

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫХ И СОЦИАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ

## MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELING OF NATURAL SCIENCE AND SOCIAL PROBLEMS

V. Ershov  
E. Tetrushvili

*Summary:* At present, the problems of modeling in the natural-scientific and social spheres have not been actualized by chance. Social life itself, both in Russia and around the world, has become so complicated that the assessment of what is happening has become impossible without the use of specially formalized procedures. So, mathematical and computer modeling is a specific multifunctional study. The author notes that today the tasks of intelligent tools are the automatic construction of algorithms, as well as the creation and execution of application software packages to achieve the best results in certain areas. The author explores mathematical and computer modeling of natural science and social problems.

*Keywords:* modeling, mathematical modeling, computer algorithms, computer modeling, social problems, social processes.

**Ershov Vitaliy Vladimirovich**

Старший преподаватель,

ИКТИБ ЮФУ

vvershov@sfnedu.ru

**Tetrushvili Elena Viktorovna**

Старший преподаватель,

ИКТИБ ЮФУ

evtetrushvili@sfnedu.ru

*Аннотация:* в настоящее время проблемы моделирования в естественно-научных и социальных сферах актуализировались не случайно. Сама социальная жизнь, как в России, так и во всем мире усложнилась настолько, что оценка происходящего стала невозможной без применения специальным образом формализованных процедур. Так, математическое и компьютерное моделирование — это специфическое многофункциональное исследование. Автор отмечает, что сегодня задачи интеллектуальных инструментов заключаются в автоматическом построении алгоритмов, а также в создании и выполнении прикладных программных пакетов для достижения лучших результатов в определенных областях. Автор исследует математическое и компьютерное моделирование естественно-научных и социальных проблем.

*Ключевые слова:* моделирование, математическое моделирование, компьютерные алгоритмы, компьютерное моделирование, социальные проблемы, социальные процессы.

Как известно, моделирование естественно-научных и социальных процессов как предметной области научного знания стала формироваться относительно недавно. С середины 1970-х гг. стали появляться работы отечественных и американских математиков по моделированию общественных процессов.

В 1990-х гг. появляется большое количество работ по данной тематике, позволивших значительно углубить и расширить эту область научного знания. Вот некоторые исследователи, внесшие свой вклад в развитие современного моделирования социальных процессов: О.Ф. Шабров, Ю.М. Плотинский, В.А. Шведовский, А.А. Самарский, А.П. Михайлов, Е.В. Шишкин, А.Г. Чхарташвили [1–4]. Нельзя не упомянуть работы ученых Омского государственного университета под руководством профессора А.К. Гуца [5]. Этой рабочей группой в рамках сотрудничества с Центральным европейским университетом (Венгрия) было издано несколько учебных пособий и компьютерных программ для имитационного моделирования этнических процессов.

В 1970-х годах социологи начали концептуализировать социальные процессы в терминах компьютерных алгоритмов и исследовать последствия этих вычислительных моделей с помощью компьютерного моделирования. С тех пор вычислительные модели стали важным

компонентом исследований в области социальных наук. Они могут выявлять свойства, которые не могут быть исследованы аналитическими (например, традиционными математическими) средствами. Вычислительные модели обеспечивают точный формализм для социальных процессов и позволяют проверить внутреннюю непротиворечивость и полноту теории. Таким образом, вычислительный подход придал значительную точность и строгость теории и исследованиям в области социальных наук. Это также доказало свою актуальность для решения реальных социальных проблем.

Рассмотрим модель, предложенную А. Давыдовым, которая может быть применена при описании социальной диффузии. Отметим, что диффузия — распространение черт, культуры (например, религиозных убеждений, технологических идей, форм языка и т.д.) или социальной практики одного общества (группы) другому.

Математическую модель социальной диффузии можно записать в следующем виде:

$$x_n = k_n(N_n - x_{n-1}) + x_{n-1} \quad (1)$$

где  $x_n$  — количество элементов на шаге  $n$ ;  $n$  — порядковый номер шага;  $k_n$  — коэффициент на шаге  $n$ ;  $N_n$  — размер генеральной совокупности на шаге  $n$ . В зависимости

от выбора параметров могут возникнуть разные ситуации.

Вычислительные модели впервые были использованы для изучения крупномасштабных социальных процессов (относящихся к группам и обществам). Эти модели сформулированы как наборы переменных, описывающих основные свойства моделируемой системы. Математические уравнения определяют, как каждая переменная изменяется во времени в зависимости от других переменных. Затем для изучения этих изменений используется компьютерное моделирование. Такой подход особенно распространен при изучении экономических и демографических процессов и чаще всего для моделирования сложных систем используются дифференциальные уравнения. Как правило, эти уравнения имеют вид:

$$dX / dt = f(X, a, t), \quad (2)$$

где  $X = (X_1, \dots, X_n)$  — вектор зависимых переменных, характеризующие состояние социальной системы;  $dX/dt$  — скорость изменения переменных  $X$ ,  $t$  — время;  $f(X, a, t)$  — вектор-функция (в общем случае нелинейная) отражающая изменение этих переменных во времени;  $a$  — вектор параметров системы, в общем случае зависящих от времени.

Однако исключительный акцент на свойствах группового уровня не позволяет изучать взаимосвязи между различными масштабами, от отдельных агентов через группы и организации до целых обществ. Большинство вычислительных моделей, в настоящее время, пытаются связать отдельных агентов и совокупные социальные образования (например, социальные группы).

Математические исследования в социологии, безусловно, не имеют смысла без соответствующей концептуальной модели социальной реальности, без достаточной и выверенной социальной информации, без использования современной вычислительной техники в социологическом анализе и прогнозе, что остро ставит вопрос о методологии математического моделирования и исследования.

Таким образом, резкий количественный и качественный рост суперкомпьютеров, а также прогнозируемый прорыв в передовых странах во всех видах научно-технологических сфер, означает не только переход на принципиально новый уровень получения фундаментальных и прикладных знаний, но и их применение во всех сферах человеческой деятельности.

Особая роль в прогрессе отводится математическому и компьютерному моделированию, которое, с одной стороны, занимает промежуточное положение между

теоретическими и экспериментальными научными исследованиями, а с другой — становится незаменимым атрибутом изучения и/или управления производственными, природными и социальными процессами.

Для построения матричной модели планирования и прогнозирования обычно вводят ограничения в виде аналитического и геометрического вида. Задача линейного программирования заключается в оптимизационной задаче, в которой целевая функция линейна на множестве линейных ограничений (формула 3):

$$f(\bar{x}) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \min$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} \leq b_i, \quad \overline{1, m}, \quad x_j \geq 0 \quad (3)$$

Ограничения, накладываемые на координаты  $x_j$ , могут быть равенствами и неравенствами (I и II рода).

Таким образом, данный метод математического моделирования имеет как преимущества, так и недостатки, и нет единой рекомендации для применения того или иного метода. Выбор метода моделирования финансовой деятельности организации в большинстве случаев зависит от вида деятельности фирмы, ее прибыли, положения в экономической среде и от множества других факторов.

Принципиальный момент здесь заключается в решении на суперкомпьютере таких сверхзадач, которые с точки зрения математической сложности и ресурсоемкости невозможно было себе представить десять лет назад. Ключевой проблемой мирового вычислительно-го сообщества является разработка за короткое время огромных объемов программного обеспечения нового поколения, создание которого возможно только при широком сотрудничестве. Применительно к научному прикладному программному обеспечению это означает переход от традиционных проблемно-ориентированных программных пакетов типа ANSYS, FEniCS, библиотек универсальных или методоориентированных алгоритмов (например, NETLIB или MKL INTEL) и специализированных инструментов к интегрированным вычислительным средам (ICE) предназначен для поддержки вычислительных этапов крупномасштабного суперкомпьютерного эксперимента. Такими примерами являются проекты DUNE, INMOST и BSM [6]. В целом, модели рассматриваемых процессов и явлений представляют собой междисциплинарные прямые и обратные многомерные начально-краевые задачи (IBVPS), описываемые системами дифференциальных и/или интегральных уравнений различных типов в классических или обобщенных формулировках, для которых реальные исходные данные характеризуются сложной многомасштабной геометрией вычислительных областей с кусочно-гладкими

многосвязными граничными поверхностями и свойствами контрастного материала. Современные требования к точности и разрешающей способности применяемых математических моделей налагают строгие условия на стабильность, сходимую, консервативность и робастность быстро развивающихся вычислительных методов. При всем разнообразии математических задач и алгоритмов организация крупномасштабных вычислительных экспериментов осуществляется по четко структурированным технологическим этапам: геометрическое и функциональное моделирование, связанное с описанием исходных данных решаемой задачи, генерация пространственно-временных адаптивных сеток, т.е. дискретизация непрерывных начальных утверждений, аппроксимация заданных дифференциальных и/или интегральных уравнений, решение результирующих систем линейных или нелинейных алгебраических сеточных задач, подходы оптимизации для обратных задач с ограниченной минимизацией целевых функционалов, постобработка и визуализация результатов вычисления, управление вычислительным процессом и принятие решений изготовление по результатам моделирования [7]. Все описанные этапы реализуются соответствующими довольно автономными программными подсистемами, ориентированными на методы, которые могут разрабатываться независимо и взаимодействовать через сформированную структуру данных (геометрический, функциональный, сеточный, алгебраический и т.д.) в согласованных форматах, которые могут быть преобразованы и взаимодействовать с внешним world. Каждая подсистема представляет интегрированную программную среду в собственной методологической области, и все они полностью представляют функциональное содержание BSM.

В последние десятилетия, несмотря на активную динамику развития многопроцессорных вычислительных систем (МПС), их архитектуру можно считать достаточно стабильной и они представляют собой разнородные кластеры многофункциональных узлов с распределенной памятью, каждый из которых содержит несколько многоядерных процессоров (CPU) с общей иерархической памятью, а также графические ускорители например, GPGPU или INTEL Phi. Масштабируемое распараллеливание таких MPS достигается посредством гибридного программирования с передачей сообщений между различными MPI-процессами, организацией многопоточных вычислений с использованием систем OpenMP, а также векторизацией операций с использованием системы AVX. Типичной ситуацией также является решение проблем с удаленным доступом через Интернет к крупному суперкомпьютерному центру общего доступа, основанному на облачных вычислениях. Важно отметить, что сейчас в мире существует огромное количество прикладных и системных продуктов, как государственных, так и коммерческих, представляющих бесценный интел-

лектуальный потенциал, который может и должен быть эффективно использован в новых разработках, которые должны сэкономить многие сотни человеко-лет программирования [6–7]. Создание ICE носит многоцелевой характер, а его архитектура определяется из следующих концептуальных технологических требований: гибкое расширение набора рассматриваемых моделей и применяемых алгоритмов, адаптация к эволюции суперкомпьютерных платформ, эффективное повторное использование внешних программных продуктов, высокие современные математические характеристики и производительность вычислительных методов и технологий, скоординированное участие различных групп разработчиков, интеллектуальный вывод и интерфейсы вывода для комфортной работы конечных пользователей с различным профессиональным опытом. Эти характеристики разработки рассчитаны на длительный жизненный цикл ICE и его приемлемый спрос в различных отраслях промышленности, что в целом должно обеспечить его конкурентоспособность и экономический успех, что является важным фактором, ввиду глобального характера проекта. Использование ICE ориентировано в двух направлениях. Первый из них — это автоматизация построения алгоритмов и их отображения на архитектуру суперкомпьютера, направленная на значительное повышение производительности программирования. Более конкретно, эта часть деятельности заключается в разработке функционального содержания (моделей, методов и технологий) BSM. Вторым направлением и целью ICE является автоматизированное проектирование высокопроизводительных пакетов прикладного программного обеспечения или комплексов с высококачественными характеристиками исполнения, сопоставимыми с профессиональными компиляторами или операционными системами. Создание scientific ICE предъявляет высокие требования к уровню интеллекта проекта, а концепция его интеграции фактически означает переход от кустарного к промышленному дизайну и внедрению крупных приложений, дальнейшее существование которых подразумевает активную поддержку, разработку и эксплуатацию, что также предполагает множество удобных для пользователя интерфейсов. Отметим, что ряд интеллектуальных вопросов методологии математического моделирования и создания нового типа программного обеспечения для него рассмотрен в работах В.П. Ильина «Математическое моделирование и философия науки» и «Фундаментальные вопросы математического моделирования» [8].

Вышесказанное позволяет сделать объективное заключение о том, что последние десятилетия ознаменовались крупными научными и практическими достижениями в области искусственного интеллекта. Общеизвестно, что успех означает в компьютерных шахматах, игре го и в других играх, в робототехнике, в нейронных сетях, в распознавании образов, в машинном переводе текстов

и т.д. На этом фоне почти нет прорывов в методах программирования для моделирования несмотря на то, что компьютеры изначально были изобретены специально для больших вычислений [9]. Хотя активно внедряются алгоритмические языки программирования и компиляторы, операционные системы, различные инструментальные средства, многочисленные прикладные разработки, они в основном ориентированы на достижение высокой производительности кода на MPS. В результате, при быстром росте производительности компьютеров возникает глобальный кризис программирования, когда рост производительности разработчиков сильно отстает от темпов эволюции компьютеров. Очевидно, что такая ситуация требует изменения парадигмы программирования, в первую очередь за счет интеграции разработок и интеллектуализации технологий. На сегодняшний день опубликовано довольно много работ по семантическому моделированию, основанному на аппарате математической логики, и по онтологии проектирования, основанной на когнитивных принципах, по методологии активного знания и по многим аспектам глубокого машинного обучения и интеллектуальных технологий, которые могли бы стать основой для создания базы знаний по математическим моделям и алгоритмам в рамках интегрированной вычислительной среды, которая позволит, по образному выражению Клеппе, переход от «палеоинформатики» к «неоинформатике» в математическом моделировании [10].

Отметим, что методология создания интегрированных инструментальных сред для облачных технологий активно разрабатывается в Иркутской научной школе программирования на протяжении многих лет [11]. Большой объем базовых математических знаний, включая символные вычисления, заложен в хорошо известных системах Mathematica и Maple, а также в языке Python и в многопользовательских инструментах Matlab. Использование компонентов метапрограммирования с шаблонами C++, а также «фабрик» проблемно-ориентированных языков для научных исследований (Domestic Specific Languages) может значительно повысить производительность. Что касается чрезвычайно актуальной математической базы знаний для математических моделей, вычислительных методов и технологий, то здесь хорошей информационной и методологической основой является проект ALGO-WIKI. Интеллектуализация ICE представляется безальтернативным и высокоприоритетным программным обеспечением для нового поколения математического моделирования на суперкомпьютерах. Следует отметить, что проект типа MegaScience не отменяет индивидуального программирования и предоставляет комфортную среду с многочисленными инструментами, что значительно повышает профессиональную специализацию и позволяет избежать дублирования работ. Не менее важным является другой фокус intelligent

ICE, а именно на формировании дружественных интерфейсов для конечных пользователей, которых можно разделить на следующие категории: ученые-исследователи и инженеры-технологи. Первое можно отнести как к теоретикам, так и к экспериментаторам. Суперкомпьютерное моделирование становится незаменимым инструментом для получения новых фундаментальных или прикладных знаний из любой научной области. Что касается практиков, то они в идеале получают виртуальных или цифровых двойников для своих объектов деятельности, с помощью которых они могут осуществлять или оптимизацию проектирования, или планирование, или эксплуатацию своих процессов. По сути, в таком симбиозе человек получает незаменимого и надежного помощника для принятия решений, а не конкурента или соперницу, как об этом пишут некоторые футурологи. И что очень важно в социальном смысле, можно получить широкий класс новых профессий с высокими навыками работы на суперкомпьютерах. Чтобы воплотить такую картину мира в реальность, вычислительному сообществу придется выполнить огромный объем работы, которая должна объединить специалистов самого широкого профиля на фундаменте математизации и искусственного интеллекта. С профессиональной точки зрения интеллектуальные программные компоненты ICE можно разделить на три части. Первый ориентирован на математиков и прикладных программистов, которые отвечают за производительность и автоматическое построение алгоритмов на архитектурах суперкомпьютеров. Вторая часть обеспечит гибкие внутренние и внешние интерфейсы для взаимодействия между подсистемами ICE и другими продуктами (включая системы CAD, CAE, CAM), а также организацию для пользователей с различными навыками. Последний, но наименее интеллектуальный инструмент касается поддержки собственного жизненного цикла, который требует от различных компонентов системы обслуживания и дальнейшего развития интегрированной вычислительной среды для рассмотренных выше этапов математического моделирования.

Следует отметить, что проблемы искусственного интеллекта и математического моделирования, по отдельности изучаются достаточно активно, однако пока они не стали объектами совместного целенаправленного исследования. Вместе с тенденциями в использовании ICE для математического моделирования это приведет к проекту национального масштаба, который потребует серьезных организационных решений, инфраструктуры и соответствующих инвестиций. Здесь многие принципы архитектуры, структурные решения, проблемы интеграции и проблемы ее реализации все еще представляют собой открытые вопросы и темы для будущих исследований.

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Плотинский Ю.М. Теоретические и эмпирические модели социальных процессов. — М., 1998.
2. Шведовский В.А. Динамическая модель электорального поведения // Математическое моделирование. 2000. Т. 12. № 8. С. 46–56.
3. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи, методы и примеры. — М., 1997.
4. Шишкин Е.В., Чхатишвили А.Г. Математические методы и модели в управлении. — М., 2000.
5. Guts A.K., Korobitsyn V.V. Computer modeling of ethnic processes. — Dep. in VINITI 2903-B 97. 2016.
6. Il'in, V.P.: The conception, requirements and structure of the integrated computational environment. In: Voevodin, V., Sobolev, S. (eds.) –RuSCDays 2018. CCIS, vol. 965, pp. 653–665.
7. Il'in, V.P.: Mathematical Modelling, Part I: Continuous and Discrete Models. SBRAS Publ., — Novosibirsk, 2017.
8. Il'in, V.P.: Fundamental issues of mathematical modeling. Her. Russ. Acad. Sci. 2016. — 86(2), 118–126.
9. Il'in, V.P.: Mathematical modeling and the philosophy of science. Her. Russ. Acad. Sci. 2018. — 88(1), 81–88.
10. Kleppe, A.: Software Language Engineering: Creating Domain-Specific Language Using Metamodels. Addison-Wesley, New York. 2008.
11. Feoktistov, A., Kostromin, R., Sidorov, I.A., Gorsky, S.A.: Development of distributed subject-oriented applications for cloud computing through the integration of conceptual and modular programming. In: Proceedings of the 41st International Conference on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, 2018, pp. 251–256.

---

© Ершов Виталий Владимирович (vvershov@sfedu.ru); Тетруашвили Елена Викторовна (evtetruashvili@sfedu.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»