



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной и  
инновационной работе  
А. В. Федин

2021 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ) на кандидатскую диссертацию **Голошевского Николая Владимировича** «Методы и программно-аппаратные средства управления устройствами лазерной микрообработки с комплементарной системой позиционирования», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Разработка методов и программно-аппаратных средств управления устройствами лазерной микрообработки с комплементарной системой позиционирования представляет актуальную проблему с учетом их широкого использования не только в промышленности с обработкой изделий под универсальные технологии, но и в различных других областях – от полиграфии и микроперфорации для нанесения защитных изображений и до телекоммуникационных систем и метрологических устройств. Поскольку обычно речь идет об ответственных их сферах применения, то надежность и точность при выполнении подобных работ играет принципиальную роль. Особенно это касается комплектующих таких устройств, связанных с комплементарной системой высокоточного позиционирования.

В данной работе для задач микрообработки материалов с микронной точностью и субмикронным разрешением спроектирована и разработана электромеханическая система позиционирования, позволяющая обеспечивать высокую производительность микрообработки с такими параметрами. Часто эти параметры являются трудносовместимыми друг с другом в непрерывном процессе обработки, но автору удалось создать целый комплекс программно-аппаратных средств управления устройствами для данных задач. Ключевое значение при этом имеют средства управления разработанными устройствами, когда комплементарная система позиционирования позволяет производить коррекцию положения лазерного пучка в реальном масштабе времени с использованием динамической программной коррекции. Методы, предложенные автором для формирования микроканалов на подложках из микрооптического стекла и других материалов, имеют принципиальное значение при использовании фемтосекундного лазерного излучения, что позволило автору обеспечивать отсутствие микродефектов различного типа на подложках и даже внутри подложек при высокой производительности лазерной обработки подложек.

Актуальность работы и ее научная новизна не вызывает сомнений, а предложенная сама комплементарная система позиционирования позволила автору разработать целый комплекс модульных программно-аппаратных средств для вычислительных устройств и встроенных контроллеров, содержащих как сам процессор, так и программируемые логические интегральные схемы. Более того, они успешно применены для настройки и управления рядом комплексов с лазерной микрообработкой под требования конкретных заказчиков разного типа. Особенно



следует подчеркнуть, что используемые достижения автора в конструировании лазерной рабочей станции определенного типа были отмечены региональной государственной премией Новосибирской области.

В данной диссертационной работе впервые в едином формате разработан целый ряд подходов и методик, а также практических алгоритмов для решения обсуждаемой проблемы, которые в значительной степени основаны на новых подходах. При этом используются как современная теоретическая и вычислительная база, так и практические результаты с учетом имеющегося опыта эксплуатации таких комплексных систем.

Среди наиболее важных результатов, полученных автором следует отметить следующие.

Первое. Эффективное использование двухшагового кросс-корреляционного алгоритма для определения реперных точек калибровочного объекта, допускающих определенную коррекцию положения объектов, с относительной погрешностью позиционирования лазерного пучка на нем  $10^{-5}$  от растровой профильметрической карты тестовой записи.

Второе. Реализованный в виде программного модуля с собственно программируемой логической интегральной схемой для специализированного контролера позволят выполнять с помощью гальванометрических дефлекторов динамическую коррекцию отклонения лазерного пучка от заданной траектории по соответствующим сигналам ошибки датчика положения «высокоинерционных» (по терминологии автора) электромеханических приводов. Это привело к существенному увеличению производительности обработки образцов без потери точности в процессах микроперфорации и микрофрезерования.

Третье. Разработан оригинальный способ сканирующей фемтосекундной лазерной обработки подложек (оптическое стекло, оптические кристаллы и полупроводниковые материалы) с формированием микроканалов с помощью растровых линий определенной длины при выборе соответствующих оптимальных углов расположения, что позволило уменьшить количество дефектов в условиях высокого технологического производительного процесса.

Весь этот комплекс работ с предложенными методами и программно-аппаратными средствами управления с комплементарной системой позиционирования позволяет проектировать и создавать высокопроизводительные системы лазерной микрообработки субмикронного разрешения и микронной точности.

Диссертация состоит из Введения, 4-х глав, Заключения и списка используемой литературы (154 наименования). Сам текст диссертации изложен на 136 страницах (с 68 иллюстрациями и 3 таблицами).

#### Недостатки работы.

Во-первых, хотя первая глава диссертации является обзорной с большим количеством приводимого материала, однако прямого сопоставления с личными достижениями автора в конкретных параметрах, включая быстродействие устройств микрообработки явно недостаточно. Это не позволяет в полной мере оценить все преимущества предлагаемого его собственного подхода в ландшафте соответствующих проблем в этой области.

Во-вторых, приводимый иллюстративный материал во второй главе с многочисленными и труднообозримыми математическими соотношениями затрудняет восприятие представляемого материала. Более того, такое детальное рассмотрение методологических основ делается в ущерб экспериментальной апробации предложенного алгоритма компенсации динамических ошибок позиционирования электромеханических приводов, когда утверждается о повышении производительности в 2 раза без потери точности.

В-третьих, излишняя детализация структуры средств управления комплементарной системы позиционирования лазерного пучка на качественном уровне с перечислением особенностей используемых контроллеров и различных программ библиотек для создания графического интерфейса пользователя затушёвывает основную идею автора о проведенной реально работе по проверке эффективности применения разработанных алгоритмов и программно-аппаратных средств в системах лазерной микрообработки с высокой точностью и быстродействием.



В-четвертых, в качестве общего недостатка можно отметить трудность предлагаемых автором рекомендаций для реального пользователя на практике с не очень понятными специальными утверждениями о представлении управляющих сигналов либо в цифровой, либо в аналоговой форме для обеспечения синхронизации работы в реальном масштабе времени всех исполнительных устройств с требуемыми задержками, а также адаптационных возможностей программного обеспечения в зависимости от решаемых задач. Серия специализированных аппаратных средств встраиваемых контроллеров требует более обоснованного утверждения об их конкретных преимуществах по сравнению с серийной продукцией ведущих мировых производителей.

В-пятых, когда автор говорит об особенностях применения разработанных программно-аппаратных средств для управления излучением прецизионного фемтосекундного лазерного комплекса он совершенно не касается мощностных характеристик лазерного излучения, а разные его длины волн непонятно как получаются в реальной лазерной установке. Рисунки растрового метода формирования микроканалов очень сложны для понимания конкретным потребителем, а декларируемые зоны холостого хода от 5 до 25% не говорится, на чем основаны, как и значение углов растра в пределах от 35° до 90° с увеличением производительности микрообработки с 0.005мм<sup>3</sup>/мин. до 0.02-0.025 мм<sup>3</sup>/мин. Отсутствие микродефектов не очень наглядно видно на приводимых рисунках в параграфе 4.3, хотя и утверждается, что они были подтверждены в процессе изготовления нескольких сотен образцов. Сам факт формирования микроканалов от 2 мкм с точностью ± 1 мкм на подложках размером до 200\*200мм<sup>2</sup> требует более убедительного обоснования.

Приведенные замечания носят скорее характер технических уточнений и пожеланий для дальнейшей работы диссертанта. Они не затрагивают принципиальные результаты его работы и достоверность проведенных им исследований, а также сформулированных рекомендаций для прогноза срока работы подобных лазерных устройств. Диссертация имеет очевидную практическую значимость и будет полезна для специалистов, работающих с подобными лазерными как технологическими комплексами в реальном промышленном производстве, так и использующих их в других областях.

Список опубликованных работ по теме диссертации в целом удовлетворяет существующим требованиям. Автореферат диссертации достаточно полно и точно отражает ее содержание.

Диссертация Голошевского Николая Владимировича «Методы и программно-аппаратные средства управления устройствами лазерной микрообработки с комплементарной системой позиционирования», является завершенной научно-квалификационной работой. Полученные соискателем новые результаты имеют существенное значение для дальнейшего развития научных исследований в данной области.

Диссертационная работа соответствует требованиям, установленным пунктом 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842, а ее автор, Голошевский Николай Владимирович, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Диссертационная работа была заслушана на научном семинаре кафедры физики и прикладной математики (ФИПМ) ВлГУ и отзыв утвержден на заседании кафедры ФИПМ, протокол № 8 от 09 апреля 2021 г.

Доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики и прикладной математики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

АРАКЕЛЯН Сергей Мартиросович  
Контактные данные:  
тел.: +7(4922)333369, e-mail: arak@vlsu.ru



13.04.2021

Адрес места работы:  
600000, Владимирская область, г. Владимир, ул. Горького, д. 87,  
Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего Образования  
«Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая  
Григорьевича Столетовых».

Подпись сотрудника ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени  
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» С.М. Аракеляна удостоверяю:

Ученый секретарь ВлГУ



Т.Г. Коннова  
13 апреля 2021 г.