестве относительно новых объектов моделирования в последние десятилетия стали появляться такие гибридные формы, как экосистемы, представляющие собой долгоживущие системы, способные самовоспроизводиться и адаптироваться к изменению внешних условий функционирования за счет внутреннего перераспределения ресурсов и возможностей.

Эволюция предмета моделирования. Предмет моделирования определяет ракурс, под которым исследователь рассматривает данный объект и его взаимоотношения с другими объектами. Первоначально взгляд исследователя концентрировался на процессах производства, распределения, обмена и потребления материальных благ. В более позднем периоде в фокус предмета моделирования попали нематериальные факторы, в том числе знания, способности, неформальные влияния со стороны систем, функционирующих в данном периоде, а также в прошлом и будущем. В ближайшем будущем предметами моделирования станут «дух времени» (*zeitgeist*) — совокупность ключевых идей и ценностей, доминирующих в обществе в определенный период и влияющих на поведение экономических агентов, и «гений места» (*genius loci*) — совокупность укорененных в определенной части пространства сил, влияющих на ход событий в рамках данной области пространства.

Эволюция целей моделирования. Несмотря на то что формулирование целей построения модели на первых этапах развития моделирования в отечественной экономике имело прагматический характер, в более поздние периоды общественные потребности вели к формированию полного спектра целей моделирования. Базовыми являются четыре вида целей: безусловный (хронологический) прогноз функционирования объекта на определенную дату (период); условный прогноз, описывающий функционирование объекта при условии наступления определенных событий; факторный анализ функционирования объекта в целях объяснения и оценки влияния на него тех или иных факторов; анализ возможностей создания нового объекта или структурной трансформации (реорганизации) имеющегося объекта в тех или иных условиях динамики внешней среды.

Отдельно следует выделить группу внутренних целей, направленных на исследование самих моделей, в том числе на анализ чувствительности моделей к изменению тех или иных параметров. По отношению к вышеперечисленным внешним целям цели данной группы имеют инструментальный характер, а их реализация должна предшествовать реализации указанных выше экзогенных целей.

В перспективе цели моделирования будут детализироваться и соотноситься с условиями конкретных ситуаций, вследствие чего будет возрастать актуальность задачи типологизации и паспортизации моделей для их использования как в исследовательской, так и в управленческой сфере.

В этой связи следует подчеркнуть, что прерогатива постановки задач и определения целей построения модели принадлежит исключительно человеку и вряд ли может быть передана каким-либо системам искусственного интеллекта.

Эволюция аппарата моделирования. На первых этапах математические конструкции, на основе которых строились модели, опирались на аппарат дифференциального и интегрального исчисления, теорию функций действительных переменных, дифференциальные и разностные уравнения; в дальнейшем — на аппарат функционального анализа, алгебраическую топологию и геометрию, в том числе теорию многообразий. Появляются модели, базирующиеся на конструкциях общей алгебры и структурах многоосновных логико-алгебраических систем, в том числе идемпотентной математики. Активно развивается математика иерархических, конфликтующих, оптимизирующих систем и теория поведения конечных автоматов. Теория вероятностей как основной способ отражения неопределенности данных дополняется теорией нечетких множеств, интервальной математикой, теорией величин, наделенных правдоподобием. Для решения проблемы нечеткости, неполноты и несовместимости информации, необходимой для построения моделей, требуется как развитие математического инструментария моделирования, так и разработка масштабной программы

организационно-экономических мероприятий для обеспечения актуальной информацией системы исследования планирования и регулирования экономики.

Следует ожидать дальнейшего расширения палитры измерительных и оценочных квазичисловых шкал за счет двух тенденций: 1) более глубокого учета взаимоотношений субъекта моделирования с математическими структурами, избираемыми в качестве значений шкал (персонализация аппарата моделирования); 2) учета особенностей взаиморасположения в пространстве/времени субъекта и объекта моделирования. Проблема состоит в том, что использование натурального ряда для нумерации периодов функционирования объекта, далеко отстоящих от периода деятельности субъекта, не позволяет отразить возрастающую неопределенность результатов измерения и оценки показателей объекта при удалении прогнозного периода. В первом случае речь идет об учете внутренней психологии субъекта моделирования, во втором — о разработке новой аксиоматики аналога натурального ряда с переменным расстоянием между соседними его членами. Особое значение эти тенденции приобретают при разработке модельной базы для развития стратегического планирования и управления.

Началось активное использование естественного языка как аппарата моделирования. Достижения структурной лингвистики применяются в контент-анализе, нарративном моделировании, моделировании рефлексивных структур. К этому направлению можно отнести и применение в качестве аппарата предметоматематического моделирования общей теории систем А. Богданова, Л. фон Берталанфи и новой теории экономических систем, инициатором развития которой стал ЦЭМИ РАН. Здесь аппарат моделирования занимает промежуточное место между лингвистическим и математическим аппаратом (Клейнер, 2021).

Агентно-ориентированное моделирование, возникшее первоначально на базе теории коллективного поведения автоматов, получило в последние десятилетия мощный импульс благодаря появлению высокопроизводительных и сверхвысокопроизводительных компьютерных средств, позволяющих имитировать результаты многотактового взаимодействия огромного числа самостоятельных агентов. Неоценимый вклад в это направление внесли работы В.Л. Макарова, А.Р. Бахтизина и их коллег (Макаров, Бахтин, Эпштейн, 2022; Макаров и др., 2022). Это открывает пути к получению и верификации фундаментальных знаний о закономерностях развития общества.

Альтернативное направление имитационного моделирования связано с развитием методологии и технологии искусственного интеллекта как метода моделирования, согласно которому функционирование исследуемой системы представляется в виде «черного ящика», взаимодействующего с динамичной окружающей средой³. В ближайшем будущем следует ожидать распространения синтетических структурно-функциональных моделей общественной динамики, сочетающих детализированное транспарентное представление объекта в виде структуры взаимодействующих элементов с агрегированным представлением объекта как целостного непрозрачного образования в окружающей среде.

Эволюция субъекта моделирования. Представления субъекта моделирования о методах, инструментах и целях моделирования существенно менялись в течение описываемого периода. В работах начального периода математические модели возникали как естественное продолжение качественных экономических рассуждений, основанных на статистических данных и измерениях. Моделирование тем самым не отделялось от общеэкономических исследований, и вопрос о качестве моделей не рассматривался как первостепенный. По мере развития в 1960–1980-е годы в СССР автоматизированных систем управления с применением ЭВМ к этому вопросу, как и к качеству используемой статистики, стало привлекаться общественное внимание, поскольку результаты моделирования не всегда удовлетворяли не только заказчиков, но и исполнителей. Вопросы об адекватности и эффективности моделей начали выходить на первый план. Построение и релевантное применение моделей стали самостоятельными направлениями профессиональной деятельности экономиста. Экономико-математические методы выделялись в самостоятельную область знаний и компетенций. Брендированные (т.е. получившие устойчивые наименования либо по фамилиям авторов, либо по названиям организаций) примеры построения и применения моделей переходили из разряда безусловных образцов в разряд кейсов не только для подражания, но и для критики. В зависимости от уровня аналитического мышления и широты экономико-математической эрудиции субъект моделирования приобретал профессиональную квалификацию, а результаты

³ Отметим, что В.Л. Макаров подчеркивал перспективность такого способа моделирования за несколько десятилетий до создания современных систем искусственного интеллекта (Макаров, 1986).

моделирования — доверие экономического сообщества. В настоящее время во весь рост встает задача воспитания нового поколения исследователей и управленцев, свободных от догматического следования известным образцам моделирования (зачастую не учитывающим условий культурно-исторического и экономико-политического развития данной страны) и в полной мере владеющих арсеналом и методами построения адекватных и релевантных экономико-математических и компьютерных моделей.

К сожалению, в последнее время в российской экономической науке наблюдается тенденция использовать упрощенные, и порой неадекватные, экономико-математические модели как в части выбора вида соотношений между показателями, так и в части выбора методов оценивания их параметров. «Бегство от сложности» моделей на фоне роста сложности экономики не позволяет разрабатывать и применять эффективные экономические решения.

Эволюция источников информации для построения моделей. В качестве таких источников в течение начального периода отечественного моделирования выступали данные официальной статистики, относящиеся к макроуровню, отраслевому и региональному развитию. Использовались также данные оперативного бухгалтерского и управленческого учета на предприятиях. Сотрудники ЦЭМИ приняли участие в организации первых опросов руководителей и работников предприятий для получения неформальных данных микроэкономического уровня. Несмотря на то что объем потенциально доступной информации для проведения модельных исследований в последние десятилетия необычайно расширился за счет развития интернета, технологии блокчейн (block-chain), социальных сетей и деятельности блогеров, информационная база моделирования остается недостаточной. Обращение к слабоструктурированным обширным массивам мелкомасштабных детализированных данных (big data; array of fine-scale detailed data) часто порождает путаницу и не позволяет базировать модели на достоверных и надежных данных. Альтернативную проблему представляет и учет редких и не имеющих достаточного статистического ореола событий — так называемых «черных лебедей», которые меняют качественные характеристики экономики. Технологии синтеза большого числа мелкомасштабных данных (big data) и малого количества крупномасштабных данных (small data) с учетом динамики общественного и индивидуального сознания для получения надежных исходных данных разработаны недостаточно. Своевременным представляется создание новой дисциплины, направленной на обеспечение экономико-математических исследований надежной информацией для преодоления проблем неполноты, неточности и несогласованности данных — *экономического источниковедения*. В рамках этой дисциплины должны быть проанализированы как в абсолютном, так и в относительном ключе источники экономической информации и выработаны методы поиска высококачественной исходной информации для моделирования.

ДОКАЗАТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

История применения экономико-математических и компьютерных моделей в решении экономических задач, в выборе экономической политики, прогнозировании и т.п. полна примеров как замечательных успехов, так и досадных неудач (Канторович и др., 1979; Макаров, Бахтизин, Логинов, 2022; Чернов, 2016; Boumans, Duarte, 2019). Очевидно, состояние методологии и методики построения экономико-математических и компьютерных моделей не позволяют быть уверенным в гарантированном результате. Следует заметить, что цена ошибки при использовании результатов экономико-математического и компьютерного моделирования в ходе принятия экономических решений может достигать значительных размеров. В том числе это связано с некоторой априорной и не всегда оправданной доверчивостью лиц, принимающих решения, к выводам, полученным на основе моделей. В этих условиях целесообразно было бы создание особой системы *доказательного моделирования (evidence-based modeling)* — нового направления в методологии моделирования, обеспечивающего в максимальной степени уверенность в возможности применения модели как надежного инструмента научного исследования (Knight, Parker, 2021; Клейнер, 2023). Речь идет фактически о разработке новой идеологии и стратегии моделирования — все этапы моделирования сопровождаются проверкой их эффективности и безопасности с точки зрения дальнейшего продвижения к построению модели. Разработка парадигмы доказательного моделирования была бы одним из возможных ответов на сомнения в практической эффективности экономической науки в целом (Полтерович, 1998; Балацкий, 2022).

Применение стратегии доказательного моделирования предполагает повышение ответственности модельера за качество и эффективность модели. В идеале процесс построения модели должен

быть подобен строительству здания, рассчитанному на долгий срок безопасной эксплуатации. В настоящее время, однако, в арсенале метода построения модели, в отличие от строительства, нет общепринятого документа, аналогичного системе строительных норм и правил.

Проблемы надежности и безопасности результатов исследования характерны, как известно, не только для моделирования, но и для ряда других сфер. Так, в медицине развивается течение *доказательной медицины (evidence-based medicine)*, согласно которому решения о применении тех или иных врачебных вмешательств принимаются исходя из имеющихся общепризнанных доказательств их эффективности и безопасности (Парфенова, 2022). Такие доказательства подвергаются оценке, сравнению, обобщению и широкому распространению для использования в интересах пациентов. В области политических исследований расширяется сфера *доказательной политики (evidence-based policy)*, основанной на строго установленных объективных доказательствах взаимосвязи тех или иных политических решений и их результатов (Галлямова, 2021; Соловьев, 2021). Подобный подход можно наблюдать и в сфере прогнозирования: *доказательное прогнозирование (evidence-based forecasting)* базируется на четко зафиксированных количественных и качественных исходных данных и правилах вывода из них прогнозных предположений (Green, Armstrong, 2012).

В настоящее время наиболее развитым аппаратом для проверки адекватности и эффективности моделей обладает эконометрика. Этот аппарат ориентирован главным образом на оценку параметров моделей на основе эмпирических данных с целью обеспечения максимального соответствия между результатами модельных расчетов и фактическими статистическими данными. Этап оценки параметров и калибровки моделей является, безусловно, одним из центральных этапов при построении модели. Он, однако, не является единственным, поэтому стратегия доказательного моделирования должна предусматривать проверку адекватности модели на всех этапах ее построения. Ниже приводятся эскизные формулировки принципов, которые можно положить в основу доказательного моделирования.

1. *Принцип дискретности (этапности)*, согласно которому весь процесс построения и интерпретации модели разделяется на последовательные самостоятельные этапы.

2. *Принцип компромисса*, согласно которому среди множества возможных проектных решений на каждом этапе моделирования приоритетным следует считать выбор промежуточных («средних») решений, необязательно отвечающих максимуму целевых показателей моделирования, но являющихся репрезентативными для всего множества допустимых решений. Именно компромиссные решения обладают, как правило, наибольшими шансами на развитие в рамках последовательности дальнейших этапов построения и применения модели⁴.

3. *Принцип транспарентности*, согласно которому на каждом этапе моделирования фиксируется и формулируется максимально полная система предпосылок (модельных решений), на которых базируется проведение конкретного этапа.

4. *Принцип рефлексивности*, согласно которому проведение каждого этапа сопровождается оценкой его качества и эффективности с точки зрения дальнейшего продвижения процесса моделирования.

5. *Принцип рационального соотношения между адекватностью и эффективностью модели*, согласно которому построение модели следует рассматривать как компромисс между стремлением к максимальному отражению в модели имеющейся информации об объекте и стремлением к максимальной реализации целей моделирования.

6. *Принцип многоуровневости*, согласно которому модель данного объекта должна представлять собой синтез детализированных и агрегированных подмоделей, отражающих сложную структуру социально-экономического объекта.

7. *Принцип экономико-теоретической обоснованности моделирования*, согласно которому построение модели должно базироваться на четко и явно сформулированных положениях экономической теории.

В контексте доказательного моделирования утверждение о том, что предложенная математическая конструкция действительно служит моделью данного объекта, рассматриваемого с позиций

⁴ Понимаемый подобным образом принцип компромисса можно рассматривать как широкое обобщение и распространение сформулированного В.М. Полтеровичем принципа приоритета промежуточных институтов, согласно которому из имеющегося множества институтов, предлагаемых для межстрановой трансплантации, следует выбирать не наиболее развитый (передовой) институт, но некоторый средний, обладающий высокими шансами быть укорененным (Полтерович, 2016).

данного ракурса (предмета) моделирования для достижения определенных целей, является своего рода теоремой. Условия такой теоремы отражают как объективные исходные данные об объекте и предмете моделирования, так и субъективную информацию о предпосылках (допущениях) процесса построения модели (более подробное изложение применительно к построению производственных функций экономических объектов можно найти в (Клейнер, 1986, 2001)). Поскольку объект моделирования и его модель принадлежат к различным сферам (как было сказано выше, объект, как правило, — к сфере онтологии, модель, как правило, — к сфере идеологии), строгое доказательство утверждения о том, что данная конструкция является моделью данного объекта, требовало бы полной аксиоматизации всей среды моделирования, что сегодня вряд ли возможно. В этой ситуации речь идет об эвристических методах, а объект заменяется его представлением в виде информации о структуре и функциях объекта.

В практике моделирования едва ли не общепринятым является принцип простоты, согласно которому простота модели служит приоритетным критерием на всех этапах моделирования и в процессе построения модели в целом. В качестве обоснования обычно используется принцип Оккама, требующий удаления «лишних сущностей» (читай — сложностей) без явной необходимости. По нашему мнению, однако, простота используемых математических конструкций обманчива и далеко не всегда упрощает решения задачи построения адекватной и эффективной модели объекта. Простые математические конструкции в виде линейных функций, однофакторных зависимостей или невзаимозаменяемых ограничений (факторов) требуют в рамках концепции доказательного моделирования серьезного обоснования с использованием значительного массива информации об особенностях моделируемого объекта: простота с точки зрения математики оборачивается сложностью с точки зрения информатики. Это приводит, по нашему мнению, к отказу при моделировании от безусловного приоритета движения «от простого к сложному» в пользу итерационного подхода «от абстрактного (аксиоматического) к конкретному (алгоритмическому) и обратно».

В литературе часто встречаются рекомендации сначала выбирать наиболее простые виды параметрических зависимостей, а затем усложнять их, если результаты расчетов на их основе оказываются неудовлетворительными. В контексте доказательного моделирования при выборе вида модельных зависимостей предлагается использовать другой подход. Сначала на базе имеющейся информации о моделируемом объекте формулируются допущения относительно характера взаимосвязей таких широко распространенных показателей, как средняя или предельная производительность ресурса (отдача фактора), предельная норма и эластичность замещения одного вида ресурса (фактора) другим и т.п.

Часто такие соотношения позволяют однозначно или с высокой долей уверенности определить вид зависимости как решения соответствующей системы дифференциальных, интегральных или разностных уравнений. На таком пути мы получаем возможность обоснования вида параметрических зависимостей, что обычно относят к наиболее уязвимым для критики этапам экономико-математического моделирования. (Заметим, что в сфере моделирования физических, технологических и природных процессов виды зависимостей часто могут быть выведены из фундаментальных законов природы, что в сфере моделирования социально-экономических процессов в настоящее время не представляется возможным.)

Процесс построения модели можно рассматривать как своего рода инновационный проект, задачей которого является создание новой экономико-математической и информационно-компьютерной модели, реализующей цели моделирования. При этом на каждом этапе должны приниматься только те модельные решения, которые допускают обоснования в соответствии со стандартами доказательного моделирования. Это означает, что каждый этап может рассматриваться как инновационный мини-проект, описание которого содержит: а) исходные данные для выбора решения; б) принимаемые предпосылки (допущения); в) результат выбора модельного решения. Принципы выбора решения в целом отражают сформулированные выше принципы доказательного моделирования. Тем самым процесс моделирования приобретает фрактальный характер. Качество построенной модели, отражающее ее адекватность и эффективность, зависит от качества проведения всех без исключения этапов моделирования.

Выполнение перечисленных выше принципов доказательного моделирования находится в сфере ответственности субъекта моделирования. В целом принятие значительного числа разнообразных проектных решений в процессе построения, интерпретации и применения моделей требует от субъекта моделирования ответственного отношения к данному процессу. В морально-этическом плане следует ставить вопрос об ответственном моделировании социально-экономических процессов и систем.

В настоящее время развернулась активная дискуссия по вопросу о том, существует ли универсальный методологический «золотой стандарт» в экономическом анализе (Капелюшников, 2023). Не занимая какой-либо однозначной позиции в этой общей дискуссии, мы хотели бы отметить, что в области доказательного моделирования такой стандарт необходим. Разработка и распространение стандартов доказательного моделирования социально-экономических процессов является сегодня, на наш взгляд, одной из граней миссии ЦЭМИ.

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ: «СТРОЙ ЦЭМИ», «ДУХ ЦЭМИ», «ФЛАГ ЦЭМИ»

За прошедшие шесть десятилетий в стенах ЦЭМИ разработано и опубликовано огромное число новых моделей всех уровней и направлений развития экономики. В некоторых случаях пионерные решения ЦЭМИ становились импульсами для кардинального расширения объектной, предметной, аппаратной и информационной сферы моделирования. В фарватере ЦЭМИ как флагмана экономико-математического и компьютерного моделирования идут сотни организаций и тысячи исследователей, развивающих начатые в институте работы. Мы перечислим здесь лишь некоторые направления пионерных для отечественной экономической науки работ в сфере экономико-математического и компьютерного моделирования (оставляя в стороне не менее замечательные работы коллег, посвященные, главным образом, экономической проблематике, в том числе работы Б.А. Ерзнкяна, О.Б. Брагинского, Е.Ю. Хрусталева, А.А. Никоновой, С.Я. Чернавского, Р.М. Качалова, Д.А. Жданова, А.А. Кобылко и др.). Многие из приведенных ниже направлений стали «точками роста» российской и мировой экономической науки:

- моделирование общего экономического равновесия (CGE-моделирование) (В.Л. Макаров, А.Р. Бахтизин, С.А. Айвазян и др.);
- моделирование развития экономики знаний и интеллектуальной экономики (В.Л. Макаров, Г.Б. Клейнер, А.Н. Козырев);
- комплексное агентно-ориентированное моделирование территориальных, демографических, транспортных и иных социально-экономических систем (В.Л. Макаров, А.Р. Бахтизин, А.С. Акопов, Л.А. Бекларян, Е.Д. Сушко);
- моделирование длинноволновых процессов в экономике (В.Е. Дементьев);
- ценообразование на неконкурентных рынках и моделирование сетевых эффектов в экономике (Е.В. Устюжанина, В.Е. Дементьев);
- моделирование динамики качества жизни населения, в том числе социального неравенства (С.А. Айвазян, М.Ю. Афанасьев, А.Е. Варшавский и др.);
- сравнительный модельный анализ региональных экономик с учетом их сложности (М.Ю. Афанасьев, А.В. Кудров);
- развитие методов построения производственных зависимостей, включая новые виды производственных функций и стохастические границы производственных возможностей (Г.Б. Клейнер, М.Ю. Афанасьев);
- развитие методов переноса концепций непрерывности и выпуклости на случай дискретных множеств (В.И. Данилов, Г.А. Кошевой);
- исчисление институтов (В.Л. Макаров);
- моделирование диффузии инноваций в равновесных и неравновесных средах (В.М. Полтерович, Г.М. Хенкин);
- моделирование факторов кризисного состояния экономической теории (В.М. Полтерович);
- развитие методов линейного и нелинейного программирования, теории игр (Е.Г. Гольштейн);
- моделирование влияния СМИ, общественного и коллективного мнения на поведение социальных и экономических агентов (Ю.Н. Гаврилец);
- развитие алмазно-бриллиантового рынка, оптимизация процессов производства и реализации бриллиантов (А.А. Фридман, Л.Г. Бабат);
- разработка малоразмерных агрегированных моделей функционирования отечественных предприятий (Н.Е. Егорова, Г.Б. Клейнер);

- моделирование абсорбции и генерации инноваций в рамках национальной инновационной системы (О.Г. Голиченко, С.А. Самоволева);
- моделирование процессов согласованной трансформации вертикально связанных отраслей и предприятий (А.С. Плещинский);
- моделирование согласования плановых внутрифирменных решений (В.И. Данилин, В.А. Татаров);
- развитие методов оценки эффективности инвестиционных проектов в стационарных и нестационарных экономиках (В.Н. Лившиц, С.А. Смоляк);
- моделирование процессов стоимостной оценки машин и оборудования в условиях неопределенности (С.А. Смоляк);
- моделирование методов стимулирования реализации инвестиционных проектов (В.И. Аркин, А.Д. Слестников, Э.Л. Пресман);
- многоступенчатая оптимизация отечественной экономики (В.Ф. Пугачев);
- моделирование процессов экономической динамики и управления с учетом стохастической и фидуциальной неопределенности (В.З. Беленький; Н.А. Трофимова; В.И. Ротарь, Т.А. Белкина);
- информационное моделирование процессов научной коммуникации в экономике (М.Д. Ильменский, С.И. Паринов, А.А. Акиншин);
- моделирование экономики на базе новой теории экономических систем (Г.Б. Клейнер, М.А. Рыбачук, В.А. Карпинская).

За прошедшие годы организационная структура ЦЭМИ неоднократно менялась. Сегодня в структуре представлены все основные подсистемы экономики: экономическая теория (Отделение теоретической экономики и математических исследований, руководитель — академик РАН В.Л. Макаров); экономическая политика и хозяйственная практика (Отделение макроэкономики и моделирования региональных систем, руководитель — д.э.н., профессор Е.В. Устюжанина и Отделение моделирования производственных объектов и комплексов, руководитель — член-корреспондент РАН Г.Б. Клейнер); эконометрическое моделирование и информатика (Отделение эконометрики и прикладной статистики, руководитель — д.э.н., профессор М.Ю. Афанасьев и Отделение экономической информатики, руководитель — к.т.н. М.Д. Ильменский). В такой структуре содержится огромный потенциал экономико-математического и информационно-компьютерного синтеза, который, подобно термоядерному синтезу, способен стать мощным источником энергии дальнейшего развития российской экономической науки и практики.

Около 40 лет на капитанском мостике ЦЭМИ стоит, возглавляя отечественную экономико-математическую флотилию, академик РАН В.Л. Макаров. С 2017 г. он руководит ЦЭМИ в должности научного руководителя института. С этого же года в качестве директора института к нему присоединился член-корреспондент РАН А.Р. Бахтизин. Это сочетание символично. Здесь соединяются опыт всемирно признанного ученого и энергия молодого исследователя. Дух ЦЭМИ, возникший с самого его основания и абсорбирующий такие качества экономистов-исследователей, как широта взглядов, внимание ко всему новому, что возникает в экономической науке и практике, объективность оценок, готовность поддержать исследования и разработки коллег, общая нацеленность на перспективу, по-прежнему живет в стенах ЦЭМИ.

Флаг экономико-математического и компьютерного моделирования по-прежнему развевается над зданием института и служит ориентиром для всех, кто хотел бы присоединиться или уже присоединился к сообществу ученых, посвятивших свой талант и способности великому делу развития и процветания экономики России.

Общий итог: прошлое ЦЭМИ величественно, настоящее органично, а будущее прекрасно!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Балацкий Е.В.** (2022). Новые императивы экономического знания: на пути к соционимике // *Социальное пространство*. Т. 8. № 4. С. 1–15. DOI: 10.15838/sa.2022.4.36.2 [**Balatsky E.V.** (2022). The new imperatives of economic knowledge: On the way to socionomics. *Social Area*, 8, 4. DOI: 10.15838/sa.2022.4.36.2 (in Russian).]

- Вопросы оптимального планирования и управления социалистической экономикой (1982–1985). Серия коллективных монографий в 10 томах. М.: Наука. [*Questions of optimal planning and management of the socialist economy* (1982–1985). A series of collective monographs in 10 volumes. Moscow: Nauka (in Russian).]
- Галлямова Э.М.** (2021). Доказательная государственная политика: возможности и ограничения // *Социология*. № 2. С. 158–162. [**Gallyamova E.M.** (2021). Evidence-based public policy: Opportunities and limitations. *Sociology*, 2, 158–162 (in Russian).]
- Гастев Ю.А.** (1975). Гомоморфизмы и модели (логико-алгебраические аспекты моделирования). М.: Наука. [**Gastev Yu.A.** (1975). *Homomorphisms and models (logo-algebraic aspects of modeling)*. Moscow: Nauka (in Russian).]
- Глушков В.М.** (1962). Синтез цифровых автоматов. М.: ГИФМЛ. [**Glushkov V.M.** (1962). *Synthesis of digital automata*. Moscow: GIFML (in Russian).]
- Глушков В.М.** (1972). Введение в АСУ. Киев: Техника. [**Glushkov V.M.** (1972). *Introduction to ACS*. Kiev: Technology (in Russian).]
- Канторович Л.В., Данилов-Данильян В.И., Гольштейн Е.Г.** и др. (1979). Использование методов оптимизации в текущем планировании и оперативном управлении производством. Сб. тез. докл. Всесоюз. конф. (17–19 окт. 1979 г.). М.: ВИНТИ. [**Kantorovich L.V., Danilov-Danilyan V.I., Golshtein E.G.** et al. (1979). *The use of optimization methods in the current planning and operational management of production*. In: abstract report All-Union. conf. (17–19 Oct. 1979). Moscow: VINITI (in Russian).]
- Капелюшников Р.И.** (2023). «Рандомисты»: новая экономика развития // *Вопросы экономики*. № 6. С. 5–35. DOI: 10.32609/0042-8736-2023-6-5-35. [**Kapeliushnikov R.I.** (2023). “Randomistas”: A new development economics. *Voprosy Ekonomiki*, 6, 5–35. DOI: 10.32609/0042-8736-2023-6-5-35 (in Russian).]
- Клейнер Г.Б.** (1986). Производственные функции: теория, методы, применение. М.: Финансы и статистика. [**Kleiner G.B.** (1986). *Production functions: Theory, methods, application*. Moscow: Finansy i statistika (in Russian).]
- Клейнер Г.Б.** (2001). Экономико-математическое моделирование и экономическая теория // *Экономика и математические методы*. Т. 37. № 3. С. 111–126. [**Kleiner G.B.** (2001). Economic-mathematical modeling and economic theory. *Economics and Mathematical Methods*, 37, 3, 111–126 (in Russian).]
- Клейнер Г.Б.** (2013). Системные исследования в ЦЭМИ РАН: системная экономика как платформа развития экономической теории. В сб.: «Экономико-математические и инструментальные методы на службе модернизации народного хозяйства: сборник докладов и сообщений Всероссийской научной конференции». 28 ноября 2013 г. В 2 т. Т. 1. Под ред. В.Л. Макарова, Г.Б. Клейнера. М.: ЦЭМИ РАН. С. 82–104. [**Kleiner G.B.** (2013). System research at CEMI RAS: System economics as a platform for the development of economic theory. In: “*Economic-mathematical and instrumental methods in the service of the modernization of the national economy: A collection of reports and messages of the All-Russian Scientific Conference*”. November 28, 2013. In 2 vols. Vol. 1. V.L. Makarov, G.B. Kleiner (eds.). Moscow: CEMI RAS, 82–104 (in Russian).]
- Клейнер Г.Б.** (2021). Системная экономика: шаги развития. М.: ИД «Научная библиотека». 746 с. [**Kleiner G.B.** (2021). *Systems economy: Development steps*. Moscow: Nauchnaya biblioteka (in Russian).]
- Клейнер Г.Б.** (2023). Доказательное моделирование как перспективный инструмент научного исследования социально-экономических процессов // *Экономика и управление: проблемы, решения*. Т. 2. № 6. С. 5–16. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2023.06.02.001. [**Kleiner G.B.** (2023). Evidence-based modeling as a perspective tool for scientific research of socio-economic processes. *Economics and Management: Problems, Solutions*, 2, 6, 5–16. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2023.06.02.001 (in Russian).]
- Макаров В.Л.** (1986). О развитии экономико-математического инструментария на современном этапе // *Экономика и математические методы*. Т. 22. Вып. 3. [**Makarov V.L.** (1986). On the development of economic and mathematical tools at the present stage. *Economics and Mathematical Methods*, 22, 3 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Логинов Е.Л.** (2022). Применение экономико-математических методов и моделей оптимального планирования в цифровой экономике будущего. ЦЭМИ АН СССР и ЦЭМИ РАН: прогностическая интерпретация и развитие научного наследия нобелевских лауреатов Л.В. Канторовича и В.В. Леонтьева. М.: ЦЭМИ РАН. [**Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Loginov E.L.** (2022). *Application of economic and mathematical methods and models of optimal planning in the digital economy of the future*. CEMI AS USSR and CEMI RAS: Predictive interpretation and development of the scientific heritage of Nobel laureates L.V. Kantorovich and V.V. Leontiev. Moscow: CEMI RAS (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Сидоренко М.Ю., Хабриев Б.Р.** (2022). Агент-ориентированные модели. М.: ГАУГН. [**Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., Sidorenko M.Yu., Khabriev B.R.** (2022). *Agent-based models*. Moscow: GAUGN (Stata academic university for the humanities) (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Эпштейн Дж.М.** (2022). Агент-ориентированное моделирование для сложного мира. М.: МАКС Пресс. [**Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Epshtein J.M.** (2022). *Agent-based modeling for a complex world*. Moscow: MAKS Press (in Russian).]

- Мальцев А.И.** (1970). Алгебраические системы. М.: Наука. [Maltsev A.I. (1970). *Algebraic systems*. Moscow: Nauka (in Russian).]
- Парфенова О.** (2022). Как развивалась доказательная медицина в России: от закрытых форумов к «доказательным» клиникам // *Laboratorium: Журнал социальных исследований*. Т. 14. № 1. С. 111–132. DOI: 10.25285/2078-1938-2022-14-1-111-132. [Parfenova O. (2022). How evidence-based medicine developed in Russia: From closed forums to evidence-based clinics. *Laboratorium: Russian Review of Social Research*, 14, 1, 111–132. DOI: 10.25285/2078-1938-2022-14-1-111-132 (in Russian).]
- Полтерович В.М.** (1998). Кризис экономической теории // *Экономическая наука современной России*. № 1. С. 46–66. [Polterovich V.M. (1998). Crisis of economic theory. *Economics of Contemporary Russia*, 1, 46–66 (in Russian).]
- Полтерович В.М.** (2016). Институты догоняющего развития (к проекту новой модели экономического развития России) // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. № 5 (47). С. 34–56. [Polterovich V.M. (2016). Institutions of catch-up development (to the project of a new model of economic development of Russia). *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 5 (47), 34–56 (in Russian).]
- Соловьев А.И.** (2021). «Доказательная политика» и «политика доказательств»: дилемма постсоветских обществ // *Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право*. Т. 14. № 5. С. 61–80. DOI: 10.23932/2542-0240-2021-14-5-3. [Soloviev A.I. (2021). “Evidence-based politics” and “evidence politics”: The dilemma of post-Soviet societies. *Outlines of Global Transformations: Politics, Economics, Law*, 14, 5, 61–80. DOI: 10.23932/2542-0240-2021-14-5-3 (in Russian).]
- Трофимова Н.А.** (2018). Per Aspera ad Astra. ЦЭМИ 55 лет // *Экономика и математические методы*. Т. 54. № 2. С. 1–17. [Trofimova N.A. (2018). Per Aspera ad Astra. CEMI is 55. *Economics and Mathematical Methods*, 54, 2, 1–17 (in Russian).]
- Федоренко Н.П., Шукин Е.П., Седых Е.А., Нанавян А.М.** (2000). Обоснование использования основных элементов СОФЭ в переходный период. В сб.: «Научные отчеты Института проблем рынка РАН». М.: Институт проблем рынка РАН. [Fedorenko N.P., Shchukin E.P., Sedykh E.A., Nanavyan A.M. (2000). Substantiation of the use of the main elements of SOFE in the transitional period. In: *Scientific reports of the institute for market problems of the Russian Academy of Sciences*. Moscow: Institute for Market Problems of the Russian Academy of Sciences (in Russian).]
- Чернов В.А.** (2016). Математика в экономике: иллюзии и возможности // *Инновационная экономика и общество*. № 3 (13). С. 53–65. [Chernov V.A. (2016). Mathematics in economics: Illusions and opportunities. *Innovative Economics and Society*, 3 (13), 53–65 (in Russian).]
- Boumans M., Duarte P.G.** (2019). The history of macroeconometric modeling: An introduction. *History of Political Economy*, 51, 3, 391–400. DOI: 10.1215/00182702-7551828
- Green K.S., Armstrong J.S.** (2012). *Demand forecasting: Evidence-based methods*. Available at: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3063308
- Higgins P.J.** (1963). Algebras with a scheme of operators. *Math. Nachrichten*, 27, 115–132.
- Knight C., Parker S.** (2021). How work redesign interventions affect performance: An evidence-based model from a systematic review. *Human Relations*, 74, 1, 69–104. DOI: 10.1177/0018726719865604

The flagship of economic, mathematical and computer modeling: 60 years in line

© 2023 G.B. Kleiner

G.B. Kleiner,

Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, Financial University under the Government of the Russian Federation, State University of Management, Moscow, Russia; e-mail: george.kleiner@inbox.ru

Received 20.06.2023

Abstract. Main directions and evolution routes of the Central Economics and Mathematics Institute (CEMI) as a leader of domestic economic science in the development and application of economic-mathematical and information-computer models of socio-economic processes and systems were analyzed in the paper. The connection of modeling with such components of the economy as economic theory, economic policy, economic management and economic practice were clarified. It was shown that the economic and mathematical model plays an indispensable role in the integration and systematization of knowledge in the field of economic theory and economic practice. A generalized scheme and the sequence of modeling stages based on the concept of a model as a homomorphic image of a real object in the field of ontology (“the world of things”), ideology (“the world of ideas”), epistemology (“the world of knowledge”) and praxeology (“the world of creation”), were proposed. The evolution of the main components of modeling which had significantly changed over the past 60 years the ideas about the object, subject, goals, apparatus and empirical basis of modeling, were traced. The experience accumulated at CEMI RAS in this area allows us to propose the concept of evidence-based modeling, similar to the ideology of evidence-based medicine, evidence-based policy, evidence-based forecasting, aimed at qualitatively improving the validity and reliability of modeling results for applying in economic theory and practice. The main principles of evidence-based modeling that have to play the role of standards for evidence-based modeling were formulated. The modeling process was considered as an analogue of an innovative project, where every independent stage (likewise the entire project) should be carried out according to these standards. A list of the most important, in our opinion, pioneer works of CEMI RAS in the field of economic-mathematical and computer modeling, which determine significant directions for the further development of this field of science, was given.

Keywords: economic and mathematical modeling, computer modeling, modeling stages, evidence-based modeling, homomorphism, Central Economics and Mathematics Institute (CEMI).

JEL Classification: C60.

For reference: **Kleiner G.B.** (2023). The flagship of economic, mathematical and computer modeling: 60 years in line. *Economics and Mathematical Methods*, 59, 3, 5–20. DOI: 10.31857/S042473880027042-5 (in Russian).