

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора Коновалова Анатолия Владимировича 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.** Диссертационная работа Таваевой А.Ф. посвящена разработке методик расчета временных и стоимостных параметров целевых функций в актуальной научно-практической задаче оптимизации маршрута режущего инструмента, которая возникает в современных САПР на этапе проектирования управляющих программ (УП) для оборудования листовой резки с ЧПУ. Решение поставленных в диссертационной работе задач позволяет повысить эффективность функционирования систем автоматизированного проектирования УП. Актуальность темы исследования обусловлена отсутствием в настоящее время научно-обоснованных методик точного вычисления стоимостных и временных параметров целевых функций, и отсутствием исследований по этому вопросу. Также следует отметить в качестве недостатка существующих САПР отсутствие программных средств, обеспечивающих возможность минимизации в автоматическом режиме времени и стоимости процесса резки с учетом технологических особенностей и ограничений процесса термической резки. В настоящее время пользователи САПР применяют в основном технику резки заготовок «по замкнутому контуру», поэтому процедуры оптимизации маршрута резки ориентированы только на минимизацию холостых перемещений режущего инструмента. Вместе с тем, наибольший интерес при проектировании УП представляют нестандартные техники резки, применение которых позволяет минимизировать значения основных параметров резки таких, как число точек врезки, длину рабочих перемещений режущего инструмента, а не только длину холостых перемещений.

Диссертационная работа Таваевой А.Ф., посвященная разработке методик для точного расчета параметров целевых функций времени и стоимости резки в задаче оптимизации маршрута резки в САПР УП, а также методик для построения маршрута резки с применением специальных техник резки и с соблюдением технологических ограничений термической резки, выполнена на актуальную тему.

**Научная новизна результатов.** Автором впервые разработаны методики точного вычисления стоимостных и временных параметров целевых функций в



задаче оптимизации построения маршрута резки для лазерных комплексов с ЧПУ. Разработанные методики могут применяться в автоматических процедурах нахождения оптимальной траектории перемещения режущего инструмента в САПР УП. При этом обеспечивается точное вычисление значения экстремума целевой функции и правильный результат поиска оптимального маршрута резки, полученного с учетом технологических особенностей оборудования с ЧПУ, режимов резания, эксплуатационных затрат, а также характеристик спроектированной УП. Автором диссертации разработаны новые методики построения маршрута резки с применением специальных техник для некоторых типовых деталей, изготавливаемых из листового материала, с целью уменьшения значений времени и стоимости процесса резки.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, списка литературы и четырех приложений. Список цитируемой литературы содержит 118 наименований. Общий объем работы составляет 164 стр., включая 65 рисунков и 18 таблиц.

Во введении дано обоснование темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, сформулированы научная новизна, актуальность, теоретическая и практическая значимость работы, описаны методы исследований, представлены основные положения, выносимые на защиту, приведена информация об апробации работы, сведения о личном вкладе автора в работу.

В первой главе даны основные определения, отмечены основные технологические ограничения и особенности термической резки. Приведены классификация техник листовой резки, применяемых в САПР УП для формирования маршрута резки, и классификация задач оптимальной маршрутизации инструмента. Приведена формализация оптимизационной задачи проектирования маршрута резки. На основе литературного обзора, выполнен анализ методов и алгоритмов для решения оптимизационной задачи маршрутизации режущего инструмента при подготовке УП.

Вторая глава имеет два основных раздела. Первый раздел посвящен разработке методик расчета параметров целевых функций времени и стоимости процесса резки листового материала на оборудовании лазерной резки с ЧПУ. Проведены исследования и получены формулы для вычисления фактических значений рабочей скорости перемещения режущего инструмента от числа кадров в УП на примере лазерного комплекса с ЧПУ. Экспериментальные данные были обработаны в программе «Mathcad». Полученные формулы используются в САПР «СИРИУС» в автоматических процедурах построения оптимального маршрута резки. Во втором разделе разработана методика расчета параметров в целевой функции стоимости резки для лазерного оборудования с ЧПУ, учитывая эксплуатационные характеристики процесса



резки и особенности используемого оборудования с ЧПУ. Получены табличные значения стоимостных параметров для ряда марок материалов различной толщины на примере лазерного CO<sub>2</sub> комплекса с ЧПУ.

Во второй части этой главы разработаны методики построения маршрута резки, основанные на применении специальных техник резки. Предложенные методики применимы для некоторых номенклатур типовых деталей. Применение разработанных методик в САПР УП позволяет уменьшить значения основных параметров резки и строить рациональные УП, отвечающие требованиям термической резки.

В третьей главе описана реализация в подсистеме проектирования маршрута инструмента для универсальной САПР «СИРИУС» разработанных во второй главе методик построения маршрута резки. Важным моментом реализации методик является то, что при этом соблюдаются технологические ограничения термической резки. При построении маршрута резки были применены геометрические правила выбора точек врезки и направления обхода контуров с целью снижения неравномерности температурных полей в материале в процессе термической резки. Показаны результаты расчета температурных полей, которые подтверждают обоснованность применения реализованных правил. Алгоритм для построения маршрута резки реализован в виде макропрограмм в САПР «СИРИУС».

В этой главе также предложен алгоритм для расчета стоимости резки в соответствие с методикой, приведенной в главе 2. Выполнена программная реализация алгоритма с использованием платформы .NET Framework. Модуль интегрирован с САПР «СИРИУС».

Четвертая глава посвящена применению разработанных методик и алгоритмов на практике. Рассмотрен пример проектирования УП в САПР «СИРИУС». Во второй части этой главы произведен расчет экономической эффективности от внедрения результатов, полученных в работе. Показано, что реализация предложенных методик в САПР «СИРИУС» для построения маршрута резки позволяет уменьшать значения основных параметров резки и стоимости процесса резки при этом одновременно соблюдаются технологические ограничения процесса термической резки.

В заключении приводятся выводы по всем результатам работы и предложены пути дальнейшего развития темы.

В приложениях приведены акты внедрения, примеры раскройных карт результаты расчета стоимости резки для них, зависимости фактических значений рабочей скорости режущего инструмента от числа кадров УП для лазерного CO<sub>2</sub> комплекса.

**Степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, и их достоверность.** При анализе предметной области и в процессе написания работы автор опирается на работы

отечественных и зарубежных исследователей. Достоверность и обоснованность научных положений, сформулированных в диссертации, подтверждается использованием адекватных методов анализа первичной информации на основе системного подхода с использованием математических методов обработки данных и современных методов исследования. Все полученные результаты подтверждены экспериментально, представляются надежно проверенными и апробированными. Они опубликованы в рецензируемых научных журналах, докладывались на международных конференциях. Автореферат и публикации автора полностью отражают полученные в диссертационной работе результаты. Автором по теме диссертации опубликовано 18 статей, из них 10 статей, индексируемых в международных базах данных WoS, Scopus и входящих в список ВАК.

**Практическая ценность работы.** Внедрение методик и алгоритмов, разработанных в диссертационной работе и реализованных в САПР «СИРИУС», «BySoft» и «Tru Tops», позволяет сокращать сроки подготовки УП и уменьшать стоимость процесса резки при одновременном выполнении технологических ограничений термической резки. Полученные результаты внедрены в ООО «Уралинтех», АО «ПО «УОМЗ», ЗАО «РЦЛТ» и используются для автоматизированного проектирования УП при выполнении заказов на изготовление деталей из листовых материалов на оборудовании с ЧПУ, а также при расчете стоимости процесса резки, что подтверждается соответствующими актами внедрения. Также полученные результаты используются в учебном процессе в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» при выполнении практических работ, что подтверждается актом внедрения.

**Замечания по работе.** По содержанию диссертации имеются следующие замечания:

1. В диссертации не проведено сравнение разработанных методик применения специальных техник резки с работами других авторов, использующих нестандартные методы резки в алгоритмах проектирования маршрута перемещения инструмента машин листовой резки с ЧПУ.
2. В таблице 2.1 не приведены формулы для вычисления значений фактической рабочей скорости инструмента на лазерном комплексе с ЧПУ для исследуемой в диссертации стали 12X18H10T, для которой были рассчитаны значения стоимостных параметров для лазерного комплекса с ЧПУ, представленные в таблице 2.2.  
Было ли проведено исследование зависимости фактического значения рабочей скорости режущего инструмента от количества кадров УП для стали 12X18H10T?



3. Было бы полезно получить единую для каждого исследуемого материала формулу для вычисления значений фактической рабочей скорости инструмента на лазерном комплексе с ЧПУ в зависимости как от количества кадров УП, так и от толщины раскраиваемого листа.
4. По тексту диссертации встречаются опечатки и недочеты, например, на стр. 62 наверно имелось в виду, что  $X$  – количество обслуживающего персонала;
5. Не указана размерность величин в формулах (1.2) и (1.3).

### **Заключение по работе**

Сделанные замечания не оказывают влияния на общую положительную оценку работы, ее основные выводы и положения, выносимые на защиту. Текст диссертации Таваевой А.Ф. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную самостоятельно на актуальную тему и на высоком уровне, написанную логически последовательно. Текст диссертации изложен грамотным языком, не содержит заимствованного материала без ссылки на автора или источник заимствования. Актуальность темы не вызывает сомнений. Публикации по теме диссертации не содержат результатов научных работ, выполненных в соавторстве, без ссылок на соавторов. Автореферат диссертации соответствует диссертационной работе по всем признакам: по цели, задачам, основным положениям, определения актуальности, научной значимости, новизны и др. Результаты, полученные в процессе исследования, опубликованы и с исчерпывающей полнотой отражают существо рецензируемой работы.

Диссертация в полном объеме соответствует критериям Положения 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. Тематика и содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 05.13.12 - Системы автоматизации проектирования (промышленность).

По объему, актуальности тематики, достоверности и новизне полученных результатов, ценности для науки и практики диссертационная работа 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», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Таваева Анастасия Фидагилевна заслуживает присуждения 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 (05.16.05 – Обработка металлов давлением), профессор, заведующий лабораторией механики деформаций Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения УрО РАН

«12» января 2021 г.



Коновалов Анатолий Владимирович

*Полное наименование организации:* Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук (ИМАШ УрО РАН).

*Адрес организации:* 620049, Россия, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34.

Телефон: +7 (343) 362-30-11.

E-mail: [avk@imach.uran.ru](mailto:avk@imach.uran.ru).

Подпись Коновалова Анатолия Владимировича заверяю,

Ученый секретарь ИМАШ УрО РАН, к.т.н.



А.М. Поволоцкая