

УТВЕРЖДАЮ

Директор федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, доктор физико-математических наук, чл.-корр. РАН

Шиплюк Александр Николаевич

«                      » сентября 2016 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Двойнишникова Сергея Владимировича «Многопараметрическая триангуляция геометрии динамических объектов в фазово-неоднородных средах», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

#### Актуальность темы диссертационной работы

Современные промышленные технологии предъявляют все более высокие требования к качеству изготовления выпускаемой продукции и снижению производственных издержек. При этом актуальной и востребованной является проблема разработки более совершенных производственно-технологических измерительных комплексов на основе бесконтактных оптических систем измерения геометрических параметров динамических объектов. В частности, активное развитие и широкое применение в промышленных технологиях получили триангуляционные измерители. Однако существующие оптико-электронные измерительные комплексы не позволяют в полной мере выполнять высокоточные измерения геометрических параметров в условиях фазово-неоднородных сред.

Именно решению научно-технической проблемы прецизионных оптических измерений геометрии динамических объектов в фазово-неоднородных средах и посвящена диссертационная работа Двойнишникова С.В. Целью работы является создание, развитие и реализация триангуляционных методов измерений геометрических параметров статических и динамических объектов в термоградиентных фазово-неоднородных средах, характерных для производственных условий горячей



металлургической промышленности и тяжелого машиностроения. Актуальность темы исследований, представленных в работе, сомнений не вызывает.

### **Основные научные результаты и их значимость для науки и производства**

К достоинствам диссертационной работы следует отнести последовательный комплексный подход к изучаемой проблеме, в котором важное внимание уделяется исследованию распространения оптических лучей триангуляционных измерительных схем в фазово-неоднородной среде, разработке методов многопараметрической триангуляции и разработке методов калибровки. Проведение полного цикла лабораторных и промышленных испытаний позволило решить научно-техническую проблему разработки и реализации триангуляционных методов измерений геометрических параметров статичных и динамичных объектов в термоградиентных фазово-неоднородных средах.

Можно выделить следующие наиболее значимые результаты работы:

- Предложены и реализованы новые комплексные методы многопараметрической триангуляции на основе модуляции оптического источника и многомерного регрессионного анализа пространственного и временного ансамблей экспериментальных данных, обеспечившие измерение геометрических параметров статичных и динамичных объектов в фазово-неоднородных средах с рекордно малой погрешностью.
- Разработаны и реализованы комплексные методы калибровки сверхточных оптико-электронных триангуляционных измерителей геометрических параметров, основанные на многопараметрическом регрессионном анализе калибровочных данных, устойчивые к искажениям фазово-неоднородной среды, работоспособные как в лабораториях, так и в реальных производственных условиях. В частности разработана и реализована технология мониторинга толщины горячего металлопроката с рекордно малым уровнем погрешности  $10^{-6}$  в лабораторных и  $10^{-5}$  в производственных условиях металлургического горячего цеха.
- Разработаны программно-аппаратные интерфейсы и программное обеспечение оптико-лазерных промышленных диагностических систем, реализующие методы многопараметрической триангуляции, обеспечивающие формирование



баз данных с технологической и учетной информацией о контролируемых геометрических параметрах.

- На основе проведенных исследований впервые создан ряд аппаратно-программных информационных диагностических систем и комплексов, реализующих методы многопараметрической триангуляции, адаптированных к характеристикам фазово-неоднородных сред, оптимально приспособленных к реальным условиям отечественного производства, успешно прошедших промышленные испытания и внедренных на металлургических и машиностроительных предприятиях России. В частности, методом многопараметрической триангуляции в фазово-неоднородных средах впервые выполнены бесконтактные натурные измерения трехмерной геометрии лопастей рабочего колеса лопастно-поворотной турбины.

**Научная ценность** диссертационной работы заключается в разработке и реализации новых методов многопараметрической триангуляции с применением пространственной и временной модуляции оптического источника и статистического анализа структуры фазово-неоднородной среды, обеспечившие точные и устойчивые измерения геометрических параметров статичных и динамичных объектов в фазово-неоднородных средах.

**Практическая значимость работы:**

На основе разработанных новых методов многопараметрической триангуляции созданы действующие прототипы аппаратно-программных оптоэлектронных систем для измерения 3D геометрии лопастей рабочих колес лопастно-поворотных турбин в процессе производства ОАО «Силловые машины-ЛМЗ».

Впервые создан действующий оптоэлектронный радиационно-безопасный измерительный комплекс для мониторинга толщины движущегося горячего проката. Измерительный комплекс успешно прошел цикл промышленных испытаний, введен в промышленную эксплуатацию в цехе горячего проката ОАО «Новосибирский металлургический завод им. Кузьмина» в 2013 году, и непрерывно работает, обеспечивая метрологию, технологический контроль и учет горячего проката.

Результаты работы активно используются в лабораториях ОАО «Силловые машины-ЛМЗ», ОАО «ИОИТ» и ряда институтов СО РАН, а сфера их применения может быть расширена на другие области науки и промышленных технологий.



Разработанные и реализованные новые методы многопараметрической триангуляции геометрии объектов могут быть успешно использованы также:

- В научных институтах и предприятиях аэрокосмического комплекса: ФГУП «ЦАГИ», ФГУП «ЦИАМ», ФГУП «ЦНИИмаш», ОАО «Авиадвигатель» Пермь, СибНИА им. С.А. Чаплыгина и др., Авиастроительный завод «Сокол» (г. Нижний Новгород), Арсеньевская авиационная компания «Прогресс» им. Н. И. Сазыкина (г. Арсеньев), Воронежское акционерное самолётостроительное общество (г. Воронеж), Комсомольск-на-Амуре авиационное производственное объединение им. Ю. А. Гагарина (г. Комсомольск-на-Амуре), Новосибирское авиационное производственное объединение им. В. П. Чкалова (г. Новосибирск),
- На предприятиях черной и цветной металлургии: Западно-сибирский металлургический комбинат (г. Новокузнецк), Магнитогорский металлургический комбинат (г. Магнитогорск), Череповецкий металлургический завод «Северсталь» (г. Череповец), Новолипецкий металлургический завод (г. Липецк), ООО «ВИЗ-сталь» (г. Екатеринбург), Каменск-Уральский металлургический завод (г. Каменск-Уральский), Металлургический комбинат «Уральская Сталь» (г.Новотроицк), Нижнетагильский металлургический комбинат (г. Нижний Тагил) , Челябинский металлургический комбинат (г. Челябинск) и др.)
- На предприятиях гидротурбостроения, на судостроительных и судоремонтных предприятиях, а также в других организациях специализирующихся на изготовлении сложных крупномасштабных объектов. Например, Амурский судостроительный завод (г. Комсомольск-на-Амуре), Невский судостроительно-судоремонтный завод (г. Шлиссельбург), Черноморский судостроительный завод (г. Николаев) и др.
- На предприятиях нефтегазового комплекса, энергетики и атомной промышленности, и всюду, где необходим размерный контроль точных машиностроительных изделий, а также в других организациях специализирующихся на изготовлении сложных крупномасштабных объектов.

#### **Общие замечания**

1. Автором предложено использовать термостатирование измерительного комплекса и дополнительно применять активную компенсацию показаний от



температуры. Однако в работе нет доказательств, что применение активной компенсации от температуры не ухудшит метрологические характеристики, ведь измерительный комплекс может нагреваться или остывать неравномерно.

2. Жесткие требования на алгоритмическую сложность обработки данных лазерных облачных триангуляторов выглядят необоснованными. Для современных ЭВМ обработать два изображения размером 640x480 пикселей не требует много времени.
3. В работе нет описания внешних условий, которые требуются для калибровки измерителя толщины на основе дифференциальной облачной триангуляции. Неясно, можно ли ее выполнять непосредственно на стане горячего проката?
4. В диссертации присутствует ряд неточностей, опусок и т.п.. Например, по тексту нет ссылок на рис.1.2, рис.1.3, рис.1.4, рис.1.5 (стр.40-45), цветные рисунки представлены в черно-белом варианте рис.4.21 (стр.338), рис.4.33 (стр.351), опечатки на стр.13, стр.18, стр. 32, стр.41, стр.144.

Сделанные замечания не снижают общего хорошего впечатления о выполненных автором исследованиях.

#### **Заключение**

В целом, по результатам рассмотрения диссертационной работы Двойнишникова С. В. можно отметить следующее.

Выполненная работа отличается актуальностью, научной новизной и практической значимостью. Достоверность выдвигаемых научных положений не вызывает сомнений. Работа содержит оригинальные результаты исследований, она в достаточной степени апробирована. Результаты диссертационной работы опубликованы в виде 15 статей в научных журналах, рекомендованных ВАК для публикации материалов докторских диссертаций, 11 патентов Российской Федерации, 14 статей индексированных международными базами научного цитирования WOS и SCOPUS.

В результате комплексного научного исследования, выполненного соискателем, решена крупная научно-техническая проблема разработки и реализации триангуляционных методов, обеспечивших измерение геометрических параметров статичных и динамичных объектов в фазово-неоднородных средах с рекордно малой погрешностью. Основные результаты диссертации - принципы построения



аппаратуры, программно-аппаратные интерфейсы и программное обеспечение оптико-лазерных промышленных диагностических систем, комплексные методы калибровки сверхточных оптико-электронных триангуляционных измерителей - имеют важное научное и прикладное значение для отечественного приборостроения.

Представленная к защите диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной самостоятельно и на высоком научно-техническом уровне. Она соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, в соответствии с п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор - Двойнишников С.В. заслуживает присвоения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Диссертационная работа заслушана, отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на семинаре ФГБУН Института Теоретической и Прикладной механики им С.А. Христиановича под председательством директора ИТПМ СО РАН, чл.-корр. РАН А.Н. Шиплока «16» сентября 2016 г., протокол № 21.

Доктор физико-математических наук,  
зав. лабораторией «Оптических методов  
диагностики газовых потоков»

 Бойко Виктор Михайлович

тел.: +7 (383) 354-30-40  
эл. почта: bvm@itam.nsc.ru

