Ответы на вопросы / замечания официального оппонента д.т.н., профессора **Верхотурова Михаила Александровича**

1. *В диссертационной работе использовано несколько языков программирования – С, Julia, Python, JavaScript. Чем вызвано такое разнообразие? Каковы причины выбора этих языков программирования?*

Прежде всего тем, что алгоритмы разрабатывались в разных научных группах, на выбор языка влияли ранее использованные языки. На выбор языка Python повлияло также наличие специализированных библиотек для работы с графами и матрицами, которые позволили значительно повысить суммарное быстродействие алгоритма решения задачи PCGTSP, хотя возможно следует исследовать вопрос миграции на высокопроизводительный компилируемый язык, например С++. Язык C оказался востребован также благодаря производительности и потому, что для алгоритма решения задачи CCP оказалось возможным обойтись без сложных структур данных. Язык Julia рассматривался как возможная альтернатива – «Python с производительностью C++», но на данный момент используется только для исполнения эвристики PCGLNS. Использование языка JavaScript мотивировано прежде всего его доминированием (хотя уже и не абсолютным) в современных браузерах.

1. *Численные эксперименты второй главы (решение задачи PCGTSP) проводились на открытой библиотеке PCGTSPLIB, содержащей абстрактные экземпляры обобщённой задачи коммивояжера с ограничениями предшествования, зачастую асимметричные. В то же время автор принимал участие в разработке библиотеки экземпляров задач именно маршрутизации инструмента, где матрица расстояний и частичный порядок определяются геометрией плоских деталей. Проведение численных экспериментов над этой библиотекой дало бы более наглядные результаты и лучше бы продемонстрировало возможность применения алгоритма для проектирования управляющих программ машин листовой резки с ЧПУ.*

Действительно, в данный момент как раз идут исследования всех описанных алгоритмов (а также динамического программирования по схеме Беллмана, разработанного группой А. Г. Ченцова и активно использовавшегося в диссертационной работе) на библиотеке PCGTSPLIB. Для этого в неё были добавлен целый ряд раскройных карт содержащих несколько десятков (30–50) контуров, представляющих особый интерес.

1. Вопросы оптимизации раскроя намеренно не включены в круг исследуемых в диссертационной работе. Тем не менее, интересны перспективы применения описанных в алгоритмах для совместной оптимизации процессов раскроя и резки плоских деталей.
2. Из текста диссертации непонятна методика получения оценок различных методов построения нижней оценки в табл. 2.2 на стр. 44
3. Чем можно объяснить использование диссертантом метода обхода в ширину на стр. 48, а не, например, обхода в глубину?
4. Можно ли сравнить эффективность получения точного решения задачи GTSP алгоритмами, разработанными А. Г. Ченцовым, и алгоритмами, предложенными автором диссертации?

Ответы на вопросы / замечания официального оппонента д.т.н., профессора **Коновалова Анатолия Владимировича**

1. В описании численных экспериментов для алгоритма решения задачи PCGTSP (вторая глава) указано, что они проводились на вычислительном кластере «Уран» института математики и механики им. Н. Н. Красовского Уральского отделения Российской академии наук и приведены его характеристики – 16-ядерные lntel Xeon, 128G RAM. На каком оборудовании проводились численные эксперименты третьей главы с задачей непрерывной резки?
2. При разработке управляющих программ для оборудования термической резки с ЧПУ важным является учёт тепловых деформаций, возникающих в процессе резки. Каким образом возможно реализовать такой учёт в описанных в диссертационной работе алгоритмах?
3. В доказательстве утверждения 3.1 на стр. 68 функция φ(t) названа выпуклой, во избежание двусмысленности следовало бы уточнить, что она является выпуклой вниз, а не вверх, что подтверждается тем, что её вторая производная неотрицательна.
4. В тексте диссертации списки оформлены вразнобой, иногда пункты списков начинаются со строчной буквы, иногда с прописной, в конце ставится иногда точка, иногда точка с запятой, а иногда ничего.
5. В тексте диссертации также имеются опечатки, так в формуле на стр. 18 вместо CJ должно быть Cj по смыслу.

Ответы на вопросы / замечания официального оппонента д.т.н., доцента **Ложникова Павла Сергеевича**

(официальный оппонент)  
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», г. Омск, заведующий кафедрой комплексной защиты информации

1. Во введении (раздел 1.1) описаны различные техники резки, применяемые в современном производстве, а именно: стандартная, мультиконтурная и мультисегментная. В то же время, описанные алгоритмы ориентированы на использование только резки по замкнутому контуру, то есть стандартной. Каким образом возможно использовать нестандартные техники резки в рамках разработанного в диссертации алгоритмического обеспечения для решения задач оптимальной маршрутизации инструмента?
2. Алгоритм решения задач PCGTSP, описанный в Главе 2, решает их в самой общей постановке, для произвольных входных данных, тогда как задачи, возникающие при оптимизации маршрута резки, существенно эвклидовы. Каким образом учитывается это их свойство в алгоритме? Возможно ли использовать геометрические соображения для улучшения работы алгоритма?
3. Если результаты работы алгоритма сопоставимы с результатами, полученными универсальным решателем Gurobi, то в чём смысл разработки специализированного алгоритма?
4. Английские аббревиатуры систематически вводятся без расшифровки, например САМ на стр. 5 или названия классов задач резки (ССР, ЕСР, ICP и т. д.) на стр. 7. Часть из них приведена в списке сокращений на стр. 97, но не все.
5. В тексте работы имеются грамматические ошибки. Так, на стр. 5, 7 и 31 пропущен дефис в термине «САD/САМ-система», хотя в других местах он употребляется.

Ответы вопросы / замечания по автореферату к.т.н., доцента **Захаровой Галины Борисовны**

1. На рис. 2 на стр. 10 приведена классическая задача коммивояжера TSP как один из частных случаев задачи резки, хотя как правило последняя сводится к обобщённой задаче коммивояжера GTSP. Не ясно, каким образом простая задача коммивояжера может применяться для поиска оптимального решения задачи маршрутизации режущего инструмента.
2. Понятно, что ограничение предшествования сокращает время счёта для алгоритма главы три, не использующего дискретизацию контуров. А как аналогичный эффект достигается для алгоритма ветвей и границ второй главы?
3. Не для всех реализованных в работе алгоритмов приведено время счета. Хотелось бы получить представление о сравнительном быстродействии этих алгоритмов.

Ответы на вопросы / замечания по автореферату д.т.н., профессора **Мельникова Андрея Витальевича**

1. В автореферате при описании разработанных в работе алгоритмов решения задач маршрутизации говорится только об ограничениях типа условий предшествования, при этом не обговаривается учёт других технологических ограничений термической резки.
2. На стр. 18 упомянуто, что алгоритм, использующий модель непрерывно-дискретной оптимизации, сравнивается с точным алгоритмом А. Г. Ченцова, разработанным на основе метода динамического программирования. В дополнение к этому следовало бы привести сравнение и с алгоритмом ветвей границ, разработанным в диссертационной работе. Имеется в виду и факт получения глобального экстремума и вычислительные затраты на его получение.

Ответы на вопросы / замечания по автореферату д.т.н. **Вохминцева Александра Владиславовича**

1. Хотелось бы сравнить результаты работы алгоритмов второй и третьей глав на одних и тех же раскройных планах, что позволило бы лучше судить о применимости этих алгоритмов для разработки управляющих программ для машин листовой резки с ЧПУ.
2. В автореферате отсутствуют экспериментальные данные о быстродействии реализации алгоритма, использующего непрерывно-дискретную оптимизацию.
3. Интересно было бы исследовать влияние уровня вложенности деталей в раскройном плане на быстродействие описанных алгоритмов.

Ответы на вопросы / замечания по автореферату д.т.н., профессора **Мартынова Виталия Владимировича**

1. К недостаткам автореферата можно отнести почти полное отсутствие описания деталей программной реализации алгоритмов, приведён псевдокод только одного программного блока
2. С точки зрения оформления неудачно выбрано расположение в тексте рисунка 1 на стр. 8.
3. Сформулированные основные результаты и выводы по работе не коррелируют однозначно с поставленными задачами.