Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Таваевой Анастасии Фидагилевны **«Разработка методик расчета временных и стоимостных параметров процесса резки в системах автоматизированного проектирования управляющих программ для машин листовой лазерной резки с ЧПУ»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 - Системы автоматизации проектирования (промышленность).

Актуальность темы исследования

В настоящее время в России в машиностроении и других отраслях промышленности широко применяется технологическое оборудование термической резки с числовым программным управлением (ЧПУ), в частности, лазерные комплексы, для получения заготовок из листового материала. Применение систем автоматизированного проектирования (САПР) обеспечивает автоматизацию процесса разработки управляющих программ (УП) для этого оборудования. При проектировании УП возникает актуальная задача оптимальной маршрутизации инструмента машин листовой резки с ЧПУ. В качестве целевых функций этой задачи оптимизации чаще всего рассматриваются функции времени и стоимости процесса резки. При этом, следует отметить, что в настоящее время отсутствуют научно-обоснованные методики точного вычисления параметров целевых функций для рассматриваемой оптимизационной задачи. При расчете целевой функции времени резки значение скорости рабочего хода инструмента принимается постоянной величиной, но на практике фактическое значение скорости резки зависит от характеристик спроектированной УП. В свою очередь при расчете целевой функции стоимости резки учитываются не все параметры траектории перемещения инструмента (обычно в расчет берется только общая длина рабочих перемещений режущего инструмента), а также не учитываются эксплуатационные характеристики процесса резки, особенности применяемых технологий резки и используемого оборудования с ЧПУ. Учет вышеописанных параметров при вычислении целевых функций времени и стоимости резки обеспечивает построение корректной оптимальной траектории инструмента при автоматизированном проектировании минимального по времени и стоимости маршрута резки. Актуальность разработки этих методик усиливает и тот факт, что в России на предприятиях реального сектора экономики не применяются научно-обоснованные методы расчета стоимости резки. Также следует отметить, что при проектировании маршрута резки в САПР УП пользователи, в основном, применяют интерактивные методы построения маршрута резки. Это вызвано, в частности, тем, что имеющиеся в существующих САПР алгоритмы, реализованные в автоматическом режиме проектирования, во многих случаях не позволяют генерировать близкие к оптимальным траектории перемещения инструмента при одновременном соблюдении технологических ограничений термической резки. При

проектировании УП чаще всего применяется резка заготовок «по замкнутому контуру», в этом случае маршрут резки строится только с точки зрения минимизации холостых перемещений режущего инструмента. Особый интерес представляют специальные техники резки, применение которых при построении маршрута инструмента позволяет минимизировать не только холостые перемещения режущего инструмента, но и число точек врезки, и длину рабочих перемещений режущего инструмента.

Поэтому сформулированные и решенные в данной диссертационной работе задачи являются **актуальными** задачами создания и применения САПР УП для машин листовой термической резки с ЧПУ и обладают очевидной научной новизной.

Соответствие паспорту научной специальности

Рассмотренные в диссертации Таваевой А.Ф. вопросы связаны с повышением качества функционирования САПР УП для машин листовой резки с ЧПУ. Объект исследования, цель и задачи исследования, направления теоретических и экспериментальных исследований, а также область исследования соответствуют паспорту научной специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (промышленность).

Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 164 страницах, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, списка литературы и четырех 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 ее апробация, основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе дается анализ задачи оптимизации маршрута резки при проектировании УП для оборудования листовой резки с ЧПУ, приведена ее формализация и обзор существующих методов и алгоритмов ее решения. Также в первой главе даются классификация способов резки, применяемых в САПР УП для формирования маршрута резки, и классификация задач оптимальной маршрутизации инструмента. В результате анализа как отечественных, так и зарубежных литературных источников, сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе впервые предложены методики вычисления стоимостных и временных параметров целевых функций в задаче оптимизации построения маршрута инструмента на машинах листовой резки с ЧПУ, при этом учитываются особенности используемого оборудования с ЧПУ, технологические факторы, эксплуатационные характеристики процесса резки, а

также характеристики спроектированной УП. Приведен пример оптимизации времени резки, который подтверждает необходимость проведения исследования и получения формул для точного вычисления фактических значений рабочей скорости перемещения режущего инструмента. Во второй части этой главы предложены новые методики построения маршрута резки при изготовлении некоторых номенклатур типовых деталей. Методики основаны на применении специальных техник листовой резки и позволяют уменьшать значения основных параметров резки, а также, в целом, стоимость и время процесса резки на машинах с ЧПУ.

В третьей главе приведена программная реализация разработанных во второй главе методик для одной из отечественных САПР УП для оборудования листовой резки с ЧПУ. В САПР «СИРИУС» были разработаны две специальные функции (макропрограммы) для построения маршрута резки для типовых деталей типа круг и многоугольник. В автоматическом режиме осуществляется выбор точек врезки с точки зрения уменьшения термических деформаций в процессе резки. Приведен расчет температурных полей средствами специализированной отечественной САПР для инженерных расчётов (Computer-Aided-Manufacturing, CAE «RAPID»), который подтверждает целесообразность применения реализованных в макропрограммах правил выбора точек врезки. Во второй части этой главы обоснована необходимость разработки модуля для расчета стоимости резки, приведен алгоритм. Реализация модуля выполнена с помощью технологии .NET Framework, модуль интегрирован в САПР «СИРИУС». Расчет стоимости резки выполняется по авторской методике, приведенной во второй главе.

В четвертой главе приведены примеры проектирования УП в САПР «СИРИУС» с помощью разработанных в третьей главе макропрограмм для построения маршрута резки; результаты подтверждают целесообразность применения предложенных методик для уменьшения значений параметров целевой функции стоимости резки, а также в целом, значений целевой функции по сравнению с резкой «по замкнутому контуру». При этом следует отметить, что при проектировании маршрута резки средствами разработанных макропрограмм соблюдаются технологические ограничения процесса термической резки. Также в этой главе приведен расчет экономической эффективности от внедрения результатов, полученных в работе. Практический интерес представляют результаты, которые подтверждают эффективность разработанных в диссертационной работе методик построения маршрута резки по сравнению с резкой «по замкнутому контуру».

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

Научная новизна работы состоит в том, что на основании анализа применяемых САПР УП для машин листовой резки с ЧПУ, влияния технологических факторов, характеристик спроектированной УП,

эксплуатационных параметров резки и особенностей используемого оборудования лазерной резки с ЧПУ, были впервые разработаны методики точного вычисления параметров целевых функций стоимости и времени резки в задаче оптимизации маршрута инструмента машин лазерной резки с ЧПУ. Также автором диссертации были разработаны новые методики построения маршрута резки с применением специальных техник в САПР УП для машин листовой резки с ЧПУ при изготовлении некоторых номенклатур типовых деталей. Разработанные методики позволяют уменьшать стоимость и время процесса резки при одновременном соблюдении технологических ограничений термической резки.

Практическая значимость работы

Реализация разработанных методик точного вычисления стоимостных и временных параметров целевых функций в САПР УП обеспечивает построение корректной и близкой к оптимальной траектории инструмента при автоматизированном проектировании минимального по времени и стоимости маршрута резки для оборудования лазерной резки с ЧПУ. В свою очередь реализация методик в подсистеме проектирования маршрута резки в универсальной САПР УП позволяет получать рациональные варианты маршрута резки, при этом учитываются технологические ограничения процесса термической резки и одновременно уменьшаются значения времени и стоимости процесса резки в отличие от существующих алгоритмов проектирования маршрута резки. Разработанные в диссертационной работе методики разработаны в интересах промышленных предприятий, что подтверждается приведенными в Приложении А актами внедрения. При этом внедрение результатов диссертационной работы позволило сократить сроки подготовки УП и снизить стоимость изготовления некоторых типовых деталей до 45 % при одновременном выполнении технологических ограничений процесса термической резки. Теоретические и практические результаты диссертационной работы используются в учебном процессе в УрФУ, выпущено учебно-электронное пособие (приведен акт внедрения).

Степень обоснованности научных положений и достоверности полученных результатов

Обоснованность научных и практических результатов диссертации Таваевой А.Ф. подтверждена использованием фундаментальных и прикладных работ отечественных и зарубежных ученых по теме исследования при постановке задач, применением аппарата статистического анализа при обработке полученных данных, использованием современных вычислительных методов и современных программных средств, а также выполнением исследований в условиях действующего производства и сходимостью полученных результатов с данными реальных производственных процессов.

Апробация работы и публикации

Следует отметить хорошую апробацию работы. Основные результаты были представлены на всероссийских и международных конференциях, опубликовано 18 научных работ, среди которых 10 статей опубликованы в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК и Аттестационным советом УрФУ, которые с достаточной полнотой отражают основное содержание, результаты и выводы диссертационной работы.

Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание и результаты при одновременном сохранении ее структурного построения.

Замечания и вопросы

1. В диссертационной работе показано, что применение в САПР управляющих программ машин листовой резки с ЧПУ специальных техник резки для групп некоторых классов типовых деталей более эффективно, чем применение стандартной техники резки. Вместе с тем, за рамками исследований остался важный вопрос, является ли предложенная методика построения маршрута резки для этих классов типовых деталей оптимальной и насколько она эффективна в сравнении с другими возможными способами применения нестандартных техник резки.
2. В тексте работы не приведено обоснование, почему исследования по вопросу влияния количества кадров УП на фактическое значение рабочей скорости режущего инструмента в целевой функции времени резки проводились для выбранного автором интервала количества кадров (от 10 до 5000 для листового материала марки 10кп и от 10 до 2000 для листового материала сплава АМг3М).
3. В параграфе 2.1.2 не для всех параметров указана размерность величин;
4. Результаты, приведенные в главе 4 и в приложении Г, касающиеся расчета стоимости резки, следует отразить для наглядности не только в виде таблиц, но и в виде графиков;
5. В работе имеются опечатки и описки. Например, на стр.16 в структуре и объеме диссертации написано, что диссертация состоит из трех приложений, по факту – 4 приложения.

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

Заключение

Диссертационная работа Таваевой Анастасии Фидагилевны представляет собой самостоятельную и законченную научно-квалифицированную работу, выполненную на актуальную тему и обладающую признаками новизны и практической значимости. Полученные результаты и научно обоснованные решения, которые изложены в диссертации, применимы и реализованы в САПР УП с целью повышения эффективности их функционирования, а также могут использоваться на промышленных предприятиях при подготовке УП

средствами САПР для повышения качества вырезаемых деталей и снижения стоимости процесса листовой резки на оборудовании с ЧПУ. Содержание диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.13.12 –Системы автоматизации проектирования (промышленность).

Диссертация обладает структурным единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, свидетельствует о личном вкладе автора в исследование. Разделы диссертации взаимосвязаны и логично дополняют друг друга. Полученные автором результаты достоверны. Выводы и заключения, сделанные диссертантом, обоснованы и соответствуют представленным в работе результатам. Диссертация и автореферат в полном объеме соответствуют критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени кандидата наук. Практическая значимость работы подтверждена соответствующими актами внедрения. Диссертационная работа Таваевой А.Ф. на тему «Разработка методик расчета временных и стоимостных параметров процесса резки в системах автоматизированного проектирования управляющих программ для машин листовой лазерной резки с ЧПУ» соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ. Диссертация отвечает требованию указания ссылок на заимствованные материалы или отдельные результаты.

Считаю, что Таваева Анастасия Фидагилевна заслуживает присуждения ей 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 (05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)), доцент, профессор кафедры «Инженерная геометрия и САПР» факультета информационных технологий и компьютерных систем ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» Янишевская Анна Генриховна

«15» января 2021 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет».
Адрес: 644050, Россия, г. Омск, пр. Мира, д. 11.
Телефон: +7 (3812) 65-36-45.
E-mail: anna-yanish@mail.ru.

Подпись А. Г. Янишевской заверяю

Ученый секретарь