

ЭВОЛЮЦИОННЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: НАУКО- МЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

*И.М. Неклюдов¹, В.Ф. Клепиков², В.Ю. Корда², А.Г. Шепелев¹, Александр Шепелев³,
О.В. Немашко¹, Т.А. Пономаренко¹, Л.Д. Юрченко¹, Л.П. Корда¹*

¹ННЦ ХФТИ НАН Украины; ²ИЭРТ НАН Украины, г. Харьков, Украина;

³Университет Токио, г. Токио, Япония

Проведено систематическое наукометрическое исследование применений эволюционных компьютерных технологий в различных областях науки и техники. Проанализированы четыре полные Международные реферативные Базы данных: “Zentralblatt für Mathematik“, “International Nuclear Information System”, “Materials Science Citation Index” и “Database on Physics, Electronics and Computing”. Динамика информационных потоков по исследуемой теме имеет характер быстрого роста количества публикуемой информации. Результаты исследований свидетельствуют об актуальности, перспективности и возможности развития эволюционных компьютерных технологий в Украине.

ВВЕДЕНИЕ

Практически все научные и технологические проблемы, стоящие перед человечеством, обладают важной объединяющей особенностью: они носят оптимизационный характер. Действительно, например в физике, вариационный принцип, суть которого заключена в поиске некоторых оптимальных зависимостей для различных, не всегда наблюдаемых в эксперименте величин, порождает классическую и квантовую механику и оптику, квантовую теорию поля, специальную и общую теории относительности. В математике решение алгебраического (дифференциального, интегрального) линейного (нелинейного) уравнения есть задача о поиске оптимальной функции, максимально удовлетворяющей оператору задачи и граничным условиям. В химии (и фармакологии) создание нового соединения с заданными свойствами сводится к поиску оптимального состава неорганических (и органических) компонентов и оптимальной технологии их синтеза. В инженерии процесс проектирования промышленного объекта есть поиск его оптимальной конструкции с учетом свойств материалов и функциональных особенностей производственного процесса, для исполнения которого предназначен этот объект. В той или иной степени любую задачу из любой отрасли человеческой деятельности можно сформулировать как проблему оптимизации. Более того, биологическая жизнь сама по себе есть процесс оптимизации, направленный на адаптацию к постоянно меняющейся окружающей среде.

Современные оптимизационные задачи отличаются экстремально большим количеством варьируемых параметров, высокой степенью связности параметров задачи, сложной топографией пространства параметров, которая зачастую заранее неизвестна, непредсказуема и, к тому же, постоянно меняется во времени. К настоящему времени для решения таких экстремальных по сложности задач разработан целый ряд оптимизационных методов, основанных на определенной гибридизации следующих двух основных оптимизационных стратегий: детерминистической и стохастической. Детерминистическая стратегия в той или иной степени использует идею о наиболее быстрейшем достижении ближайшего оптимума, что обеспечивается благодаря учету предыдущих те-

стов целевой функции и расчету необходимых градиентов. Невзирая на высокую скорость работы, алгоритмы, использующие детерминистическую стратегию, имеют тенденцию к накоплению ошибок вычислений и, что более важно, оказываются мало эффективными в пространствах параметров с большим числом локальных оптимумов. Стохастическая стратегия так или иначе сводится к набору статистики случайных проб и ошибок. По построению методы, использующие такую стратегию, свободны от недостатков, присущих методам, основанным на детерминистической стратегии, и, в принципе, позволяют избежать остановок в локальных оптимумах, однако требуют значительных вычислительных ресурсов.

Описанные базовые идеи оптимизации имеют своей целью поиск либо одного очень точного решения (детерминистические методы), либо целого набора достаточно оптимальных решений (стохастические подходы). Кроме того, они либо принципиально последовательны (детерминистические методы), либо параллельны (стохастические подходы). С теоретической точки зрения, использование компьютеров с параллельной архитектурой процессоров позволяет значительно сократить время расчетов. На практике же это не дает ожидаемого выигрыша в скорости, так как для детерминистических методов требуется дополнительное распараллеливание, а для стохастических подходов становится актуальной проблема синхронизации параллельных процессов.

Следовательно, наиболее мощными и производительными должны оказаться методы оптимизации, которые, с одной стороны, нацелены на нахождение целого набора достаточно оптимальных решений вместо одного очень точного (свойство популяционности метода), а с другой стороны, хорошо приспособлены для использования на компьютерах с высокопараллельной архитектурой процессоров (свойство параллельности метода). Поэтому поиску именно таких алгоритмов в последнее время уделяется все больше внимания.

Инженеры и дизайнеры программного обеспечения всегда обращались за новыми идеями к биологии. Так произошло и с эволюционными компьютерными технологиями. Ученых всегда интересовало, каким образом природе удалось достичь такого разнообразия и приспособленности различных форм

жизни на Земле. Иными словами, какой метод оптимизации использует природа [1]? Ответ на этот вопрос дает теория эволюции, изложенная в любом учебнике по биологии. Стратегию оптимизации, основанную на генетической эволюции обычно называют эволюционным алгоритмом (ЭА) [2-5]. С точки зрения ЭА, процесс оптимизации представляет собой отбор наиболее подходящих (оптимальных для целевой функции) наборов оптимизируемых параметров. Вместе с тем, использование дарвиновской идеи о биологической эволюции посредством естественного отбора сопровождается воспроизведением деталей механизмов, благодаря которым эта эволюция осуществляется: мутация, рекомбинация и наследование. Эволюционный взгляд позволяет классифицировать детерминистические методы оптимизации как методы с полным наследованием, так как каждое новое вычисление целевой функции полностью определено предыдущим. Методы случайного поиска в этом же ракурсе характеризуются полным отсутствием наследования (полной мутативностью), так как каждое последующее вычисление целевой функции полностью независимо. Копируя природу, ЭА комбинирует мутацию, рекомбинацию и наследование таким естественным способом, который может быть легко настроен для решения практически любой задачи. Иными словами, эволюционный алгоритм является универсальным алгоритмом.

Простейший ЭА (называемый часто генетическим алгоритмом) выглядит следующим образом. Для генетической кодировки численных значений оптимизируемых параметров, наличия либо отсутствия некоторых специфических свойств сложной системы, исполняемых частей компьютерных программ, и т. д. используются двоичные числа. Каждый оптимизируемый параметр представляется последовательностью двоичных битов (генов). Полный набор генов (закодированных параметров) называют хромосомой. Каждая особь содержит полный набор хромосом (геном). Приспособленность (селективное качество) особи определяется тем, насколько хорошо данный набор параметров удовлетворяет условиям решаемой задачи. Фиксированное число особей образуют популяцию. Эволюционный процесс начинается с начальной популяции, составленной из особей, геномы которых заполнены случайными генами (численные значения оптимизируемых параметров выбраны случайно в требуемых диапазонах). Целевая функция вычисляется индивидуально для каждой особи, после чего последняя приобретает селективное качество (приспособленность). Из популяции выбираются две родительские особи, которые производят две особи-потомки (репликация родителей). Один из рецептов выбора родителей таков: чем выше приспособленность особи, тем выше для нее вероятность быть выбранной в качестве родителя. Генетические изменения в процессе репликации достигаются благодаря двум ключевым операторам алгоритма: мутации и кроссоверу. При мутации один или несколько битов гена потомка случайно инвертируются (относительно соответствующего гена родителя). При кроссовере гены потомков обмениваются комплиментарными связанными порциями битов. После репликации для каждого потомка вычисляется целевая функция и им присваивается

приспособленность. Далее из популяции выбираются две особи, на места которых помещаются особи-потомки. Один из рецептов отбора особей из популяции следующий: если данный потомок более приспособлен, чем наименее приспособленная особь в популяции, то последняя заменяется данным потомком. Важно, что численность популяции при этом сохраняется. Затем выбирается новая пара родителей и процесс повторяется. Эволюционный процесс разумно остановить, когда, например, все особи в популяции оказываются одинаково приспособленными, так что нельзя ожидать дальнейшего улучшения, либо все соответствующие друг другу гены совпадают по битам.

Ведущим оператором ЭА, порождающим эволюционный процесс, является мутация. Аналогично тому, как этот процесс возникает в живой природе, мутация в кибернетическом мире порождает новые гены. Кроссовер по сути есть механизм, посредством которого гены, рожденные благодаря мутации, дрейфуют в популяции, улучшая сходимость эволюционного процесса.

Величины и соотношения частот применения операторов мутации и кроссовера определяет, в конечном итоге, скорость и эффективность эволюционного процесса как способа достижения решения требуемой задачи с требуемой точностью. Например, частота мутации управляет степенью наследования: если она слишком велика, то наследование почти полностью отсутствует и ЭА становится одним из стохастических подходов; если она слишком мала, то наследование является практически полным и ЭА оказывается одним из детерминистических методов.

Описанный алгоритм может быть одинаково просто реализован в любой операционной среде и на любом языке программирования. Он идеально подходит для использования на компьютерах с параллельной архитектурой процессоров. Его параметры (размер популяции, число потомков, частоты мутации/кроссовера, стратегии выбора родителей и т. д.) легко настраиваются во время самого процесса решения задачи.

Универсальность и простота ЭА, а также быстрый рост производительности компьютерной техники, сопровождающийся ее стремительным удешевлением, обусловили постоянное расширение поля применений эволюционных алгоритмов. ЭА были успешно применены для решения таких проблем, например, как управление воздушным движением [6], распознавание образов [7], обучение нейронных сетей [8], прогнозирование экономики [9], интегрирование дифференциальных уравнений [10], предсказание структуры атомных и молекулярных кластеров [11], что открывает принципиальные возможности в конструировании новых фармацевтических препаратов, оптимизации процесса фрактального сжатия графической информации, оптимизации термодинамического анализа фазовых переходов [12], оптимизации диагностики и процесса лечения онкологических заболеваний [13-16], оптимизации антибактериальной терапии, моделировании экологических систем [5] и т. д.

Вместе с тем, такое разнообразие задач по тематике и сложности, решаемых с помощью ЭА, свиде-

тельствует об огромном поле оптимизационных проблем естественных и компьютерных наук, промышленности, проектирования, управления и бизнеса, ждущих своего разрешения. Следовательно, вызывает особый интерес проведение систематического наукометрического исследования областей применения ЭА.

В нашем исследовании использованы четыре полные Международные реферативные Базы данных (БД): “Zentralblatt für Mathematik“, 1950-2004 гг. (ZBMath), “International Nuclear Information System”, 1970-2004 гг. (INIS), “Materials Science Citation Index”, 1991-2004 гг. (MSCI) и “Database on Physics, Electronics and Computing”, 1969-2004 гг. (INSPEC). Первая БД содержит более 1,8 млн. рефератов из 2000 журналов, сериальных изданий и книг по математике, опубликованных по настоящее время. Вторая содержит более 2,4 млн. рефератов статей из журналов, отчетов и др. информационных документов по мирному использованию атомной энергии, введенных государствами-членами МАГАТЭ. Третья содержит более 2,5 млн. рефератов статей из 500 журналов мира, книг и трудов конференций, опубликованных по материаловедению. Четвертая содержит более 8 млн. рефератов статей из 6000 журналов, трудов конференций, книг и других источников по физике, электронике и вычислительной технике. В каждой БД мы провели автоматизированный анализ динамики информационных потоков по некоторым интересным направлениям исследуемой темы.

БД ZB MATH

На рис. 1 представлен график кумулятивного роста числа публикаций (нарастания общего количества информационных документов), посвященных генетическим и/или эволюционным алгоритмам (ключевые слова: genetic and/or evolutionary algorithms).

Отметим что, первая публикация, введенная в эту БД датирована 1973 годом. Это работа основоположника науки о генетических алгоритмах профессора Мичиганского университета Джона Холланда, книга которого [2] является первым систематическим изложением формальной теории эволюции посредством естественного отбора и примеров ее применения для решения различных технических задач.

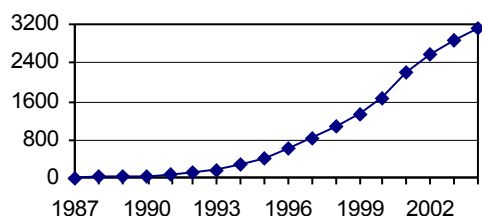


Рис. 1. Кумулятивный рост числа публикаций в БД ZBMath, посвященных применению генетических и/или эволюционных алгоритмов

Бурный рост числа публикаций отмечается с начала 90х годов XX-го века. Именно в это время начался процесс стремительного нарастания производительности компьютерной техники и быстрое ее удешевление, в результате чего эффективное использование генетических и эволюционных про-

грамм стало возможным даже на персональных компьютерах.

С позиции компьютерных наук (computer science), ЭА являются основным элементом процессов оптимизации, обучения, моделирования, проектирования и управления в самом широком смысле этих понятий. Поэтому мы провели дополнительный отбор информации по следующим ключевым словам: optimization (minimization, maximization, fitting, tuning); learning; modeling (simulation); design; control.

На рис. 2 и 3 показаны соответствующие графики кумулятивного роста числа публикаций.

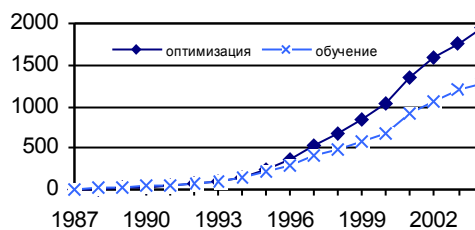


Рис. 2. Кумулятивный рост числа публикаций в БД ZBMath, в которых ЭА применяются для оптимизации и обучения

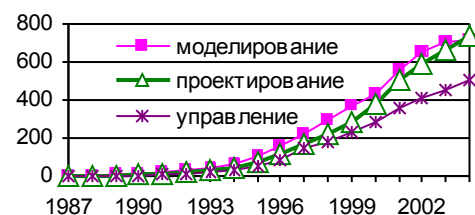


Рис. 3. Кумулятивный рост числа публикаций в БД ZBMath, в которых ЭА применяются для моделирования, проектирования и управления

Лидирующую позицию по числу публикаций и скорости их ежегодного прироста занимает оптимизация как наиболее важный и всеобъемлющий процесс. На втором месте – процессы, связанные с машинным обучением (робототехника, искусственные нейронные сети, адаптивные системы). Далее следуют моделирование, проектирование и управление как процессы, являющиеся производными от оптимизации и обучения.

Представляет особый интерес обозначение основных сфер применения ЭА, отмеченных в исследуемой БД. На рис. 4 приведены графики кумулятивного роста числа публикаций по наиболее популярным с точки зрения применений ЭА рубрикам БД.

Прежде всего – это компьютерные науки и все отрасли, связанные с математическим программированием и исследованием математических операций. Затем – численный анализ, теория систем и управление. Актуальными сферами оказываются также теория игр, экономика, социальные и поведенческие науки. Особый раздел – механика деформируемых

твердых тел (сверхпластичность, анализ и математическое моделирование условий сверхпластичной деформации).

Отметим также значительное число применений ЭА в статистике, информационных и коммуникационных цепях. Обращает на себя внимание наличие (небольшого числа) публикаций по темам, применение ЭА в которых, на первый взгляд, даже сложно себе представить: неассоциативные кольца и алгебры, теория групп, дифференциальная геометрия, многообразия и клеточные комплексы, квантовая теория, релятивизм и теория гравитации, астрономия и астрофизика.

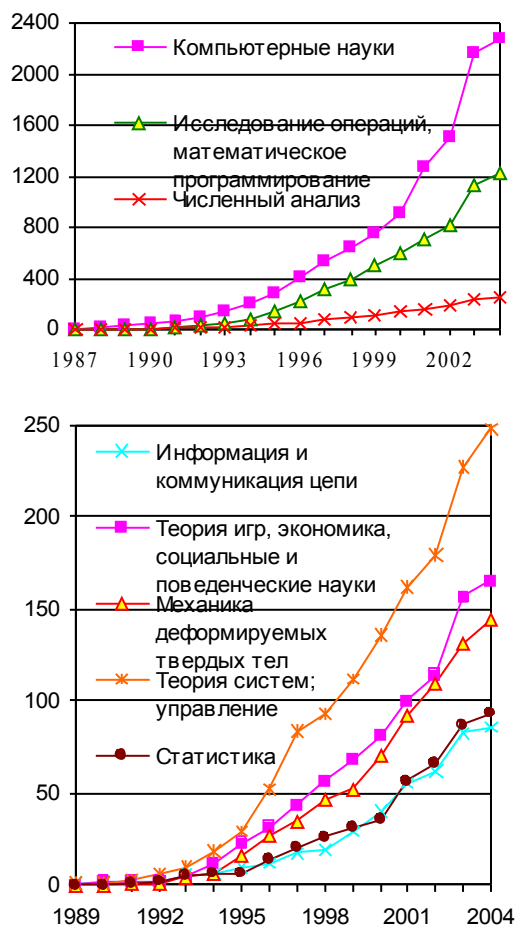


Рис. 4. Кумулятивный рост числа публикаций в БД ZBMath по наиболее популярным с точки зрения применений ЭА рубрикам БД

БД INIS

Первые публикации по применению ЭА в исследуемой БД появились в 1990 году и были посвящены проблеме оптимизации ядерного топливного цикла на атомных электростанциях (АЭС), моделированию потоков теплоносителя в трубопроводах контуров охлаждения АЭС и управлению технологическими процессами на АЭС. С этого момента и до настоящего времени наблюдается быстрый рост числа публикаций, иллюстрируемый рис. 5.

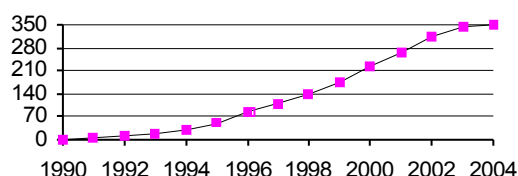


Рис. 5. Кумулятивный рост числа публикаций в БД INIS, посвященных применениям генетических и/или эволюционных алгоритмов

Как и для БД ZBMath, с учетом специфики БД INIS мы провели дополнительный отбор информации, ассоциированной с процессами оптимизации, моделирования и управления. Результаты приведены на рис. 6.

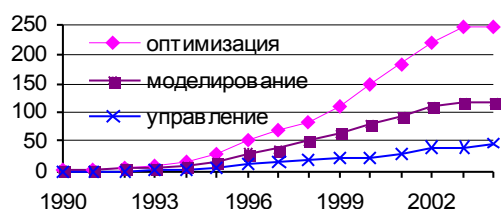


Рис. 6. Кумулятивный рост числа публикаций в БД INIS, в которых ЭА применяются для оптимизации, моделирования и управления

Основное число публикаций, как и ожидалось, посвящено оптимизации (ядерного топливного цикла, реакторов и АЭС, противоопухолевой радио- и изотопной терапии). Далее – моделирование (процессов, связанных с эксплуатацией ядерного топлива, реакторов и АЭС) и управление (технологическими процессами ядерной энергетики).

Специфика БД INIS подсказала потенциально наиболее актуальные сферы применения ЭА: ядерные реакторы, их топливо, активная зона (core) реакторов, медицина. Рис. 7 демонстрирует кумулятивный рост числа публикаций по выбранным темам.

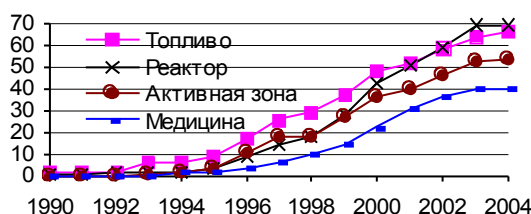


Рис. 7. Кумулятивный рост числа публикаций в БД INIS по наиболее популярным с точки зрения применений ЭА рубрикам БД

Анализ текстов рефератов публикаций показал, что наиболее интенсивно ЭА применяются для расчета и проектирования ядерных реакторов, выбора оптимальных режимов их эксплуатации, оптимизации ядерного топливного цикла, построения универсальных контроллеров и регуляторов технологических процессов на АЭС, оптимизации процессов лучевой и изотопной терапии раковых заболеваний.

Представляется интересным оценить вклад специалистов разных стран в проведение работ с использованием ЭА (рис. 8).

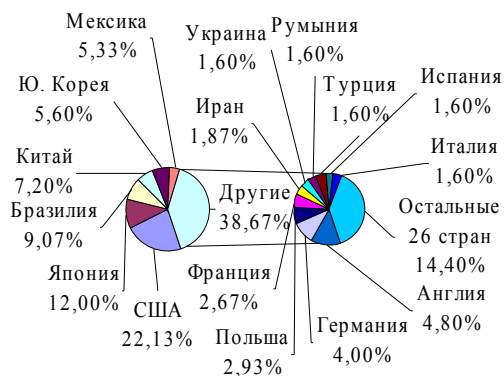


Рис. 8. Вклад специалистов разных стран в проведение работ с использованием ЭА в БД INIS

Бесспорным лидером являются США (пятая часть всех публикаций). Далее расположились Япония и Бразилия (вместе – также пятая часть всех работ). Более трети всех публикаций поделили между собой Китай, Корея, Мексика, Англия, Германия и Польша. Таким образом, в отмеченных странах выполнено более 70% всех работ. Заметим, что такие сильно зависимые от ядерной энергетики страны как Франция и Украина (из 6 работ 4 выполнены в Харькове) внесли весьма незначительный вклад (вместе 4%). Возможно, что рефераты работ в области ядерной физики и энергетики, проводимых в этих странах, просто по данному направлению исследований не внесены в БД.

БД MSCI

Как и в предыдущих двух БД, наблюдается бурный рост числа опубликованных работ по применению генетических алгоритмов в исследовании и создании материалов (рис. 9).

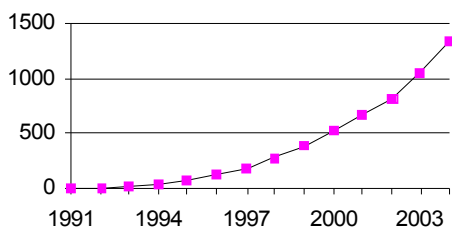


Рис. 9. Кумулятивный рост числа публикаций в БД MSCI, посвященных применению генетических и/или эволюционных алгоритмов

Первые работы появились в анализируемой БД в 1991 году и были посвящены изучению возможностей применения ЭА для управления процессами создания структур реальных материалов и автоматизированного структурного конструирования материалов с заданными свойствами.

На рис. 10 приведены результаты поиска по ключевым словам, идентифицирующим процессы оптимизации, моделирования, конструирования и управления.

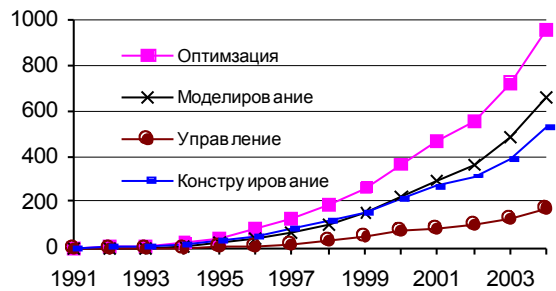


Рис. 10. Кумулятивный рост числа публикаций в БД MSCI, в которых ЭА применяются для оптимизации, обучения, моделирования, конструирования и управления

Заметим, что качественно полученные результаты для исследуемой БД не отличаются от результатов анализа для БД ZBMath и БД INIS. В большинстве работ ЭА используются с целью оптимизации компонентного состава материалов, их структуры и технологии производства для получения материалов с заданными свойствами и принципиально новых материалов. Процедуры математического моделирования и проектирования с помощью ЭА оказываются важным этапом в процессе проектирования новых материалов и позволяют прояснить физическую природу свойств известных материалов. Создание новых материалов невозможно без четкой и выверенной системы управления и мониторинга технологических процессов промышленного производства, и здесь применения ЭА занимают достойное место.

На рис. 11 приведены данные о кумулятивном росте публикаций по наиболее характерным, на наш взгляд, направлениям материаловедения.

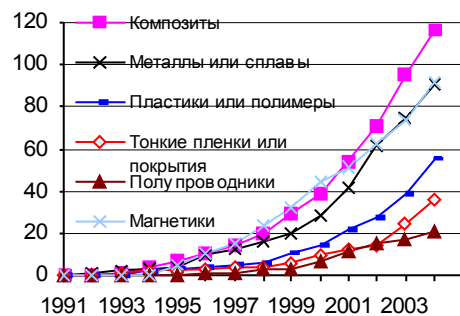


Рис. 11. Кумулятивный рост числа публикаций в БД MSCI по наиболее характерным с точки зрения применений ЭА рубрикам БД

Рис. 12 демонстрирует распределение публикаций по странам, где выполнены работы. Лидирующее положение традиционно занимают США – более четверти всех публикаций. Япония и Англия занимают второе место с общим вкладом около 25%. На третью позицию выходят Индия, Германия и Италия, имея менее чем 20% совместный вклад. Вклад Украины оценивается в 0.4% (из 4 работ 3 выполнены в Харькове).

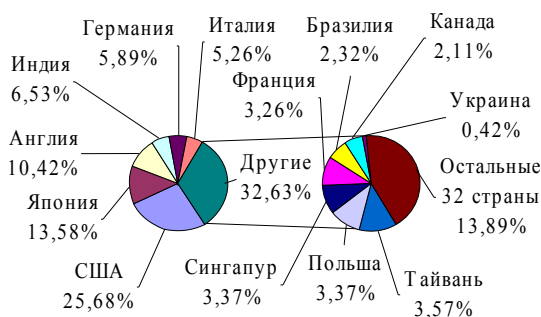


Рис. 12. Вклад специалистов разных стран в проведение работ с использованием ЭА в БД MSCI

БД INSPEC

Предварительный анализ БД показал, что общее число опубликованных материалов по теме исследования на конец 2004 года приближается к 35000 и продолжает стремительно нарастать. Почти в 19000 работ, отмеченных в БД, ЭА использованы как средства оптимизации, около 16000 публикаций посвящены применениям ЭА в качестве методов моделирования, более 8000 исследований демонстрируют результаты внедрения систем управления на основе ЭА, в 9500 случаях ЭА использованы для автоматизации выполнения конструкторских работ.

Отдельный интерес представляет динамика численности публикаций по ядерно-энергетической тематике. Приведем результаты поиска по ключевым словам, идентифицирующим основные объекты тематики: ядерное топливо (см. рис. 13), атомная электростанция (рис. 15), ядерный реактор (рис. 17) и активная зона (рис. 19). Видно что по всем рассмотренным направлениям исследований и разработок наблюдается нарастающий рост публикаций.

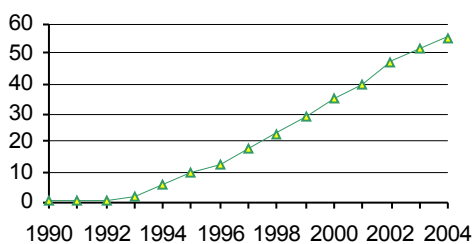


Рис. 13. Кумулятивный рост числа публикаций в БД INSPEC, отражающих применения ЭА, связанные с ядерным топливом

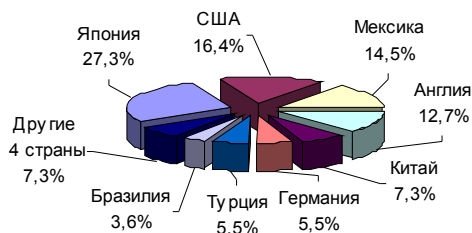


Рис. 14. Вклад специалистов разных стран в проведение работ по ядерному топливу с использованием ЭА в БД INSPEC

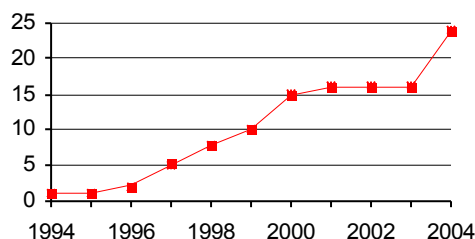


Рис. 15. Кумулятивный рост числа публикаций в БД INSPEC, отражающих применения ЭА, связанные с атомными электростанциями

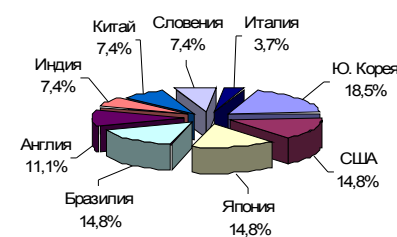


Рис. 16. Вклад специалистов разных стран в проведение работ, связанных с атомными электростанциями, с использованием ЭА в БД INSPEC

На рисунках 14, 16, 18 и 20 отражен вклад специалистов различных стран в соответствующие исследования. В то время как более половины публикации по применению ЭА для АЭС и ядерных реакторов выполнено в Ю. Корее, Бразилии, Японии и США, по проблемам ЭА и ядерного топлива основная масса публикаций выполнена в Японии, США и Мексике; интересно отметить что 75% публикаций, связанных с применением ЭА, для создания активной зоны реактора, осуществлено специалистами Бразилии и Ю. Кореи.

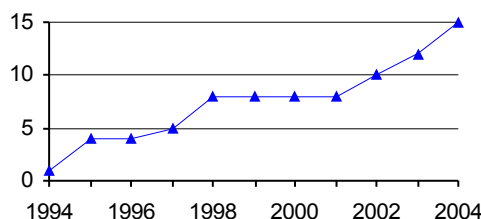


Рис. 17. Кумулятивный рост числа публикаций в БД INSPEC, отражающих применения ЭА, связанные с ядерными реакторами

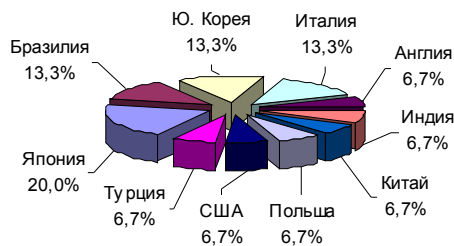


Рис. 18. Вклад специалистов разных стран в проведение работ, связанных с ядерными реакторами, с использованием ЭА в БД INSPEC

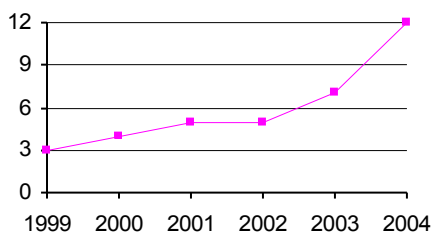


Рис. 19. Кумулятивный рост числа публикаций в БД INSPEC, отражающих применения ЭА, связанные с активной зоной реактора

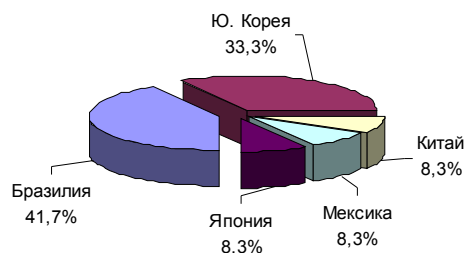


Рис. 20. Вклад специалистов разных стран в проведение работ, связанных с активной зоной реактора, с использованием ЭА в БД INSPEC

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ показал бурный рост количества публикуемой информации по применениям эволюционных алгоритмов в различных отраслях науки и техники, что свидетельствует, во-первых, о большом количестве актуальных задач, которые не удавалось разрешить ранее развитыми методами, во-вторых, об удивительной универсальности, мощности и простоте в использовании эволюционных алгоритмов, и в-третьих, об уровне производительности и доступности современной вычислительной техники. Эволюционные компьютерные технологии, так же как и эволюционные (генетические) биологические, являются технологиями XXI века.

Последствия их воздействия на наш мир и друг на друга трудно даже предсказать. Вместе с тем, как показывает наше исследование, чтобы занять достойное место на рынке эволюционных компьютерных технологий не требуются значительные капи-

тальные вложения, иными словами, Украина может себе это позволить.

Информационная поддержка работы осуществлялась в рамках Проекта INTAS 00-02. Авторы пользуются возможностью поблагодарить доктора Т.С. Чепурную и ее сотрудников из Центральной технической библиотеки Германии, а также сотрудников Базы данных "Zentralblatt für Mathematik" за большую помощь.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.C. Darwin. *The origin of species*. London: Murray, 1859, 835 p.
- 2.J.H. Holland. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1975, 764 p.
- 3.D.E. Goldberg. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. New York: Addison-Wesley, 1989, 890 p.
- 4.Z. Michalewicz. *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. Berlin: Springer-Verlag, 1994.-453p.
- 5.В.Ф. Клепиков, В.Ю. Корда, В.А. Ямницкий, Н.А. Шляхов, Ю.И. Трофимов, В.М. Шершнев. *Самоорганизация в программных средах*. Харьков: «Акта», 1998, 108 с.
- 6.R. Matthews. How do you work out answers to questions that would take a desktop computer 15 million years to solve // *New Scientist*. 1995. 28 Oct. Issue, p. 41–43.
- 7.C.A. Ankenbrandt, B.P. Buckles, F.E. Petry. Scene recognition using genetic algorithms with semantic nets // *In Genetic Algorithms*, B.P. Buckles and F.E. Petry Eds. // *IEEE Computer Society Press*, Los Alamitos, CA, 1992, p. 92.
- 8.S.A. Harp, T. Samad, A. Guha. Towards the genetic synthesis of neural networks // *In The proceedings of the Third international conference on Genetic Algorithms*, Morgan Kaufmann Publishers, San Meteo, California, 1989, p. 104.
- 9.J. Stender, T. Addis, E. Spenceley. Principle-based engineering and economic modelling // *In Parallel Genetic Algorithms: Theory and Applications*, Stender J. eds. // *IOS Press, Amsterdam*, 1993, p. 117.
- 10.D. Diver. Application of Genetic Algorithms to the Solution of Ordinary Differential Equations // *J. of Phys. A: Math. and Gen.* 1993, v. 26, p. 3503–3513.
- 11.J.R. Morris, D.M. Deaven, K.M. Ho. Genetic-algorithm energy minimization for point charges on a sphere // *Phys. Rev. B.* 1996, v. 53, N4, p. R1740–R1743.
- 12.S.V. Berezovsky, V.Yu. Korda, V.F. Klepikov. Multi-level genetic-algorithm optimization of the thermodynamic analysis of incommensurate phase in ferroelectric $Sr_2P_2Se_6$ // *Phys. Rev. B.* 2001, v. 64. N6, p. 3.1–3.7.
- 13.B. Sahiner, H.-P. Chan, N. Petrick, M.A. Helvie, M.M. Goodsitt. Design of a high-sensitivity classifier based on a genetic algorithm: application to computer-aided diagnosis // *Phys. Med. Biol.* 1998, v. 43, N10, p. 2853–2871.
- 14.O.C.L. Haas, K.J. Burnham, J.A. Mills. Optimization of beam orientation in radiotherapy using planar geometry // *Phys. Med. Biol.* 1998, v. 43, N8, p. 2179–2193.

15.X. Wu, Y. Zhu, J. Dai, Z. Wang. Selection and determination of beam weights based on genetic algorithms for conformal radiotherapy treatment planning // *Phys. Med. Biol.* 2000, v. 45, N9, p. 2547–2558.

16.E.K. Lee, R.J. Gallagher, D. Wu C.-S. Silvern, M. Zaider. Treatment planning for brachytherapy: an integer programming model, two computational approaches and experiments with permanent prostate implant planning // *Phys. Med. Biol.* 1999, v. 44, N1, p. 145–165.

ЕВОЛЮЦІЙНІ КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ: НАУКОВОМЕТРИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

***I.M. Неклюдов, В.Ф. Клепиков, В.Ю. Корда, А.Г. Шепелев, Олександр Шепелев, О.В. Немашкало,
Т.А. Пономаренко, Л.Д. Юрченко, Л.П. Корда***

Проведено систематичне науковометричне дослідження областей використання еволюційних алгоритмів. Проаналізовано чотири повні Міжнародні реферативні Бази Даних: “Zentralblatt für Mathematik”, “International Nuclear Information System”, “Materials Science Citation Index” і “Database on Physics, Electronics and Computing”. Відмічено бурне зростання кількості публікуємої інформації по досліджуемій темі. Визначено вклад основних країн в публікації. Зроблено висновок про актуальність, перспективність та можливості розвитку еволюційних комп'ютерних технологій в Україні.

EVOLUTIONARY COMPUTER TECHNOLOGIES: SCIENTOMETRIC INVESTIGATION

***I.M. Neklyudov, V.F. Klepikov, V.Yu. Korda, A.G. Shepelev, Oleksandr Shepelevyev,
O.V. Nemashkalo, T.A. Ponomarenko, L.D. Yurchenko, L.P. Korda***

A systematic scientometric investigation into the field of evolutionary algorithm application has been performed. Four total International Reference Databases “Zentralblatt für Mathematik”, “International Nuclear Information System”, “Materials Science Citation Index” and “Database on Physics, Electronics and Computing” were analyzed. A rapid rise in the quantity of information published on the topic under study is noted. The percentage of publications on the topic by different countries is determined. A conclusion is drawn on the urgency, prospects and possibility of evolutionary computer technology development in Ukraine.