

## УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»,  
кандидат технических наук, доцент

Е.Р. Трубехин

«06» *ноября* 2018 г.



## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Матренина Павла Викторовича «Разработка адаптивных алгоритмов роевого интеллекта в проектировании и управлении техническими системами» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации» (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации).

**Актуальность темы диссертации.** В проектировании и управлении техническими системами возникают задачи оптимизации, сложность которых заключается в высокой размерности, значительной трудоемкости расчетов для оценки каждого варианта решения, недифференцируемости, наличии множества локальных экстремумов. Эффективным методом решения таких задач является применение методов локального поиска, в частности алгоритмов роевого интеллекта (swarm intelligence). Разработке, совершенствованию и применению данных алгоритмов посвящено значительное количество трудов как отечественных, так и зарубежных ученых. Развитие алгоритмов роевого интеллекта является одним из перспективных направлений в области методов решения оптимизационных задач. При этом возникает задача настройки (адаптации) различных алгоритмов роевого интеллекта под решаемые задачи оптимизации.

В диссертации автор разработал эффективную модель взаимодействия роевых алгоритмов и оптимизируемых систем и применения эволюционной мета-оптимизации параметров роевых алгоритмов.

Таким образом, актуальность диссертационной работы заключается в повышении адаптивных свойств алгоритмов роевого интеллекта для создания математического и программного инструментария, позволяющего эффективно решать оптимизационные задачи в области управления и проектирования технических систем.

**Содержание диссертации и автореферата.** Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы (182 источника) и 4 приложений. Основное содержание работы изложено на 166 страницах, полный объем – 197 страниц.

Во *введении* диссертации раскрыта актуальность работы, определены цель и задачи исследования.

В *первом разделе* представлен анализ оптимизационных задач в области проектирования и управления техническими системами и методов их решения. Дано обоснование эффективности методов локального поиска, в частности алгоритмов роевого интеллекта. Описаны существующие трудности в применении алгоритмов роевого интеллекта, такие как отсутствие единой терминологии и классификации, необходимость доработки алгоритмов для решения различных классов задач, необходимость настройки значений параметров роевых алгоритмов для получения высокой эффективности.

Во *втором разделе* приведена разработанная модель описания и классификации алгоритмов роевого интеллекта. Предложена единая терминология для различных роевых алгоритмов и универсальный интерфейс для их взаимодействия с решаемыми задачами оптимизации. В частности, предложено использовать непрерывное пространство поиска решений от 0 до 1 по всем управляемым переменным независимо от задачи оптимизации для минимизации влияния несущественных условий задачи на работу алгоритмов роевого интеллекта. В качестве метода настройки значений параметров роевых алгоритмов применена эволюционная мета-оптимизация на базе генетического алгоритма. Кроме того, во втором разделе приведены рекомендации по выбору роевых алгоритмов в зависимости от класса решаемых задач оптимизации и рекомендации по их программной реализации, повышающие точность и быстродействие алгоритмов.

В *третьем разделе* описаны результаты применения адаптивных алгоритмов роевого интеллекта для решения оптимизационных задач в области проектирования и управления электроэнергетическими системами. В работе рассмотрены задачи из различных классов. Многокритериальная дискретно-непрерывная задача оптимального проектирования распределения источников реактивной мощности для ее глубокой компенсации. Динамическая дискретно-непрерывная задача оптимального управления источниками реактивной мощности. Комбинаторная задача оптимального выбора положений анцапф трансформаторов. Непрерывная задача построения модели, прогнозирующей график нагрузки на систему электроснабжения. Для данных задач указано, как применить к ним алгоритмы роевого интеллекта исходя из их особенностей. Проведены вычислительные эксперименты и сравнения на моделях реальных электросистем, подтверждающие эффективность роевых алгоритмов и целесообразность их эволюционной адаптации. Посчитана экономическая эффективность разработанных инструментов оптимизации.

В *четвертом разделе* решения, полученные адаптивными алгоритмами роевого интеллекта, сравниваются с результатами роевых алгоритмов без адаптации и с наилучшими опубликованными результатами других авторов на широко известных тестовых NP-трудных задачах календарного планирования из библиотеки Operational Research Library. Показан новый способ применения в данных задачах алгоритмов роевого интеллекта как с непрерывным пространством поиска решений, так алгоритмов, предназначенных для решения комбинаторных задач и задач на графах.

В *пятом* разделе описываются разработанные программные продукты. Приведены принципы взаимодействия библиотеки роевых алгоритмов с программными реализациями моделей оптимизируемых систем. Показаны созданные приложения для решения задач календарного планирования, составления учебных расписаний и визуализации работы стохастических методов оптимизации.

В *заключении* сформулированы основные выводы диссертационной работы.

Автореферат в полном объеме отражает содержание диссертации. В нем изложены основные идеи и выводы диссертации, отражен личный вклад автора в проведенное исследование, охарактеризованы степень новизны и практическая значимость полученных результатов, а также обоснована структура диссертации.

**Научная новизна результатов работы.** В диссертации получены новые научные результаты в области алгоритмов роевого интеллекта для проектирования и управления техническими системами. Полученные автором результаты могут послужить заделом в развитии методов локального поиска для проектирования и управления техническими системами, в частности, в задачах электроэнергетики, а также в разработке и создании специализированных математических и программных средств решения задач календарного планирования.

**Основные новые научные результаты, полученные автором.**

1. Показано, что эффективная адаптация алгоритмов роевого интеллекта к условиям решаемых задач оптимизации требует устранения зависимостей между роевым алгоритмом и оптимизируемой системой. Для устранения указанной зависимости предложен интерфейс между разработанными роевыми алгоритмами и моделью оптимизируемой системы. Интерфейс является общим для различных алгоритмов роевых интеллектов и задач как дискретной, так и непрерывной оптимизации.

2. Проведено исследование эффективности мета-оптимизации алгоритмов роевого интеллекта на основе эволюционной адаптации значений их параметров под отдельные классы решаемых задач в области проектирования и управления электроэнергетическими системами.

3. На основании проведенной систематизации роевых алгоритмов выделены ключевые отличия различных алгоритмов роевого интеллекта и приведены эвристические правила их выбора для различных классов задач оптимизации.

4. Обоснована эффективность адаптивных роевых алгоритмов с точки зрения точности получаемых решений в многокритериальной дискретно-непрерывной задаче проектирования размещения источников реактивной мощности для ее глубокой компенсации в системах электроснабжения предприятий, а также в задаче оперативного управления источниками реактивной мощности.

6. Обоснована эффективность адаптивных роевых алгоритмов с точки зрения критерия точности получаемых решений в комбинаторной задаче настройки коэффициентов трансформации в нерадиальных сетях электроснабжения 110-220 кВ.

7. Предложен новый алгоритм однозначного отображения позиции в пространстве поиска решений роевых алгоритмов (как дискретных, так и непрерывных) в допустимое решение задачи календарного планирования класса job-shop scheduling; данный алгоритм обладает большей универсальностью, чем ранее используемые и позволяет вводить в постановку задачи дополнительные правила построения календарного плана.

**Практическая значимость результатов работы.** Полученные автором результаты доведены до практической реализации, ориентированной на решение задач оптимизации при проектировании и управлении техническими системами. Созданы программные интерфейсы для взаимодействия роевых алгоритмов и комплексов моделирования технических систем, таких как «Simulink» и «Rastr Win», что позволяет интегрировать роевые алгоритмы с уже существующими моделями различных систем для их оптимизации. Получены авторские свидетельства о государственной регистрации созданных программ. Результаты диссертационной работы рекомендованы к применению в АО «Уральский электрохимический комбинат» (г. Новоуральск) при проведении работ по техническому перевооружению подстанций комбината; теоретические и практические результаты работы также используются в учебном процессе Новосибирского государственного технического университета.

**Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.** Результаты диссертации могут быть использованы в научных и промышленных организациях, занимающихся проектированием технических систем, а также при создании программных комплексов для моделирования, оптимизации и управления электроэнергетическими системами. Новые результаты и разработанные приложения могут также найти применение в учебном процессе, в курсах, посвященных методам оптимизации. В частности, в СибГУТИ, НГУ, НГТУ (г. Новосибирск), ОмГТУ (г. Омск), ТГУ (г. Томск), МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Москва) и других вузах.

**Обоснованность и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается математическими выводами, проведенными вычислительными экспериментами, согласованностью полученных результатов с имеющимися данными в отечественной и зарубежной литературе и результатами моделирования. Проведено сравнение эффективности разработанных алгоритмов с результатами других авторов на известных «эталонных» решениях оптимизационных задач из библиотеки Operational-Research Library.

**Полнота опубликования результатов работы и апробация.** По материалам диссертации П.В. Матрениным опубликовано 33 работы, из них: 14 статей в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ (в том числе 5 статей в зарубежных научных изданиях, индексируемых Web of Science и / или Scopus); 8 статей в прочих научных журналах и сборниках; 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ; 7 статей в сборниках материалов международных конференций (из них 4 статьи в сборниках материалов международных конференций, которые входят в Web of Science). Все материалы диссертационного исследования достаточно полно отражены в опубликованных работах.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научных конференциях: Всероссийская научная школа конференция «Состояние и пути развития российской энергетики» (Томск, 21–23 октября 2014 г.), XI Международная IEEE Сибирская конференция по управлению и связи SIBCON-2015 (Омск, 21–23 мая 2015 г.), VII Международная конференция «Электротехника. Электротехнология. Энергетика» (Новосибирск, 09–12 июня 2015 г.), X Международная научно-практическая конференция «Объектные системы» (Ростов-на-Дону, 10–12 мая 2015 г.), XIII международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы

электронного приборостроения» (Новосибирск, 03–06 октября 2016 г.), 2nd International Conference on Energy Production and Management (Анкара, 06–08 сентября 2016 г.), 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (Челябинск, 19–20 мая 2016 г.), 18th International Scientific Conference on Electric Power Engineering, (Коуты над Десной, 17–19 мая 2017 г.), II Международная конференция «Устойчивое развитие городов» (Екатеринбург, 19 мая 2017 г.).

Публикации соискателя, содержащие основные результаты, соответствуют требованиям пунктов 11 и 13 Положения о присуждении ученых степеней. Диссертация отвечает требованиям пункта 14 Положения о присуждении ученых степеней и не содержит заимствованных материалов или отдельных результатов без ссылок на авторов и источники заимствования.

**Диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации», а именно:**

- п. 4: «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации».
- п. 5: «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации».
- п. 10: «Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических системах».

**Замечания по диссертационной работе.**

1. Из-за применения результатов в двух предметных областях: электроэнергетике и календарном планировании, возникает некоторый разрыв общей структуры работы.
2. В диссертации не приведены результаты исследований сходимости и вычислительной сложности используемых алгоритмов оптимизации, хотя делается акцент на их на высокой производительности.
3. В диссертации следовало более четко описать границы применимости разработанного метода адаптации роевых алгоритмов, а также параметры, определяющие целесообразность применения адаптации: размерности оптимизационных задач, ограничения на время получения решения, классы задач и т.д.
5. На рисунках 1.1 и 1.2. приводятся существующие классификации методов оптимизации, но классификация, которую далее в работе использует автор, не совпадает с ними, а схема авторской классификации не приведена.
6. На странице 75 для рисунка 2.2 не раскрыта аббревиатура «АРИ».
7. На странице 95 в таблице 3.9 не ясно, по какому принципу часть значений выделены полужирным шрифтом.
8. Код программного интерфейса разработанной библиотеки роевых алгоритмов в приложении «В» и его фрагменты в подразделе 5.2.1 являются близкими, но не идентичными.

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы П.В. Матренина, в которой решена актуальная научная задача, отличающаяся научной новизной и практической значимостью полученных в работе результатов.

**Общее заключение по диссертации.** Диссертация П.В. Матренина «Разработка адаптивных алгоритмов роевого интеллекта в проектировании и управлении техническими системами» является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, в которой, на основании выполненных исследований и разработок, изложены новые научно обоснованные решения в области проектирования и управления техническими системами на основе адаптивных алгоритмов роевого интеллекта, имеющие, в частности, существенное значение для решения оптимизационных задач в системах электроснабжения. Диссертация Матренина Павла Викторовича «Разработка адаптивных алгоритмов роевого интеллекта в проектировании и управлении техническими системами» соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Матренин Павел Викторович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации».

Заключение принято по результатам рассмотрения диссертации на заседании Кафедры вычислительных систем федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики», протокол № 3 от 6 ноября 2018 г.

Заведующий Кафедрой вычислительных систем  
д.т.н. (специальность – 05.13.15 «Вычислительные машины,  
комплексы и компьютерные сети»), доцент

  
М.Г. Курносов  
(Курносов Михаил Георгиевич)

06.11.2018.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

Адрес: 630102, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86

<https://sibsutis.ru>

Тел.: +7 (383) 269-82-28

E-mail: [rectorat@sibsutis.ru](mailto:rectorat@sibsutis.ru)

*Личную подпись удостоверяю  
начальник отдела кадров ОАУ  
Жукова Т.В.*

