

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Гайнанова Дамира Насибулловича на тему «Математическое и программное обеспечение вычислительных комплексов для решения задач анализа несовместных систем с массивно параллельной обработкой данных», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей», по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

В диссертации Гайнанова Д. Н. исследуются структурные и комбинаторные свойства несовместных систем ограничений, и на их основе разрабатывается методология численного моделирования прикладных задач управления технологическими процессами, а также методология параллельной обработки данных для их эффективного решения в условиях больших размерностей и высокой комбинаторной сложности.

Теория несовместных систем условий предоставляет адекватный и обширный аппарат для моделирования многих прикладных задач оптимизации. Так, в частности, в диссертации исследуется задача прогнозирования качества металлургического производства в контексте задачи распознавания образов в геометрической постановке. Последняя, в свою очередь, тесно связана с задачей анализа несовместных систем линейных неравенств. Такой подход является новым и впервые был предложен автором диссертации в работах 2017 года. Важным его свойством является формирование исторической базы производства, которая характеризуется большими объемами и размерностью данных, подлежащих обработке. Для этих целей в диссертации разработана и реализована в управляющей программе методология параллельной обработки данных на сети задач распознавания образов. Высокая эффективность этой методологии достигается также за счет реализации полиномиальных алгоритмов дихотомии для построения решающих правил в каждом классе обучающей выборки. Так, например, результаты вычислительных экспериментов на случайных данных демонстрируют в среднем 88,4 %

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ

Вх. №

10 09 2018

близости приближенного решения к оптимальному, полученному полным перебором.

Другая прикладная задача – управление процессами планирования и организации грузовых железнодорожных перевозок – исследуется в диссертации в контексте задачи расшифровки монотонной булевой функции (МБФ), порожденной неориентированным графом. Следует отметить, что такие задачи характеризуются особой практической значимостью ввиду широкого распространения железнодорожного транспорта, и, вместе с тем, высокой комбинаторной сложностью. Последнее обстоятельство мотивировало разработку эффективной методологии для реализации параллельных вычислительных процессов на независимых участках сети. Эта методология формализована в работе как алгоритм декомпозиции множества путей ориентированного графа на заданном наборе сильно связанных подграфов. В этих терминах независимым участкам сети соответствуют сильно связанные подграфы, а каждая из полученных подзадач характеризуется существенно меньшей размерностью. Для реализации этапа предварительной обработки исходных данных в диссертации также разработан эвристический алгоритм с гарантированной верхней оценкой, высокая производительность которого подтверждается результатами вычислительных экспериментов на дополнительных графах открытой библиотеки.

Таким образом, тематика диссертации Гайнанова Д. Н., направленная на разработку математических методов и вычислительных технологий для решения прикладных оптимизационных задач высокой комбинаторной сложности с большим числом несовместных ограничений, является **актуальной**.

Диссертация состоит из введения с обзором результатов, полученных другими авторами, шести глав, заключения и списка литературы.

В первой главе вводятся базовые конструкции, на основе которых в последующих главах разрабатываются математические модели для исследования структурных и комбинаторных свойств несовместных систем условий.

Во второй главе разрабатываются графовые математические модели для решения задач анализа несовместных систем и исследуются их фундаментальные свойства. Как частный класс графовых моделей исследуется специальная математическая конструкция – граф максимальных совместных подсистем несовместных систем линейных неравенств (граф

МСП). Получена характеристика графа МСП и установлены такие практически значимые его свойства, как связность и наличие цикла нечетной длины. На основе этих свойств в последующих главах разрабатываются эффективные алгоритмы, программная реализация которых лежит в основе математического обеспечения вычислительного комплекса для решения задач анализа несовместных систем.

В третьей главе разрабатываются геометрические математические модели для решения задач анализа несовместных систем линейных неравенств. Результаты, полученные в этой главе, кроме непосредственной значимости для целей исследования, представляют также самостоятельный научный интерес. В рассмотрение вводится конструкция G-диагонали набора точек евклидова пространства и устанавливается соответствие с известными (предложенными другими авторами) конструкциями A- и F-диагоналей. При этом доказано, что классическая классификация многогранников совпадает с классификацией по диагональному типу только в случае G-диагоналей. Кроме того, в рамках исследования комбинаторных свойств несовместных систем, установлено соответствие между семейством МСП несовместной системы линейных неравенств и семейством G-диагоналей некоторого выпуклого многогранника, а также получены нижние оценки для максимального числа МСП исходной системы.

В четвертой главе разрабатывается методология численного решения задач анализа несовместных систем и связанных с ними задачи распознавания образов в геометрической постановке, задачи расшифровки монотонных булевых функций (МБФ) и ее частного случая в классе функций, порожденных неориентированными графами. На основе свойств несовместных систем, установленных в предыдущих главах, разрабатываются алгоритмы поиска и подсчета их максимальных совместных и минимальных несовместных подсистем, приближенный алгоритм синтеза минимального комитета несовместной системы линейных неравенств и алгоритм классификации равномоощных комитетов, алгоритм расшифровки МБФ, оптимальный по нормированному критерию, а также эвристический алгоритм поиска максимального независимого множества с гарантированной верхней оценкой приближенного решения. Работоспособность разработанных алгоритмов подтверждается результатами вычислительных экспериментов на тестовых данных и на данных открытых библиотек, что позволяет осуществить сравнительный анализ с результатами, полученными другими авторами в этой области.

В пятой главе исследуются экстремальные задачи управления технологическими процессами в условиях большого числа несовместных ограничений. Для их эффективного решения разрабатывается методология параллельной обработки данных на ориентированном графе и множестве сильно связных подграфов и на сети задач распознавания образов в геометрической постановке. Для реализации некоторых этапов решения, таких, как переобучение системы распознавания и расшифровка МБФ, связанной с исходной системой ограничений, разрабатываются эвристические алгоритмы и приводятся результаты вычислительных экспериментов с использованием этих алгоритмов.

В шестой главе разрабатывается функционал вычислительного комплекса для решения задач анализа несовместных систем условий с массивно параллельной обработкой данных. Приводится структурная схема архитектуры комплекса и разрабатываются принципы взаимодействия его составляющих элементов. В рамках этой схемы алгоритмы численного решения задач анализа несовместных систем реализованы программно и располагаются на сервере математических моделей. На основе методологии, разработанной в предыдущей главе, разрабатываются две управляющие программы, предназначенные для реализации в вычислительном комплексе массивно параллельной обработки данных. Для эффективного использования вычислительного комплекса в приложении к решению прикладных задач разрабатываются два комплекса проблемно-ориентированных программ. В рамках общей архитектуры эти комплексы располагаются частично на серверах сбора и хранения данных и реализуют авторские методы обработки данных, что подтверждается свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ и патентами на изобретения.

В заключении приводится обзор теоретических и практических результатов, полученных в диссертации.

В диссертации получены следующие **новые научные результаты**:

- разработана графовая математическая модель для решения задач анализа несовместных систем условий – граф системы независимости. Доказана связность графа системы независимости для ряда практически важных классов несовместных систем. На основании этого результата для частной математической модели – графа максимальных совместных подсистем несовместной системы линейных неравенств (графа МСП) – доказаны связность, наличие цикла нечетной длины, а также получены

оценки для степеней вершин и диаметра. Для некоторых классов несовместных систем линейных неравенств доказана 2-связность их графов МСП;

- на основе свойства связности графа МСП разработаны вычислительные алгоритмы поиска всех максимальных совместных подсистем (МСП) несовместной системы линейных неравенств. Доказано, что цикл нечетной длины в графе МСП соответствует комитету исходной системы, и разработан приближенный алгоритм синтеза минимального комитета. Введено понятие альтернативного покрытия комитета и разработан критерий классификации комитетов по мощности соответствующих альтернативных покрытий;

- разработана математическая модель для решения прикладной задачи прогнозирования качества металлургического производства, в рамках которой задача сводится к задаче распознавания образов в геометрической постановке в условиях непрерывного расширения обучающей выборки. Разработан и реализован в управляющей программе метод параллельной обработки данных на сети задач распознавания образов;

- разработана геометрическая модель для решения задач анализа несовместных систем линейных неравенств. Введено понятие G -диагонали выпуклого многогранника и доказано, что классификация многогранников по типу G -диагоналей совпадает с классификацией по типу решеток граней. Доказано, что семейство МСП несовместной системы линейных неравенств взаимно однозначно соответствует семейству G -диагоналей некоторого выпуклого многогранника. На основании этого результата получены нижние оценки для максимального числа МСП несовместной системы линейных неравенств;

- разработана булева модель для решения задач анализа несовместных систем условий. Для МБФ, порождаемых несовместными системами линейных неравенств введен нормированный критерий оптимальности алгоритма расшифровки МБФ и разработан алгоритм расшифровки МБФ, оптимальный по этому нормированному критерию. В результате использования этого алгоритма из множества максимальных верхних нулей МБФ (найденного за минимально возможное число шагов) может быть восстановлено семейство МСП соответствующей несовместной системы;

- разработана математическая модель для решения прикладной задачи управления транспортными процессами в условиях большого числа противоречивых ограничений на использование ресурсов. Для снижения размерности исходной задачи разработан и реализован в управляющей

программе метод декомпозиции ориентированного графа на множестве сильно связанных подграфов. С помощью этого метода исходная задача сводится к серии аналогичных задач существенно меньшей размерности;

- разработаны два комплекса проблемно-ориентированных прикладных программ для решения задач управления технологическими маршрутами и транспортными процессами в условиях большого числа противоречивых ограничений, а также принципы взаимодействия этих комплексов с другими программными модулями в составе вычислительного комплекса для решения задач анализа несовместных систем. В частности, взаимодействие прикладных программ с сервером хранения данных и сервером математических моделей реализовано в вычислительном комплексе с помощью управляющих программ, что позволяет в полной мере задействовать разработанный в диссертации аппарат численного решения задач анализа несовместных систем и методологию параллельной обработки данных на сети задач распознавания образов и на графах.

Достоверность научных результатов, полученных в диссертации, обосновывается корректностью исходных математических постановок исследуемых задач, использованием адекватных математических моделей, строгими доказательствами теорем, а также результатами многочисленных вычислительных экспериментов с использованием разработанных алгоритмов.

По результатам диссертации опубликованы 56 работ, среди которых 2 монографии, 25 статей в научных журналах (включая 13 статей в журналах из Перечня ВАК и 23 – в журналах, реферируемых базами Scopus и/или Web of Science), 4 программы для ЭВМ и 4 патента на изобретения. Автор является лауреатом премии им. Е. А. и М. Е. Черепановых по направлению научно-технической деятельности и премии Правительства РФ в области науки и техники.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Диссертация изложена на высоком математическом уровне.

Замечания:

1. Прикладная задача управления транспортными процессами в условиях противоречивости исследуется в своей общей постановке в пятой главе диссертации (раздел 5.1). Для ее решения разрабатываются алгоритм расшифровки МБФ, оптимальный по нормированному критерию, эвристический алгоритм с гарантированной верхней оценкой, а также алгоритм декомпозиции множества путей ориентированного графа на заданном множестве сильно связанных подграфов, реализующий принципы

параллельной обработки данных для снижения размерности исходной задачи. Неясным остается, каким образом формируется конечное решение исследуемой задачи? Множество путей ориентированного графа представляет собой множество попарно бесконфликтных заданий на перевозку, что обеспечивается значением нуль соответствующей МБФ. Результатом реализации алгоритма декомпозиции является набор заданий, подлежащих независимому исполнению в рамках некоторого участка сети. Что касается последующего решения – об этом только упоминается в контексте общей постановки задачи (параграф 5.1.2), но формально не приводится каких-либо алгоритмов для назначения локомотивов на исполнение заданного множества (подмножества) перевозок;

2. В шестой главе (раздел 6.2) приводится схема функционирования вычислительного комплекса в приложении к решению прикладной задачи планирования и организации грузовых железнодорожных перевозок в условиях противоречивости. Из этой схемы и сопутствующего изложения следует, что уже на этапе формирования задания на перевозку в силу особенностей разработанного эвристического алгоритма вычислительные затраты могут быть существенно снижены (рис. 12). Этот факт следовало бы осветить более подробно на этапе разработки методологии параллельной обработки данных на графах, то есть в четвертой главе.

Указанные замечания никак не влияют на общий высокий математический уровень работы.

Считаю, что диссертация Гайнанова Дамира Насибулловича «Математическое и программное обеспечение вычислительных комплексов для решения задач анализа несовместных систем с массивно параллельной обработкой данных» представляет собой законченную научно-исследовательскую работу. В ней решена крупная научная проблема, имеющая важное теоретическое и практическое значение для решения сложных прикладных задач управления в условиях большого числа противоречивых ограничений с использованием массивно параллельных вычислений. Диссертация удовлетворяет всем требованиям, установленным постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. «О порядке присуждения ученых степеней» и предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Считаю, что **Гайнанов Дамир Насибуллович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей» и по специальности 05.13.18 –**

«Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
профессор, заведующий отделом
программных средств визуализации
ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН



Михаил Васильевич Михайлюк

Федеральное государственное учреждение «**Федеральный научный центр
Научно-исследовательский институт системных исследований Российской
академии наук**» (ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН)

117218, Москва, Нахимовский проспект, 36-1

Телефон: 8 (499) 129-28-30

E-mail: mix@niisi.ras.ru

Подпись Михаила Васильевича Михайлюка удостоверяю.

врио Директора ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН



Б.М.Шабанов

