

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Рябикова Андрея Игоревича
«Численные методы аппроксимации границы Парето в задачах оптимизации правил управления динамическими системами с разрывными многоэкстремальными критериями», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа Рябикова А.И. «Численные методы аппроксимации границы Парето в задачах оптимизации правил управления динамическими системами с разрывными многоэкстремальными критериями» посвящена развитию методов многокритериальной оптимизации (МКО), основанных на анализе границы Парето. Методы такого типа позволяют изучить объективные свойства задачи МКО без моделирования субъективных предпочтений лиц, принимающих решение. Такой подход особенно полезен в случае достаточно большого числа лиц, принимающих участие в выборе решения и имеющих несовпадающие, зачастую конфликтующие интересы. В качестве примера задач МКО такого типа можно назвать экологические проблемы. В связи с этим методы, основанные на анализе границы Парето, в последнее время привлекают все большее внимание практиков.

В диссертации Рябикова А.И. рассматривается один специальный класс задач МКО, а именно нелинейные многошаговые системы, для которых требуется оптимизировать параметры обратной связи, определяющей расчет управляющего воздействия по состоянию системы. В качестве прикладной задачи такого типа в диссертации рассматривается задача управления каскадом водохранилищ. При анализе этой задачи должны учитываться противоречивые требования к разнообразным характеристикам функционирования объекта управления. В качестве критериев выбора решения в диссертации берутся либо доля перебойных шагов по времени, т.е. шагов, на которых эти требования не выполняются, либо доля лет без перебоев (годовая обеспеченность). Зависимость таких критериев от параметров правила управления характеризуется многоэкстремальностью и отсутствием непрерывности. Методы аппроксимации границы Парето для задач МКО с такими сложными критериями до настоящего времени отсутствовали. Надо подчеркнуть, что использование этих критериев основано на методических указаниях Минприроды РФ по правилам управления водохранилищами. Важность рассматриваемых проблем определяет актуальность данной диссертационной работы.

Характеристика содержания работы

Диссертация Рябикова А.И. состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, содержащего 117 наименований. Диссертация имеет объем

в 195 стр.

Во Введении описан используемый подход к решению задач МКО (метод Диалоговых карт решений), в рамках которого вместо аппроксимации границы Парето строится аппроксимация оболочки Эджворта-Парето, с использованием которой осуществляется диалоговая визуализация границы Парето. Характеризуются главные особенности изучаемой прикладной задачи. Дается обзор существующих подходов к аппроксимации оболочки Эджворта-Парето и границы Парето в нелинейных невыпуклых задачах МКО и обсуждается возможность их использования для аппроксимации оболочки Эджворта-Парето в изучаемой прикладной задаче.

В главе 1 рассматривается прикладная проблема управления каскадом водохранилищ Ангары, включающем озеро Байкал, к которой применяются разрабатываемые методы. Формулируется математическая модель каскада, описывается класс правил управления и изучаются его свойства. Основным достижением данной главы является решение проблемы выбора начальных объемов воды в водохранилищах, обеспечивающих близость начальных и конечных объемов при расчете траектории модели по параметрам правил. Для её решения автором предлагается итеративный процесс поиска неподвижной точки некоторого отображения, для которого находятся и обосновываются достаточные условия сходимости. Далее формулируется общая задача многокритериальной оптимизации правил управления многошаговой системой, заданной черным ящиком, с критериями типа обеспеченности, представляющими собой сумму большого числа функций Хэвисайда, и анализируются свойства этой задачи. В частности, доказываемое достаточное простое условие устойчивости множества достижимых критериальных векторов и его оболочки Эджворта-Парето.

Вторая глава посвящена поиску глобального экстремума критериев рассматриваемого типа и их сверток. Это вспомогательная задача, решение которой могло бы позволить использовать для аппроксимации оболочки Эджворта-Парето оптимизацию сверток критериев. Для приближенного решения этих задач автор предлагает использовать градиентные методы оптимизации непрерывных вспомогательных функций, которые строятся путем замены функций Хэвисайда на степенные функции. Автор находит диапазон значений показателя степени, внутри которого удастся достаточно точно найти экстремум критериев. В то же время, эксперименты показали, что вряд ли возможно найти такие свертки критериев, что решение разумного числа задач локальной оптимизации с исходными точками процесса в случайных точках множества допустимых решений приведет к решению задачи глобальной оптимизации свертки, т.е. к критериальному вектору, оптимальному по Парето.

Проведенные эксперименты позволили автору обнаружить интересный факт, состоящий в том, что при правильном подборе исходных точек и сверток вспомогательных функций локальная оптимизация сверток позволяет качественно улучшить решение. На этом факте основывается предложенная

автором диалоговая итеративная человеко-машинная процедура «Метод наследуемого решения», являющаяся главным результатом гл. 2. В этой процедуре вместо общепринятого нахождения глобального оптимума свертки критериев на каждой итерации решается некоторое число задач локальной оптимизации свертки, причем множество исходных точек процесса локальной оптимизации берется не на всем множестве допустимых решений, а в малой окрестности решения, полученного на предыдущей итерации. Применяя этот метод к проблеме управления каскадом водохранилищ реки Ангара, автор смог найти некоторое решение задачи оптимизации правил управления каскадом, превосходящее ранее известные решения и удовлетворившее эксперта, участвовавшего в диалоговой процедуре.

Глава 3 содержит главный математический результат диссертации - новые численные методы аппроксимации оболочки Эджворта-Парето для многошаговых систем с критериями типа обеспеченности. Ставится задача разработки метода, который позволит строить аппроксимации оболочки Эджворта-Парето для задачи оптимизации правил управления ангарским каскадом водохранилищ с точностью в 1%, затратив на это не более 15 миллионов расчетов критериального вектора.

Надо подчеркнуть, что, в отличие от случая выпуклых задач оптимизации, численные методы решения задач глобальной оптимизации разработаны только для отдельных классов невыпуклых задач. Это тем более относится к задачам многокритериальной оптимизации. Поскольку автор экспериментально показал в предыдущей главе, что глобальная оптимизация свертки критериев типа обеспеченности слишком трудоемка, наряду с известными методами (типа мультистарта на основе локальной градиентной оптимизации) к решению задач приходится привлекать эвристические методы типа генетических методов аппроксимации границы Парето. На синтезе градиентного метода оптимизации и генетического метода аппроксимации границы Парето основан предложенный в работе метод инъекции оптимумов, в котором в популяцию известного генетического алгоритма NSGA-II периодически вбрасывается множество решений задач оптимизации отдельных (частных) критериев. Автор показывает превосходство предложенного метода по разным показателям, в том числе по скорости сходимости, которая у предложенного метода превосходит скорость сходимости генетического алгоритма на порядок.

Поскольку, как оказалось, метод инъекции оптимумов сам по себе не решает задачи с требуемыми точностью и затратами, автором предложены более эффективные методы - методы стартовой площадки. Они основаны на предварительном построении стартовой площадки такого подмножества множества допустимых решений, при решении задач локальной оптимизации с исходными точками из которого удастся аппроксимировать оболочку Эджворта-Парето. В диссертации стартовая площадка строится как с помощью метода инъекции оптимумов, так и альтернативными способами. Экспериментально показывается, что методы стартовой площадки превосходят

по различным показателям не только генетический метод, но и метод инъекции оптимумов. Различные варианты метода сравниваются между собой. Дается теоретическое обоснование некоторых свойств предложенных методов. Представляются весьма интересными экспериментальное сравнение порядка скорости сходимости генетического метода, метода инъекции оптимумов и метода стартовой площадки.

В Заключении приводятся основные результаты работы. Отметим, что в конце каждой главы приводится описание программного обеспечения, реализующего предложенные в ней методы и модели. Автор диссертации имеет свидетельство о регистрации программы для электронных вычислительных машин.

Достоверность, обоснованность и новизна результатов работы

Научные результаты диссертации, выносимые на защиту, обоснованы строгими математическими доказательствами и вычислительными экспериментами, описанными в работе. Достоверность полученных результатов подтверждается публикацией основных результатов диссертации, а также использованием результатов диссертации в работах, проводившихся в рамках четырех проектов РФФИ.

В работе Рябикова А.И. предложены, изучены и реализованы в виде программ для персональных компьютеров новые численные методы аппроксимации оболочки Эджворта-Парето для случая многошаговых систем с нелинейными критериями, которые представляют собой сумму большого числа функций Хэвисайда и являются разрывными функциями с большим числом локальных экстремумов. Предложен и экспериментально изучен новый метод построения вспомогательных функций для оптимизации разрывных критериев рассматриваемого типа, на основе чего предложена новая диалоговая итеративная процедура многокритериальной оптимизации, в рамках которой не требуется решать задачи глобальной оптимизации свертки критериев. Найдены достаточные условия сходимости итерационного процесса расчета подходящих исходных состояний модели каскада водохранилищ. На основе разработанных методов реализована новая методика многокритериальной оптимизации управления многошаговой системой с критериями типа уровня обеспеченности.

Публикация основных результатов

Основные результаты диссертации содержатся в 24 научных публикациях, в том числе в 10 статьях в журналах из списка ВАК. Семь публикаций входят в международные базы данных. Результаты работы докладывались на 13 конференциях, в том числе на 9 международных конференциях.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая ценность работы состоит в том, что

1. разработаны численные методы аппроксимации оболочки Эджворта-

Парето, основанные на концепции стартовой площадки и пригодные в случае многошаговых моделей с критериями типа уровня обеспеченности;

2. изучены свойства предложенных методов аппроксимации, в том числе дана оценка их скорости сходимости;
3. обоснована сходимость итерационного процесса поиска подходящих исходных состояний модели каскада водохранилищ;
4. предложена новая диалоговая итеративная процедура поиска предпочтительного решения при нескольких критериях, в которой не требуется на каждой итерации решать задачу глобальной оптимизации свертки критериев.

Практическая ценность состоит в том, что

1. реализована методика многокритериальной оптимизации правил управления многошаговой системой с критериями типа уровня обеспеченности, основанная на визуализации границы Парето. Практическая пригодность методики доказана ее применением при решении задачи оптимизации правил управления каскадом водохранилищ реки Ангара;
2. на основе предложенной методики разработано программное обеспечение.

Рекомендации по использованию результатов работы

Разработанную методику целесообразно использовать при решении задач построения правил управления каскадами водохранилищ, а также других водохозяйственных объектов. Разработанные методы аппроксимации оболочки Эджворта-Парето могут оказаться эффективными в задачах со сложными многоэкстремальными критериями других типов.

Замечания

Рассматриваемая работа не лишена некоторых недостатков.

1. Недостаточно точно описано правило остановки диалоговой процедуры «Метод наследуемого решения». Из-за этого остается неясным, какими свойствами обладает решение, на котором останавливается процедура.
2. Надо было бы более подробно описать построение регрессии при оценке скорости сходимости методов, оценить доверительные интервалы и т.д.
3. Число расчетов критериальной функции округляется то с точностью до миллиона, то с точностью в 100 тысяч, что затрудняет сравнение числа расчетов.

Указанные замечания не имеют принципиального характера и не снижают общей положительной оценки диссертации.

Общая оценка работы

Кандидатская диссертация «Численные методы аппроксимации границы Парето в задачах оптимизации правил управления динамическими системами с

разрывными многоэкстремальными критериями» Рябикова Андрея Игоревича является завершенным научным исследованием, содержащим новые научно-обоснованные методы аппроксимации оболочки Эджворта-Парето в нелинейных многошаговых задачах многокритериальной оптимизации с многоэкстремальными критериями. Диссертация представляет собой самостоятельно выполненную автором научно-квалификационную работу, она содержит новые научные результаты и имеет практическую значимость в виде реализованного комплекса программ и найденных эффективных решений задачи оптимизации параметров правил управления Ангарским каскадом водохранилищ.

Содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 1.2.2 - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» для физико-математических наук по направлениям

« 1. Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений»,

« 3. Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий» и

« 4. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента».

Выводы

Диссертация по избранной теме, степени обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в работе, их достоверности и новизне соответствует критериям Положения о присуждении ученых степеней (пункты 9 – 14), утвержденного постановлением правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. Таким образом, диссертационная работа Рябикова Андрея Игоревича «Численные методы аппроксимации границы Парето в задачах оптимизации правил управления динамическими системами с разрывными многоэкстремальными критериями» отвечает всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Рябиков А.И. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Автореферат диссертации адекватно отражает содержание работы.

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор,

профессор-исследователь департамента математики факультета

экономических наук Национального исследовательского университета

«Высшая школа экономики»

Подпись заверяю
Спец. по персоналу
Конев А.О.



В.В. Подиновский

Сведения об организации:
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»
РФ 101000 Москва, Мясницкая ул. 20
Тел.: +7 (495) 771-32-32
Факс: +7 (495) 628-79-31
E-mail hse@hse.ru



Подпись доктора технических наук
В.В. Подиновского заверяю

« 12 » мая 2022 г.

Подпись заверяю
Спец. по персоналу
Конева Д.О.