

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

комиссии диссертационного совета УрФУ 05.09.24 по диссертации Уколова Станислава Сергеевича на тему: «Разработка алгоритмов оптимальной маршрутизации инструмента для САПР управляющих программ машин листовой резки с ЧПУ», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (промышленность)

Актуальность темы исследования. Современное производство предъявляет высокие требования к качеству заготовок и технико-экономическому уровню выпускаемой продукции, что приводит к увеличению затрат на проектирование и технологическую подготовку производства. Одним из направлений повышения эффективности использования производственных ресурсов является совершенствование безотходных технологий в металлообрабатывающих производствах и возрастание степени их автоматизации. Раскройно-заготовительные операции, являясь началом большинства производственных процессов, оказывают существенное влияние на трудоемкость и экономичность изготовления деталей. Для получения заготовок сложной геометрической формы из листового материала в условиях мелкосерийного и единичного производства широко применяются машины фигурной резки с числовым программным управлением (ЧПУ). К данному типу оборудования относятся станки газовой, лазерной, плазменной, электроэрозионной и гидроабразивной резки металла. Станки листовой резки имеют множество преимуществ: возможность обработки многих видов материалов различной толщины, высокая скорость резки, возможность обработки контуров различной сложности, адаптация к постоянным изменениям номенклатуры выпускаемой продукции. Использование оборудования с ЧПУ, предполагает применение средств автоматизации проектирования управляющих программ (САМ-систем). При использовании современных CAD/CAM систем, предназначенных для автоматизированного проектирования раскроя и подготовки управляющих программ для оборудования с ЧПУ, возникает несколько различных взаимосвязанных задач, поэтому обычно проектирование УП для технологического оборудования листовой резки состоит из нескольких этапов. Первый этап предполагает предварительное геометрическое моделирование заготовок и разработку раскройной карты, здесь возникает известная задача оптимизации фигурного раскроя листового материала, которая относится к классу трудно решаемых проблем раскроя-упаковки (Cutting & Packing). На следующем этапе проектирования УП осуществляется процесс назначения маршрута резки —

траектории перемещения режущего инструмента для полученного на первом этапе варианта раскроя, здесь возникают актуальные научно-практические задачи оптимизации маршрута режущего инструмента. Их целью обычно является минимизация стоимости и / или времени процесса резки, связанного с обработкой требуемых контуров деталей из листового материала, за счет определения оптимальной последовательности вырезки контуров и выбора необходимых точек для врезки в материал листа, а также направления движения резака с учетом технологических ограничений процесса резки. Следует отметить, что современные специализированные САПР предоставляют базовый инструментальный для решения задач рационального раскроя материалов и подготовки УП для технологического оборудования листовой резки с ЧПУ. Вместе с тем разработчики систем автоматизированного проектирования УП для оборудования листовой резки с ЧПУ не уделяют должного внимания проблеме оптимизации маршрута резки. Существующее программное обеспечение САПР не гарантирует получение оптимальных траекторий перемещения инструмента при одновременном соблюдении технологических требований резки. Зачастую пользователи САПР используют интерактивный режим проектирования УП. Кроме того, отсутствуют способы оценки точности полученных решений. В связи с этим **актуальным** направлением исследования являются вопросы разработки и применения эвристических и метаэвристических подходов, а также точных алгоритмов, которые позволяют получить решение задачи оптимальной маршрутизации режущего инструмента в режиме автоматического проектирования за приемлемое время и обеспечивают при этом эффективные оценки результатов проектирования.

Научная новизна результатов исследований состоит в том, что:

1. разработан алгоритм ветвей и границ для обобщенной задачи коммивояжера с ограничениями предшествования PCGTSP, позволяющий строить нижние оценки для решений указанной задачи, в том числе, полученных другими алгоритмами и эвристиками. Этот алгоритм способен находить точные решения для задач значительно большей размерности, чем известные алгоритмы (до ≈ 150 кластеров в зависимости от уровня вложенности);
2. разработаны алгоритм поиска точек врезки в контуры, не использующий механизм дискретизации, а также схема выбора последовательности резки контуров на основе метода переменных окрестностей, совместно решающие задачи CCP и SCCP;
3. сформулированы схемы использования ограничений предшествования для уменьшения вычислительной сложности алгоритмов оптимальной маршрутизации, как в моделях дискретной, так и непрерывной оптимизации.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. разработанные алгоритмы могут применяться для автоматического проектирования УП машин листовой резки с ЧПУ. Для ряда задач впервые удалось получить эффективные оценки точности решений;
2. использование непрерывных моделей оптимизации позволяет уменьшить длину холостого хода (в некоторых случаях — до 10%) по сравнению с используемыми в настоящее время дискретными моделями;
3. разработанные алгоритмы могут применяться для решения более общей задачи маршрутизации резки, например обобщённой сегментной резки GSCCP;
4. разработанные схемы информационного обмена, форматы файлов и методика использования алгоритмов оптимальной маршрутизации инструмента позволяют интегрировать разработанное программное обеспечение в существующие российские САПР «Сириус» и САПР «Т-Flex».

Полученные результаты используются в образовательном процессе ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», что подтверждается актом внедрения.

Апробация результатов работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на всероссийских и международных конференциях, в том числе: Applications of Mathematics in Engineering and Economics (AMEE'16), Созополь, Болгария, 08.06.2016 – 13.06.2016; Manufacturing, Modelling, Management & Control, (8th MiM 2016) Трива, Франция, 28.06.2016 – 30.06.2016; ASRTU 2017 International Conference on Intellectual Manufacturing, Харбин, Китайская Народная Республика, 15.06.2017 – 18.06.2017; Mathematical Optimization Theory And Operations Research (MOTOR 2019), Екатеринбург, Россия, 08.07.2019 – 12.07.2019; Manufacturing Modelling, Management and Control, (9th MiM 2019) Берлин, Германия, 28.08.2019 – 30.08.2019; X Всероссийская конференция «Актуальные проблемы прикладной математики и механики» с международным участием, посвященная памяти академика А.Ф. Сидорова и 100-летию Уральского федерального университета, пос. Абрау-Дюрсо, Россия, 01.09.2020 – 06.09.2020; ICPR International Workshops and Challenges Virtual Event, Milan, Italy, 10.01.2021 – 15.01.2021; XVI Всероссийская научно-практическая конференция «Перспективные системы и задачи управления», Домбай, Россия, 5.04.2021 – 9.04.2021; XII International Conference Optimization and Applications (OPTIMA-2021), Petrovac, Черногория, 27.09.2021 – 1.10.2021; XIV-я Всероссийская Мультиконференция по проблемам управления, с. Дивноморское, Геленджик, Россия, 27.09.2021 – 02.10.2021.

Диссертация к защите представлена впервые.

Экспертная оценка

1. Работа соответствует профилю диссертационного совета УрФУ и может быть принята к защите по специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (промышленность).
2. По теме диссертации опубликовано 18 научных работ, которые полностью отражают основное содержание диссертации, в том числе 9 статей опубликованы в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК и Аттестационным советом УрФУ.
3. Текст диссертации представляет собой самостоятельную научно-квалификационную работу, не содержит заимствованного материала без ссылки на автора или источник заимствования. Публикации по теме диссертации не содержат результатов научных работ, выполненных в соавторстве, без ссылок на соавторов.
4. Диссертация рекомендуется к защите по специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (промышленность).

Рекомендуемые официальные оппоненты:

Верхотуров Михаил Александрович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа, заведующий кафедрой информатики;

Коновалов Анатолий Владимирович, доктор технических наук, профессор, ФГБУН Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, заведующий лабораторией механики деформаций;

Ложников Павел Сергеевич, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», г. Омск, заведующий кафедрой комплексной защиты информации.

Эксперты – члены диссертационного совета УрФУ 05.09.24

Председатель экспертной комиссии:

д.ф.-м.н., доцент



(Попов В. Ю.)

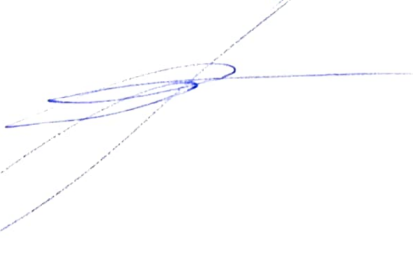
Члены экспертной комиссии:

д.т.н., профессор



(Коновалов А. В.)

д.т.н., профессор



(Спирин Н. А.)