

формация стала новым фактором производства наряду с капиталом, трудом, землей, предпринимательскими способностями, наукой. Тенденции повышения роли информации получили обобщенное выражение в гипотезе становления "информационного общества", в котором резко меняется представление о привычных понятиях — капитале, труде, власти, собственности.

Владение информацией становится подчас более существенным, чем владение собственностью. Использование информации может компенсировать ограниченность других ресурсов, оно открывает доступ к другим ресурсам. Оперативная техника пользования информационными данными становится эффективным средством принятия наиболее сильных технологических и коммерческих решений. В целом это приводит к тому, что информация становится мощным фактором ускорения изменений в экономике, поэтому информационная среда является существенной областью хозяйственной деятельности [7, 225].

Мировое экономическое пространство складывается под влиянием причин общеэкономического характера (экономическая цикличность развития ведущих стран, состояние мировой финансовой системы), стабильности международной торговли, зависящей в свою очередь от заключенных межправительственных договоров и соглашений (создание зон свободного предпринимательства, приграничной торговли, таможенных тарифах и пошлинах), международной конкуренции (увеличение доли рынка фирм-конкурентов за счет более высоких технологий или более дешевого труда).

Пространственно-временной аспект экономических отношений является основой изучения теории риска. Изменчивость параметров экономического пространства — это основная причина существования рисков. Практика и опыт работы зарубежных фирм в условиях рыночной экономики доказывает необходимость исследования экономических рисков, разработки методов их количественной оценки и механизмов управления ими.

#### Литература

1. Философия / В.Ф. Берков, П.А. Водопьянов, В.З. Волчек и др.; Под ред. Ю.А. Харина. М., 1998.
2. Бучило Н.Ф., Чумаков А.Н. Философия. М., 1998.
3. Общий курс менеджмента в таблицах и графиках: Учеб. для вузов / Б.В. Прыкин, Л.В. Прыкина, Н.Д. Эрнашвили, З.А. Усман; Под ред. Б. В. Прыкина. М., 1998.
4. Котлер Ф. Основы маркетинга: Пер. с англ. М. 1990.
5. Хоскинг А. Курс предпринимательства. М., 1993.
6. Стратегия и тактика антикризисного управления фирмой / Под ред. А.П. Градовой, Б.И. Кузина. СПб, 1996.
7. Экономика переходного периода / Под. ред. В.В. Радаева, А.В. Бузгалина. М., 1995.

**Е.Н. ЗАЙЦЕВА**

## ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ В ЭКОНОМИКЕ

Большинство современных экономических задач (прогнозирование стоимости ценных бумаг и акций, управление инвестиционными проектами, разработка маркетинговой стратегии и др.) относится к классу слабо формализуемых, что объясняется следующими причинами. Действительно, исходные данные в таких задачах характеризуются неполнотой, ошибочностью, неоднозначностью и (или) противоречивостью; для таких задач цели не могут быть выражены в виде точно и однозначно определенной целевой функции; алгоритмическое решение этих задач практически недостижимо из-за ограниченных вычислительных ресурсов (времени, памяти).

*Елена Николаевна ЗАЙЦЕВА, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий БГЭУ.*

Эти причины востребовали для решения экономических задач применения методов и инструментария искусственного интеллекта [1]. Изначально разработка и использование прикладных систем искусственного интеллекта характеризовались высокой стоимостью, что предопределило и ограничило сферу их применения — министерства, ведомства и крупные организации. Однако в настоящее время компьютер стал инструментом широкого круга пользователей, не являющихся специалистами в области вычислительной техники; экспоненциальный рост информации обусловил создание единых информационных ресурсов в виде баз данных, баз знаний и банков данных; развитие коммуникационных технологий позволило сформировать новые подходы к хранению, поиску, обмену и обработке информации; расширен круг решаемых с помощью компьютера задач и выполнена эффективная компьютеризация областей, в которых знания представляются в экспертной описательной форме.

Эти обстоятельства объясняют возникновение рынка более простых систем искусственного интеллекта. Для разработки таких систем потребовались исследования новых принципов их организации и построения. Одним из путей разработки систем искусственного интеллекта является использование *Soft Computing*. Этим термином объединен ряд современных технологий обработки слабо формализуемых данных на основе эволюционных вычислений, нечеткой логики, нейронных сетей и методов теории хаоса. Рассмотрим одно из направлений эволюционных вычислений — генетические алгоритмы.

**Генетические алгоритмы (genetic algorithms, GA).** В основополагающих работах показано, что использование формализованных принципов естественного эволюционного процесса эффективно для описания алгоритмов поиска и оптимизации [2]. В GA потенциальные решения (*хромосомы*) представляются в виде строки или вектора из двоичных символов (*генов*). Начальная популяция возможных решений, обычно случайно сгенерированная, оценивается согласно задаваемой пользователем целевой функции (*fitness-функции*), экстремум которой требуется найти. Поиск экстремума предусматривает выполнение операторов скрещивания и мутации хромосом, отображенных в соответствии со значениями их *fitness-функции*.

Оператор *скрещивание* позволяет получить новые хромосомы (потомков) путем комбинирования отдельных участков (свойств) исходных хромосом (родителей). Определение, какие именно участки родительских хромосом наследуются потомками, зависит от постановки задачи и выбранного способа представления решений. Число хромосом, подвергающихся скрещиванию, определяется коэффициентом, называемым *скоростью скрещивания*.

Операторы *мутации* генерируют новую хромосому путем (обычно случайно) изменения в одной родительской хромосоме. Число хромосом, подвергшихся мутации, определяется коэффициентом — *скоростью мутации*.

Процедура *селекции* предусматривает формирование новой популяции путем отбора хромосом с лучшими показателями *fitness-функции*. После отбора для хромосом новой популяции опять применяют скрещивание, мутацию и селекцию. GA продолжает свою работу, пока либо не сгенерирует априори заданного числа поколений, либо популяция не достигнет требуемого качества решения (состояние, в котором все хромосомы популяции оказываются настолько подобными, что поиск становится чрезвычайно медленным).

Характерными чертами GA является способность к поиску глобального экстремума и внутренний параллелизм (одновременный поиск и анализ совокупности решений в виде популяции) [2]. Достижение глобального экстремума осуществляется за счет выделения областей поиска путем объединения (через операторы скрещивания) квазиоптимальных решений. Определение новых областей происходит путем использования оператора мутации, позволяющего изменить направление поиска.

Простота исходных посылок обусловила широкую область приложения GA. Причем одним из направлений наиболее интенсивного их использования в настоящее время является решение экономических задач [3, 41–44; 4; 5; 6].

**Прямое и косвенное использование GA при решении экономических задач.** GA эффективно используются для решения NP-полных комбинаторных и оптими-

зационных задач [4, 7, 8]. В экономике ГА используются в двух аспектах: как составляющие методов решения экономико-математических задач и в качестве инструментальных средств их решения, средств интеллектуального анализа (например, экспертных систем, data mining, нейронных сетей и пр.).

*ГА как метод решения экономико-математических задач.* Современные эволюционные вычисления ориентированы на решение *сложных* детерминированных и недетерминированных задач большой размерности. Они не гарантируют обнаружение глобального экстремума (оптимального решения) за полиномиальное время, однако позволяют получить приемлемое (квазиоптимальное) решение для задач большой размерности, когда вычислительная сложность других методов неприемлема. При этом рост вычислительной сложности исходной задачи незначителен по сравнению с ростом размерности. Исходные данные в таких задачах, как правило, являются неполными или неточными, имеют большую размерность и слабо выраженные закономерности изменения.

Наиболее успешно в настоящее время ГА применяются для решения задач оптимизации, прогнозирования, классификации и кластеризации в таких научных областях, как математическое программирование, моделирование и теория игр.

Так, например, классические задачи математического программирования с бинарными переменными, такие, как задачи коммивояжера [2], составления расписаний [9] и транспортная задача [4, 10] являются основой для решения широкого круга задач планирования и оптимизации. Например, в работе [11] предложен ГА анализа инвестиций, необходимых на проведение маркетинговых исследований предприятия (постановка задачи выполняется в терминах задачи линейного программирования). Здесь необходимо отметить, что ГА достаточно просто адаптируются для решения задач нелинейного программирования [5, 8]. Именно эти методы в настоящее время приобретают все большее значение при решении многих экономических проблем, и в первую очередь в развитии банковских технологий [3, 12].

Анализ материалов научных журналов *Journal of Evolutionary Economics* и *Journal of Economics Dynamics and Control* показал, что при моделировании экономических процессов и систем ГА наиболее часто используются для построения динамических марковских и паутинообразных моделей. В работе [13] рассмотрена оригинальная методика анализа маркетинговых инвестиций на основе марковских моделей, синтезированной с помощью ГА. Н. Dawid использовал аналогичный подход для анализа балансных моделей [14]. ГА синтеза паутинообразных моделей преимущественно используются при решении вопросов ценообразования [15], маркетинговой политики [16] и выработке управленческих решений [17, 383–406]. В работе [5] с помощью ГА разработана имитационная модель налогообложения.

Сравнительно недавно в рамках эволюционной теории экономических изменений было разработано новое направление в теории игр — эволюционные игры (*evolutionary game*). Авторы работ [6, 18] показывают эффективность ГА при решении игровых задач с несколькими стратегиями развития.

Анализ этих и других работ подтвердил, что использование ГА позволяет получить альтернативные методы и алгоритмы решения, в ряде случаев эффективно дополняющие существующие классические методы.

*Прикладные инструментальные средства на основе ГА.* Современные инструментальные средства (системы) для решения экономических задач с использованием ГА условно подразделяются на экспертные системы, нейронные сети, системы поддержки принятия решений, data mining системы (DM-системы) и интеллектуальные агенты. Условность классификации определяется тем, что эти системы являются интегрированными и используют принципы обработки информации, характерные для разных классов прикладных инструментальных систем. Примером этого являются современные DM-системы, реализующие альтернативные технологии построения математической модели на основе неструктурированной информационной базы данных [19, 23–32]. Отличительной чертой этих DM-систем помимо компонент искусственного интеллекта является применение ГА. Наиболее используемыми DM-системами этого типа являются Prism (разработчик: фирма

Nestor), NExpert Object (Neuron Data), PolyAnalyst (Megaputer Intelligence). Эти системы применяются для обработки неполной, зашумленной и противоречивой исходной информации. Системы эффективны при проведении маркетинговых исследований, обработке кредитных карточек, в банковских и финансовых технологиях [19]. В аналитических работах отмечается, что DM-системы займут лидирующее положение в банковских и финансовых технологиях, несмотря на стоимость подобных систем от нескольких сотен тысяч до десятков тысяч долларов.

Помимо DM-систем в практике интеллектуального анализа банковских и финансовых технологий используются нейронные сети [1, 3, 20]. Известно несколько вариантов применения ГА для нейронных сетей. Так, при использовании нейронной сети при прогнозировании курса акций и ценных бумаг требуется принимать решение в реальном масштабе времени и учитывать постоянные изменения на бирже. В одной из версий нейронной сети BrainMake GA Training (разработка фирмы CSS), ориентированной на решение этой задачи, применяются алгоритмы обучения на основе ГА, превосходящие традиционные алгоритмы обучения [21].

Использование ГА для синтеза структуры нейронной сети позволяет определить ее оптимальную топологию для заданных данных, что реализуется в нейронных сетях финансового анализа в коммерческих банках: NeuralWare (фирма CSS) и Darwin (Thinking Machines). Однако наибольший эффект достигается в случае интегрированных систем, когда данные обрабатываются с помощью нейронной сети и ГА [20, 22]. Так, например, использование для прогнозирования рынка ценных бумаг системы NuroForecaster (NIBS Inc.) позволяет увеличить точность прогноза примерно на 10 %.

В работе [1] показана перспективность использования элементов ГА в современных экспертных системах. Эти системы используют для решения задач технического анализа, обработки маркетинговых исследований, выработки управленческих решений, для накопления, анализа, экстраполяции и представления в наглядном виде обрабатываемых данных (курсы валют, акций и фьючерсов, рыночные и макроэкономические индикаторы и т.д.). На рынке экспертных систем экономического профиля, использующих ГА, выделяют экспертную систему Nereid (совместная разработка NTT Data, The Tokai Bank, Science University of Tokyo) и XpertRule Analyzer (разработка фирмы Attar Software).

В составе интеллектуальных агентов ГА применяются в маркетинговых исследованиях, менеджменте и компьютерной торговле [23, 24]. Самостоятельно ГА используются, пожалуй, только в системах поддержки принятия решений. Такие системы преимущественно ориентированы на маркетинговые исследования, банковские технологии или принятие управленческих решений [3, 22, 25]. Например, система GeneHunter (Ward Systems Group) ориентирована на поддержку операций фондового рынка.

В завершение отметим, что в докладе "Использование адаптивных вычислительных методов в банковской и финансовой сфере" парижской консультационной компании Intertek Group отмечается, что именно *Soft Computing* перспективен для финансового анализа международных рынков капитала и выработки научно обоснованной политики маркетинга.

Анализ конкретных приложений использования прикладных инструментальных средств на основе ГА, ориентированных на решение экономических задач, позволяет сделать вывод о том, что несмотря на явные достоинства они пока не находят широкого применения на постсоветском пространстве из-за высокой стоимости и отсутствия специалистов экономического профиля, способных эффективно использовать возможности таких средств.

**Технология использования генетических алгоритмов.** В работах по развитию эволюционных вычислений отмечается, что ГА представляют собой не столько набор конкретных правил и алгоритмов, сколько идеологию, где качество решения задачи зависит от выбора представления для рассматриваемого решения; размера популяции; операторов формирования новых решений (скрещивания, мутации), которые бы оптимально учитывали особенности поиска решения для конкретной задачи.

Поэтому одной из актуальных задач практического использования ГА является разработка технологии применения этих алгоритмов для решения задач конкретной предметной области.

Предложенная автором технология разработки ГА предполагает две стадии. На первой стадии осуществляется структурная разработка алгоритма: формируются основные элементы алгоритма с учетом конкретного условия задачи. Данную стадию можно определить как *структурное проектирование ГА*. Ее основная цель — доказать сходимость алгоритма. На второй стадии разработки ГА осуществляется экспериментальное определение ряда параметров, таких, как размер начальной популяции, скорость скрещивания, скорость мутации и т.д. Эта стадия определяется как *экспериментальное проектирование ГА* и ее целью является минимизация времени работы алгоритма в процессе его эксплуатации.

**Выводы.** Таким образом, выполненный анализ показал, что генетические алгоритмы являются одним из динамично развивающихся направлений решения экономических задач. Наличие готовых инструментальных средств, реализующих принципы ГА, значительно упрощает их практическое использование для решения широкого круга задач экономического профиля.

В данной работе было показано значение и место ГА при решении экономических задач. В последующих работах планируется показать примеры использования ГА для решения конкретных экономико-математических задач.

#### Литература

1. Попов Э.В., Фоминых И.Б., Кисель Е.Б., Шанот М.Д. Статические и динамические экспертные системы. М., 1996.
2. Holland J.H. Adaptation in Natural and Artificial Systems. Cambridge, 1992.
3. Киселев М., Соломатин Е. Средства добычи знаний в бизнесе и финансах // Открытые системы. 1997. № 4.
4. Back T. Evolutionary Algorithms in Theory and Practice. Oxford, 1996.
5. Birchenhall C., Kastrinos N., Metcalfe S. Genetic Algorithms in Evolutionary Modelling // Evolutionary Economics. 1997. V. 7. № 4.
6. Dosi G., Marengo L., Bassanini A., Valente M. Norms as emergent properties of adaptive learning: The case of economic routines // Evolutionary Economics. 1999. V. 9. № 1.
7. Зайцева Е.Н., Станкевич Ю.А. Некоторые современные методы решения оптимизационных задач // Новые информац. технологии в экономике: Мат-лы III Междунар. науч. конф. Мн., 1996.
8. Zaitseva E. Genetic algorithms to minimize a multi-valued logic function represented by arithmetical polynomial forms // Evolutionary Algorithms in Engineering and Computer Science: Proc. of the Shot Course EUROGEN 99. Jyvaskyla, 1999.
9. Corne D., Ross P.M. Peckish initialisation strategies for evolutionary time-tabling // Theory and Practice of Automated Time-tabling: Proc. of the 1-st Int. Conf. Edinburgh. 1995.
10. Clement R.P., Wren A. Genetic Algorithms and Bus-Driver Scheduling // Computer-Aided Transport Scheduling: Proc. of the 6-th Int. Conf. Lisbon. 1993.
11. Coche J. An Evolutionary Approach to the Examination of Capital Market Efficiency // Evolutionary Economics. 1999. V. 9. № 4.
12. Riechmann T. Learning and behavioral stability An economic interpretation of genetic algorithms // Evolutionary Economics. 1999. V. 9. № 2.
13. Price T.C. Using Co-evolutionary Programming to Simulate Strategic Behaviour in Market // Evolutionary Economics. 1997. V. 3. № 3.
14. Dawid H. Learning of Cycles and Sunspot Equilibria by Genetic Algorithms // Evolutionary Economics. 1996. V. 6. № 4.
15. Arifovic J. Genetics Algorithm Learning and the Cobweb-Model // Journal of Economic Dynamic and Control. 1994. № 18.
16. Dawid H., Kopel M. On Economic Applications of the Genetic Algorithms: a Model of the Cobweb Type // Evolutionary Economics. 1998. V. 8. № 3.
17. Franke R. Co-evolution and stable adjustments in cobweb model // Evolutionary Computation. 1998. V. 8. № 4.
18. Friedman D. Evolutionary Economics Goes Mainstream: A Review of the Theory of Learning in Game // Evolutionary Economics. 1998. V. 8. № 4.
19. Ananyan S.M. How Database Marketing Could Marry Data Mining? // Open Systems. 1997. № 4.
20. Bauer R. Genetic Algorithms and Investment Strategies. London, 1994.
21. Yoon B., Holmes D., Langholz G., Kandel A. Efficient Genetic Algorithms for Training Layered Feedforward neural Networks // Information Sciences. New York, 1994.
22. Biethahn J., Nissen V. Evolutionary Algorithms in Management Applications. Berlin, 1995.
23. Barucci E. Heterogeneous Beliefs and Learning in Forward Looking Economic Models // Evolutionary Economics. 1999. V. 9. № 4.
24. Brenner T. Can Evolutionary Algorithms Describe Learning Processes? // Evolutionary Economics. 1998. V. 8. № 3.
25. Бахвалов Л., Копелев М. Генетические алгоритмы и планирование финансовой деятельности // Банк. технологии. 1999. № 1.