

КОНЦЕРН «АВТОМАТИКА»



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«ПЕНЗЕНСКИЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»  
(АО «ПНИЭИ»)

Советская ул., д.9, Пенза, 440000  
Тел.(8412) 59-33-35  
Факс (8412) 59-33-50  
e-mail: pniei@penza.ru сайт: pniei.rf  
ОКПО 07509190 ОГРН 1115836009255  
ИНН 5836649358 КПП 583601001

24.08.2017 № 8379

На Ваш исх. 18-415 от 23.06.17

Председателю диссертационного совета  
Д 212.186.01 «ФБГОУ ВО ПГУ»  
В.И. Волчихину

440026, Пенза, ул. Красная, д.40

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. генерального директора  
АО «ПНИЭИ»



О.В. Ефимов

## ОТЗЫВ

ведущей организации

АО «Пензенский научно-исследовательский электротехнический институт»  
на диссертацию Кольчугиной Елены Анатольевны «Теоретические основы построения  
самоорганизующихся программных систем с самоорганизацией континуального типа»,  
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по  
специальности 05.13.17 — «Теоретические основы информатики»

### Актуальность темы диссертационной работы

Основная научная проблема, поставленная и решенная в диссертации Кольчугиной Е.А., состоит в формулировке и обосновании принципов создания самоорганизующихся программных систем с самоорганизацией континуального типа. В своей работе Кольчугина Е.А. обосновывает актуальность данной темы с позиций необходимости автоматизации процесса разработки программ, повышения его скорости и качества, снижения трудоемкости. Действительно, решение проблем автоматизации и повышения качества разработки программного обеспечения является актуальной необходимостью, и, как показывают приведенные в диссертации результаты оценочных расчетов и компьютерных экспериментов, применение теоретических принципов и методов, сформулированных и предложенных в диссертации, способствует решению этих проблем.

Однако следует отметить, что в диссертации автором затрагивается целый пласт других проблем, для решения которых результаты диссертационного исследования также имеют насущный характер.

В настоящее время решение задач обработки информации постепенно все более связывается с применением компьютерных сетей и сетевых технологий. Это означает не только то, что обрабатываемые данные передаются в сеть и поступают на множество вычислительных узлов, принадлежность, расположение и настройки которых пользователю неизвестны, но и необходимость загрузки и выполнения на компьютере пользователя стороннего программного кода: аглетов, Java-апплетов, различных программ диагностики, проверки версий и

тестирования производительности, наконец, всевозможных обновлений операционной системы, системных и прикладных программ. При этом пользователь зачастую лишен возможности управления процессом такой сторонней загрузки или отказа от ее последствий, что может негативно сказаться на целостности состояния вычислительной среды и устойчивости работы всей системы пользователя.

В диссертационной работе Кольчугиной Е.А. «Теоретические основы построения самоорганизующихся программных систем с самоорганизацией континуального типа» ставится цель не только наделить программы, функционирующие на базе распределенных вычислительных систем, способностью к эволюции и саморазработке на протяжении всего жизненного цикла, но и сделать процесс саморазработки и функционирования самоорганизующихся программ безопасным и управляемым, в частности, благодаря применению методов теории нумераций и передаче по сети не самих программных команд, а кодирующей последовательности более высокого уровня, заданной цифровой ДНК. Передача кодирующей последовательности высокого уровня позволяет принимающему вычислительному узлу проанализировать поступивший программный код и принять решение либо о сборке (в терминологии диссертации — реактуализации) и выполнении поступившей программы без изменений, либо о сборке и выполнении программы с учетом адаптации к настройкам текущего узла, либо о полном отказе от сборки и выполнения. Окончательная сборка программы производится только из тех компонентов, которые уже имеются на вычислительном узле, а не передаются по сети извне. С другой стороны, применение методов свертки теории нумераций к кодирующей последовательности способно воспрепятствовать анализу и подмене последовательности промежуточными вычислительными узлами.

Таким образом, диссертация Кольчугиной Е.А. посвящена решению актуальной научно-технической проблемы создания теоретических основ и разработке методов и средств построения самоорганизующихся программных систем с самоорганизацией континуального типа, способных к саморазработке и эволюции, но при этом управляемых и безопасных.

### **Структура, объем и основное содержание диссертационной работы**

Материалы диссертационной работы изложены на 295 страницах. В этот объем входят: введение, шесть глав, заключение, список литературы из 254 наименований и два приложения. В тексте диссертации имеется 43 рисунка и 10 таблиц.

Введение посвящено обоснованию актуальности темы диссертации, здесь же определяются предмет и объект исследования, формулируются цели исследования, определяются новизна и практическая ценность диссертационной работы.

**В первой главе** классифицируются изменяющиеся программы, формулируются понятия полностью самоорганизующейся программной системы и программной системы, полученной путем самоорганизации. Рассматриваются и классифицируются программные модели теории искусственной жизни, способные к самоорганизации континуального типа, но не обладающие практической полезностью. Предлагается рассматривать самоорганизующуюся программную единицу как аналог молекулярного организма. На основе этой аналогии предлагается функциональная модель цифрового организма как программы, которая может использоваться для решения практически значимых задач. Формулируются принципы парадигмы неравновесного программирования, рассматривающей процесс выполнения самоорганизующихся программ как полезную работу, совершаемую против модельного аналога термодинамического равновесия.

**Вторая глава** посвящена вопросам структурной организации цифрового организма, кодированию его свойств с помощью цифровой ДНК и операциям над цифровой ДНК. Предлагаются методы кодирования не только линейного, но и параллельного алгоритма поведения цифрового организма, а также операции, позволяющие получать новые линейные и параллельные алгоритмы поведения. Исследуются возможные аномалии выполнения таких



операций, выделяются различные типы эволюции, происходящей в самоорганизующейся программной системе.

**В третьей главе** рассматриваются вопросы исследования устойчивости динамики поведения цифровых организмов при помощи *NK*-подобных автоматов. Целью исследования является выявление условий, при которых динамика смены состояний цифрового организма в фазовом пространстве описывается аттрактором в виде предельного цикла, и в то же время сохраняется возможность перехода на другие аттракторы.

**В четвертой главе** исследуются вопросы применения методов теории нумераций для кодирования числовых последовательностей, представляющих цифровые ДНК, в виде целочисленных сверток. Применение методов теории нумераций позволяет сохранять текущее состояние программной системы, исследовать эволюцию состояний, генерировать новые программные решения на основе уже имеющихся. Становится возможным создание новой разновидности программно-информационных систем, основанных на взаимной двойственности программ и данных.

**Пятая глава** посвящена вопросам организации искусственных сред, или миров, в которых существуют и развиваются сообщества цифровых организмов, а также вопросам создания самоорганизующихся сообществ. С помощью предложенной в главе модифицированной модели «кучи песка» исследуется динамика пополнения данными растущих распределенных баз данных, которые могут служить субстратом для сообществ цифровых организмов.

**Шестая глава** содержит описание структуры системного программного обеспечения, которое служит платформой для реализации программных систем на основе парадигмы неравновесного программирования. Также в шестой главе приводятся результаты экспериментов с самоорганизующимися сообществами цифровых организмов и анализ этих результатов. Приведен пример проекта распределенной системы сетевого администрирования, построенной с использованием парадигмы неравновесного программирования. Даны оценки характеристик программного проекта, проводится сравнительный анализ эффективности реализации и сопровождения программного проекта при условии использования парадигм агент-ориентированного и неравновесного программирования.

Заключение посвящено формулировке основных научных результатов, полученных в диссертационной работе. Также показаны перспективы применения результатов исследования: они являются теоретической основой для построения самоорганизующихся программных систем с самоорганизацией континуального типа, обладающих практической полезностью

В двух приложениях к диссертации приведены математические обозначения, используемые в работе, а также акты внедрения и реализации результатов исследования.

Тексты автореферата и диссертации соответствуют друг другу, автореферат позволяет получить полноценное представление об основном содержании диссертации.

### **Научная новизна диссертационного исследования**

В диссертационном исследовании получены следующие результаты, отличающиеся научной новизной:

1) парадигма неравновесного программирования, предложенная впервые и основанная на бионических принципах;

2) функциональная модель самоорганизующейся программной единицы, или цифрового организма, в которой цифровой организм определяется как изменяющаяся качественно и структурно совокупность взаимосвязанных функций;

3) структурная модель цифрового организма, в которой цифровой организм рассматривается как совокупность отдельно представленных генотипа, заданного цифровой ДНК, и фенотипа, как совокупности данных и программного кода;

4) метод кодирования алгоритма поведения и свойств цифрового организма в виде цифровой ДНК, с помощью которого единообразно, в виде числовой последовательности, представляются как фрагменты программного кода, входящие в состав реализации алгоритма поведения, так и данные, представляющие свойства и текущее состояние цифрового организма;

5) метод кодирования в составе цифровой ДНК управляющих структур, представляющих параллельные версии алгоритма поведения цифрового организма, в основе которого лежит использование матрицы, задающей подмножество возможных параллельных алгоритмов поведения, в сочетании с формулой, задающей правило прочтения разбиения матрицы;

6) *НК* -подобная автоматная модель цифрового организма, отличная от известной *НК* - модели С.А. Кауффмана тем, что: а) множество элементов автомата разбито на два непересекающихся подмножества; б) имеется управляющий элемент, задающий программу поведения автомата, которая может быть описана ярусно-параллельной формой алгоритма с высотой более одного яруса;

7) методы кодирования ДНК-структур цифровых организмов при помощи функций свертки теории нумераций, в результате применения которых числовая последовательность, представляющая ДНК цифрового организма, заменяется одним целым числом, что является преимуществом с точки зрения хранения цифровых ДНК в базах данных, идентификации цифровых ДНК, генерации новых программных решений, хранения и исследования эволюции программной системы;

8) метод организации распределенного информационного поиска в растущих доменно-ориентированных базах данных с покортежным пространственным распределением отношений, реализуемый самоорганизующимся сообществом цифровых организмов и ориентированный на использование уникальных внутрисистемных идентификаторов значений из заданных доменов;

9) принципы организации замкнутых сред, или искусственных миров, для существования самоорганизующихся программных систем как сообществ цифровых организмов; отличительной чертой этих замкнутых сред является послойная пространственная организация;

10) впервые предложенная структура системного программного обеспечения, необходимого для реализации введенной парадигмы неравновесного программирования и создания самоорганизующихся программ, имеющая клиент-серверную организацию и использующая параллельные ветвления и программные шаблоны;

11) рекомендации по проектированию самоорганизующихся программных систем, в которых перечисляются элементы поведения цифровых организмов, необходимые для создания программных систем с требуемыми свойствами.

## Практическая ценность

Общая практическая ценность результатов диссертационного исследования связывается в первую очередь с тем, что в диссертации предлагаются технология, методы и средства создания самоорганизующихся прикладных программных систем с самоорганизацией континуального типа, способных к саморазработке и эволюционному самоусовершенствованию своего поведения на протяжении всего жизненного цикла, при этом управляемых и безопасных.

Практическая ценность отдельных результатов исследования состоит в следующем:

1) парадигма программирования позволяет унифицировать и стандартизировать процесс создания самоорганизующихся программных систем;

2) функциональная и структурная модели цифрового организма определяют технологию создания самоорганизующейся программной единицы;

3) метод кодирования ДНК цифрового организма позволяет применить по отношению к цифровой ДНК методы оптимизации для получения наилучших программных решений, то есть автоматизировать процесс программирования;



- 4) метод кодирования ДНК цифрового организма позволяет анализировать свойства цифровых организмов с целью удаления организмов с нежелательными свойствами;
- 5) метод кодирования параллельного алгоритма поведения цифрового организма позволяет применить методы оптимизации для получения наилучших программных решений;
- 6) *NK*-подобная автоматная модель позволяет исследовать динамические свойства цифровых организмов;
- 7) метод кодирования ДНК-структур при помощи методов свертки позволяет сохранять в базах данных цифровые организмы, проследить историю их изменений, а также автоматически генерировать новые программные решения на основе имеющихся;
- 8) метод организации растущих баз данных на основе доменно-ориентированной модели с покортежным и подомненным пространственным распределением отношений позволяет обеспечить хранение неограниченно больших массивов данных на основе вычислительных сетей с автоматизацией распределения отношений по узлам вычислительных сетей, а также выполнять новый вид запросов — расширенные запросы — которые приближают поиск информации в базах данных к релевантному поиску в Интернет;
- 9) принципы организации искусственных миров позволяют стандартизировать и автоматизировать процедуру создания искусственных миров и унифицировать правила генерации сообществ цифровых организмов, что способствует уменьшению временных затрат на разработку самоорганизующихся программ и повышению качества разработки;
- 10) предложенная структура системного программного обеспечения является прототипом для построения как серверной части программного обеспечения, так и программного обеспечения, представляющего отдельные цифровые организмы; в результате формализуются принципы построения соответствующего программного обеспечения, что позволяет обеспечить автоматизацию, унификацию и стандартизацию процесса разработки;
- 11) рекомендации по проектированию самоорганизующихся программных систем позволяют проектировать программные системы с заранее известными, предсказуемыми и требуемыми свойствами, при этом снижается трудоемкость проектирования и повышается его качество, что доказано результатами оценочных расчетов по методике PERT и результатами вычислительных экспериментов.

Результаты исследования обладают большой практической ценностью с точки зрения программной инженерии. Как показывают результаты экспериментов и оценочных расчетов, приведенных и описанных в диссертации, применение предложенных диссертантом принципов построения самоорганизующихся программ приводит к снижению трудоемкости процессов разработки и сопровождения программного обеспечения в десятки раз. Практическая значимость подтверждается актами внедрения и реализации на научно-производственных предприятиях и в сфере высшего образования.

Хотелось бы еще раз подчеркнуть, что, хотя автор видит основную практическую ценность исследования в сфере автоматизации разработки программ, результаты исследования обладают практической ценностью и с точки зрения повышения безопасности распределенной обработки информации в сети. Применение принципов, предложенных в диссертации, позволяет отдельным вычислительным узлам анализировать код поступающих на выполнение мобильных программ и принимать решение о допустимости или недопустимости сборки и выполнения этих программ. При этом фактически не происходит загрузки нового неизвестного программного кода из сети, сборка поступающих извне программ происходит только из тех компонентов, которые уже находятся на самом вычислительном узле. В результате процесс загрузки и выполнения сторонних программ становится управляемым и более безопасным.

## Соответствие диссертации заявленной научной специальности

Диссертация Кольчугиной Е.А. соответствует паспорту научной специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики», так как удовлетворяет формулировкам следующих пунктов:

1) п. 3, «Исследование методов и разработка средств кодирования информации в виде данных. Принципы создания языков описания данных, языков манипулирования данными, языков запросов. Разработка и исследование моделей данных и новых принципов их проектирования» — в диссертации были предложены: метод кодирования алгоритма поведения и свойств цифрового организма в виде структуры цифровой ДНК; метод кодирования в составе цифровой ДНК управляющих структур, представляющих параллельные версии алгоритма поведения цифрового организма; метод кодирования ДНК-структур путем применения методов свертки теории нумераций;

2) п. 9, «Разработка новых интернет-технологий, включая средства поиска, анализа и фильтрации информации, средства приобретения знаний и создания онтологии, средства интеллектуализации бизнес-процессов» — в диссертации была предложена новая технология организации распределения и поиска информации в распределенных растущих базах данных, которая может быть реализована на базе сети Интернет;

3) п. 10, «Разработка основ математической теории языков и грамматик, теории конечных автоматов и теории графов» — в диссертации была предложена *НК* - подобная автоматная модель и были исследованы ее свойства;

4) п. 13, «Применение бионических принципов, методов и моделей в информационных технологиях» — на основе бионических принципов была сформулирована новая парадигма неравновесного программирования;

5) п. 14, «Разработка теоретических основ создания программных систем для новых информационных технологий» — в диссертации разработаны теоретические основы создания программных систем, пригодных для реализации новой информационной технологии.

## Обоснованность и достоверность

Достоверность и обоснованность научных и практических результатов диссертации обеспечивается корректным применением математического аппарата; апробацией на научно-технических конференциях; практическими применениями полученных результатов, подтвержденных актами о внедрении и реализации.

## Публикации и апробации

По теме диссертации опубликовано 60 научных работ, в том числе 16 статей в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, 1 статья опубликована в журнале, входящем в перечень Scopus.

Результаты диссертационного исследования прошли апробацию и получили одобрение на международных и всероссийских научных конференциях и семинарах, проходивших в период 2004-2016 гг. в России и за рубежом.

## Личный вклад автора

Основная тематика исследования, постановка задач и подходы к их решению, а также полученные результаты отличаются не только новизной, но и оригинальностью и нестандартностью. В отечественной научной литературе аналогичная тематика практически не



затрагивается, а в зарубежной научной литературе данной теме посвящено относительно небольшое количество исследований, результаты которых опубликованы в основном в тематических журналах, таких как «Artificial Life», «Genetic Programming and Evolvable Machines», «Artificial Life and Robotics». Это облегчает задачу проведения экспертизы оригинальности исследования и его результатов, а также степени участия и личного вклада диссертанта.

Из 60 публикаций автора по теме диссертации 58 написаны без соавторов. Программное обеспечение, созданное в ходе работы над диссертацией, в том числе и программы, зарегистрированные в ФИПС, было написано автором единолично.

Все это убедительно свидетельствует о единоличном написании автором диссертации.

### Замечания по работе

1. Разработанный АО «ПНИЭИ» ГОСТ Р 52633.2-2010 касающийся скрещивания биометрических образов с использованием «мутаций» содержит ограничения, которые делают эволюционные континуально-дискретные алгоритмы устойчивыми. В работе Кольчугиной Е.А. ограничений на «мутации» практически нет, и тем не менее эволюционные алгоритмы устойчивы. При защите диссертации соискателю необходимо в явной форме сформулировать основную причину устойчивости ее алгоритмов, подтвержденную данными шестой главы.
2. Наш практический опыт показывает, что сходящиеся эволюционные алгоритмы регламентированные ГОСТ Р 52633.3-2011, дают до 60 поколений эволюции. К сожалению, работа Кольчугиной Е.А. не содержит подробного статистического описания минимального числа поколений, наиболее вероятного числа поколений, максимального числа поколений.
3. Еще одним недостатком работы является отсутствие в ней анализа информационного потенциала предложенного соискателем ДНК кодирования для проведенных численных экспериментов. Как минимум следует оценить число состояний, использованного при численном эксперименте кодирования с учетом структурных ограничений и избыточности кода.

4. На странице 98 в формуле 
$$Z^{m_1 m_2}(t) = \frac{1}{m_1} \sum_{j=1}^{m_1} \left( \frac{1}{m_2} \sum_{i=1}^{m_2} \left( \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |z_k^i(t) - z(t)_k^j| \right) \right) \rightarrow \alpha$$

имеется опечатка: вместо  $z(t)_k^j$  следовало написать  $z_k^j(t)$ ; эта же опечатка присутствует и в автореферате.

5. В 4 главе диссертации для конструирования функции свертки используется всего несколько функций нумерации пар; неизвестно, имеются ли другие подобные функции.
6. Сборка цифровых организмов на основе компонентов, хранящихся в базах данных, может привести к увеличению временных затрат на решение основной прикладной задачи.
7. Отсутствуют рекомендации по выбору функций нумерации пар для реализации функций свертки.

### Заключение

Диссертация Кольчугиной Е.А. «Теоретические основы построения самоорганизующихся программных систем с самоорганизацией континуального типа» отличается оригинальностью и новизной постановки задачи, является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, обладающей практической

значимостью и содержащей теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как новое крупное научное достижение. Диссертации присущи внутреннее единство и целостность, уровень и результаты исследования свидетельствуют о высоком научном потенциале автора и личном вкладе в науку.

Диссертационная работа Кольчугиной Елены Анатольевны соответствует специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики», отвечает всем требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Кольчугина Елена Анатольевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики».

Отзыв подготовили:

Начальник лаборатории биометрических и нейросетевых технологий (ЛБНТ)

АО «ПНИЭИ», д.т.н. по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации», доцент



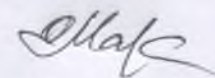
Иванов А.И.

Старший научный сотрудник ЛБНТ АО «ПНИЭИ» к.т.н. по специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики»



Майоров А.В.

Отзыв заслушан и одобрен на секции 8 НТС АО «ПНИЭИ» 23.08.17  
протокол № 5, секретарь секции



Максимова О.Г.