

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

о диссертации **Булушева Евгения Дмитриевича «Разработка алгоритмов и программных средств для определения оптимальных параметров лазерной микрообработки по данным систем технического зрения и оптических профилометров»**, представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Диссертация Е.Д. Булушева посвящена разработке и созданию программного комплекса для автоматизации контроля качества прецизионной лазерной микрообработки и его применения для определения оптимальных параметров лазерной микрообработки.

В процессе работы потребовалось глубокое погружение как в особенности процессов лазерной обработки материалов, так и методов измерения полученных изделий и цифровой обработки данных. В отсутствие точных математических моделей лазерной обработки, учитывающих свойства материала и особенности системы сканирования, исследованный им подход по разработке и созданию алгоритмов и комплекса программ для быстрого прецизионного контроля результатов лазерного формообразования с использованием обновляемой в процессе экспериментов базы знаний и дальнейшим построением по этим данным регрессионных моделей зависимости показателей качества изделий от технологических режимов обработки показал свою эффективность в реальных условиях как при проведении исследовательских работ, так и при серийном выпуске специальных изделий.

Диссертация состоит из введения и 4 глав. Во введении обоснована актуальность работы, определены цель и задачи работы, приведены основные положения, выносимые на защиту. В первой главе сделан обзор методов определения оптимальных характеристик лазерных систем для микрообработки материалов с заданным качеством. Показано, что методы математического моделирования процессов лазерной обработки в настоящее время имеют ограниченную область применения, связанную как с нестационарностью протекающих процессов, так и отсутствием баз данных по изменению физико-химических свойств материалов в процессе лазерной обработки.

Во второй главе представлен разработанный Е.Д. Булушевым метод и программно-алгоритмическая реализация метода контроля качества векторной лазерной микрообработки на основе данных, полученных с помощью систем технического зрения, отличающийся высокой точностью и достоверностью при высоком уровне шума изображений полученных объектов. Для тестирования метода проведено моделирование работы алгоритмов на синтезированных объектах с различными шумовыми характеристиками и тестирование на реальных объектах.

Третья глава посвящена разработке методов для контроля точностных характеристик трехмерной лазерной микрообработки. В результате проведенной работы создан эффективный алгоритм для сопоставления САД-модели и профилограммы поверхности, обработанной лазерным излучением, в условиях наличия шума и технологических дефектов микрообработки. Применение разработанного алгоритма позволяет оперативно определить

показатели качества изделий (размеры, шероховатость дна, наличие локальных дефектов), формируемых в процессе 3D лазерной микрообработки.

В четвертой главе описан разработанный Е.Д. Булушевым комплекс программ «MarkInspector» и «Profilometer», использующий методы и алгоритмические решения, представленные в предыдущих главах. Рассмотрено их применение для контроля качества сеток и микроканалов, формируемых методом прямой лазерной записи фемтосекундным лазерным излучением на стекле. Показана возможность оптимизации режимов высокоскоростной фемтосекундной лазерной микрообработки стекла с помощью разработанных алгоритмов и регрессионного анализа данных. Установлены режимы обработки стекла ВК7, обеспечивающие высокие показатели качества изделий (шероховатость дна менее 0,5 мкм, минимальные сколы) при высокой производительности обработки (более 0,3 мм³/мин).

Полученные результаты используются при создании серийных изделий с недостижимыми ранее характеристиками с помощью Лазерной фемтосекундной технологической рабочей станции на предприятии АО «Швабе-Оборона и Защита» и ОАО «Красногорского завода им С.А. Зверева».

В своей работе Евгений зарекомендовал себя как высококвалифицированный исследователь, способный самостоятельно разобраться в сложных проблемах, включающих математическое моделирование, создание и отладку комплекса программ и технологические вопросы лазерной обработки.

Работа выполнена на высоком техническом уровне. По материалам диссертации опубликовано 4 статьи в ведущих рецензируемых журналах и изданиях, получено 2 свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ. Содержание диссертационной работы соответствует указанной специальности, а автореферат полностью отражает её содержание. Евгений является получателем стипендии президента РФ.

Диссертация Булушева Евгения Дмитриевича является законченной научной работой, развивающей методы математического моделирования, алгоритмическую и программную базу определения оптимальных параметров лазерной микрообработки. Полученные результаты имеют как научное, так и большое практическое значение.

Считаю что диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Булушев Е.Д. безусловно заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Заведующий лабораторией ИАиЭ СО РАН, к.т.н.

В.П. Бессмельцев

Подпись к.т.н. В.П. Бессмельцева заверяю

Учёный секретарь ИАиЭ СО РАН,

д.т.н., в.н.с.



С.В. Михляев