Отзыв официального оппонента  
доктора технических наук, доцента Ложникова Павла Сергеевича  
на диссертационную работу Уколова Станислава Сергеевича «**Разработка алгоритмов оптимальной маршрутизации инструмента для САПР управляющих программ машин листовой резки с ЧПУ**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (промышленность).

**Актуальность темы исследования**

**Соответствие паспорту научной специальности**

Рассмотренные в диссертации Уколова С.С. вопросы связаны с повышением эффективности разработки управляющих программ для машин листовой резки с ЧПУ. Объект исследования, его цель и задачи, направления теоретических и экспериментальных исследований, а также область исследования соответствуют паспорту научной специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (промышленность).

**Структура и объём диссертации**

Диссертация изложена на 135 страницах, состоит из введения, четырёх глав, заключения, списков сокращений, литературы, иллюстраций и таблиц и четырёх приложений. Список литературы включает 118 источников. Структура и оформление диссертации соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11 – 2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

Во *введении* обоснована актуальность и степень разработанности темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, показана научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, приведены её апробация, основные положения, выносимые на защиту.

В *первой главе* даётся анализ задачи оптимизации маршрута резки при проектировании управляющих программ для оборудования листовой резки с ЧПУ, проведена её формализация и обзор существующих методов и алгоритмов её решения. Также в первой главе на основе анализа как отечественных, так и зарубежных литературных источников приводятся классификация методов резки, применяемых в САПР управляющих программ для формирования маршрута резки, и классификация задач оптимальной маршрутизации инструмента.

Во *второй главе* рассматривается оригинальный алгоритм ветвей и границ для решения обобщённой задачи коммивояжера с ограничениями предшествования (PCGTSP) в качестве примера использования полностью дискретных моделей оптимизации в процессе проектирования управляющих программ для машин листовой резки с ЧПУ. Даётся формулировка задачи и рассматриваются основные подходы к её решению, на основе которых разработан и реализован оригинальный алгоритм, состоящий из блоков построения нижней оценки на основе многократной релаксации исходной задачи, её динамического обновления в процессе счёта, ветвления и сортировки ветвей, отсечения ветвей дерева поиска. Разработаны две версии этого алгоритма – в виде классического алгоритма ветвей и границ, а также использующая схему динамического программирования Хелда-Карпа и за счёт этого допускающую параллельные вычисления для сокращения времени счёта. Приведены результаты решения задач PCGTSP из общедоступной библиотеки PCGTSPLIB.

В *третьей главе* описывается алгоритм решения задачи непрерывной резки, использующий модели как непрерывной, так и дискретной оптимизации. Непрерывная оптимизация производится в процессе поиска положений точек врезки на контурах, минимизирующих длину холостого хода за счёт многократного использования несложных геометрических соображений, восходящих к принципу Ферма. Полученное решение представляет доставляет локальный минимум задачи минимизации длины холостого хода, также сформулирован ряд достаточных условий глобального минимума. Для дискретной оптимизации используется широко известный метод переменных окрестностей, позволяющий находить последовательность обработки контуров. Работа алгоритма начинается с удаления контуров, содержащих вложенные контуры, и завершается их восстановлением, что позволяет строго выполнять ограничения предшествования, уменьшая при этом вычислительную сложность. Работа алгоритма исследуется на реальных раскройных планах, кроме того, демонстрируется, что алгоритм может применяться для решения задачи обобщённой сегментной резки для минимизации полного времени и / или стоимости резки, а не только длины холостого хода.

В *четвёртой* *главе* описывается методика интеграции разработанных алгоритмов в существующие САПР разработки управляющих программ для машин листовой резки с ЧПУ на основе использования открытых текстовых форматов обмена данными. В качестве основного формата используется популярный формат JSON, разработаны специальные схемы для хранения геометрической информации о деталях и раскройных планах, заданий на резку и получаемых маршрутов резки. Разработаны конвертеры для основных использованных в работе форматов файлов, в том числе для интеграции с САПР «Сириус» и T-Flex.

В *заключении* представлены основные результаты и выводы диссертации, а также обозначены перспективы дальнейшей разработки темы диссертации.

Диссертация обладает внутренним единством и написана автором самостоятельно.

**Научная новизна и теоретическая значимость работы**

**Практическая значимость работы**

**Степень обоснованности научных положений и достоверности полученных результатов**

**Апробация работы и публикации**

Следует отметить хорошую апробацию работы. Основные результаты были представлены на международных и всероссийских конференциях, по теме диссертации осуществлено 18 публикаций, включая 9 научных статей опубликованных в рецензируемых научных журналах, определённых ВАК и Аттестационным советом УрФУ, которые с достаточной полнотой отражают основное содержание, результаты и выводы диссертационной работы.

Автореферат диссертации полностью отражает её содержание и результаты при одновременном сохранении структуры построения.

**Замечания и вопросы**

1. …

Высказанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общего положительного впечатления от материала диссертации.

**Заключение**

Считаю, что Уколов Станислав Сергеевич заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (промышленность).

Даю согласие на обработку моих персональных данных.

Официальный оппонент, доктор технических наук (05.13.19 – Методы и системы защиты информации, информационная безопасность), доцент, заведующий кафедрой комплексной защиты информации ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет».

|  |  |
| --- | --- |
| «\_\_» февраля 2022 г. | Ложников Павел Сергеевич |

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет».

Адрес: 644050, Россия, г. Омск, пр. Мира, д. 11.

Телефон: +7(3812) 21-77-02.

E-mail: lozhnikov@mail.ru

Подпись Ложникова Павла Сергеевича заверяю,