

ОТЗЫВ
ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
ВЛАДИМИРОВА АЛЕКСАНДРА ПЕТРОВИЧА

Доктора технических наук, Старшего научного сотрудника ФГБУН Институт
машиноведения имени Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук

По диссертации Трибушевой Лидии Александровны на тему «Методы и средства расширения диапазона и повышения точности воспроизведения единицы механической деформации» на соискание степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10. Метрология и метрологическое обеспечение

Актуальность темы исследования

Развитие и внедрение тензометрических и оптических методов измерения деформации обуславливают необходимость единых подходов к оценке точностных характеристик и создания современной эталонной базы, обеспечивающей прослеживаемость таких измерений. В этом контексте предложенные в диссертационной работе подходы к воспроизведению деформации по схеме чистого изгиба балки и построению исходного эталона представляются своевременным вкладом в развитие метрологического обеспечения измерений деформации.

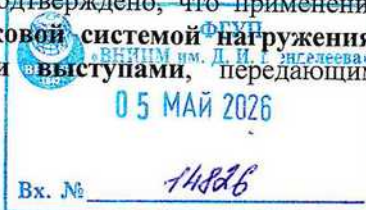
Общая характеристика работы.

Диссертация Трибушевой Л.А. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и обозначений, списка терминов, списка литературы и приложений. Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, определены объект, предмет, методы, а также новизна и практическая значимость работы. Первая глава посвящена анализу современных методов измерения деформаций и состояния метрологического обеспечения, включая требования к эталонам деформации. Во второй главе развита физико-математическая модель воспроизведения единицы деформации на балке при чистом изгибе и рассмотрено влияние основных факторов на точность измерений. Третья глава содержит описание разработанной установки воспроизведения деформации и результаты её экспериментального исследования и сопоставления с эталонными установками. В четвёртой главе предложена система передачи единицы деформации рабочим эталонам и средствам измерений на основе локальной поверочной схемы. В пятой главе представлены материалы по внедрению исходного эталона и локальной поверочной схемы в метрологическую практику и обозначены перспективы дальнейшего развития эталонов деформации.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

Усовершенствована физико-математическая модель процесса измерений деформации поверхности упругодеформированной балки прямоугольного постоянного сечения, нагружаемой по схеме чистого изгиба, путём установления аналитической зависимости неопределённости результата измерений от первоначальной неплоскостности, непараллельности рабочих и боковых граней балки, а также разности изгибающих моментов. Это позволило количественно обосновать и установить граничные значения указанных геометрических параметров. Достоверность модели подтверждена сходимостью теоретических расчётов с экспериментальными данными, полученными при использовании поверенных средств измерений, а также положительными результатами межлабораторных сличительных испытаний с участием зарубежной прецизионной установки SK-1 (SASTIND, Китай).

Обосновано и экспериментально подтверждено, что применение стэнда чистого изгиба с симметричной рычажно-роликовой системой нагружения и пластинами-«подушками» с полуметрическими выступами, передающими нагрузку по



образующим цилиндрических поверхностей с прохождением нормали через точку контакта балки, позволяет конструктивно исключить нежелательные продольные и поперечные силы на рабочем участке балки. **Достоверность** данного утверждения базируется на совокупности применённых статистических критериев (коэффициент детерминации, корреляция Пирсона, анализ тренда, ANOVA) с единых позиций подтверждает **достоверность и обоснованность** результатов диссертации. Отсутствие статистически значимой зависимости деформации от координаты вдоль балки и отсутствие тренда являются необходимыми условиями для обеспечения **воспроизводимости единицы деформации**.

Разработан **алгоритм передачи единицы деформации** от исходного эталона средствами измерений высокой точности, реализующий два метода:

- **метод прямых измерений** — для приклеиваемых и привариваемых первичных преобразователей (тензорезисторы, волоконно-оптические датчики);
- **метод сличения с помощью компаратора** — для поверочных установок на основе стенов чистого изгиба и балок равного сопротивления изгибу.

Данные рабочие эталоны, в свою очередь, обеспечивают передачу единицы деформации для **точных и грубых средств измерений** с относительной погрешностью от 0,2 % до 6 %. **Достоверность** разработанного алгоритма подтверждена практическим внедрением: аттестацией исходного эталона (рег. № 3.1.ZZB.0402.2021), утверждением локальной поверочной схемы, а также успешной поверкой более 240 партий тензорезисторов, 258 волоконно-оптических тензометров и 3 установок чистого изгиба в качестве рабочих эталонов.

Теоретическая значимость заключается в развитии физико-математической модели деформации балки при чистом изгибе, учитывающей влияние геометрических отклонений, упругопластического поведения и особенностей нагружения. На основе модели обоснованы требования к конструкции установки и методам оценки неопределённости, что повышает достоверность результатов.

Практическая значимость определяется разработкой исходного эталона единицы деформации в диапазоне от минус 5000 до 5000 млн⁻¹ с расширенной неопределённостью от 3,6 до $(2,8+9 \cdot 10^{-4} \cdot \varepsilon)$ млн⁻¹ и комплектом нормативной документации. Локальная поверочная схема обеспечивает передачу единицы средствами измерений в диапазоне до 10000 млн⁻¹. Результаты внедрены в практику метрологических служб.

Полнота опубликованных результатов работ

Основные положения и результаты диссертационной работы опубликованы в научных трудах автора, включающих статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, публикации в изданиях, индексируемых в международных базах данных, материалы конференций, а также документы, связанные с аттестацией и применением исходного эталона единицы деформации. Представленный перечень работ отражает результаты исследования. Таким образом, можно считать, что полнота опубликованных результатов диссертационной работы является достаточной, а её основные научные и практические выводы получили апробацию в профессиональном сообществе.

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации отсутствует информация о минимальной базе преобразователя, для которой обеспечивается заявленная точность передачи единицы деформации.

2. В тексте диссертации описание конструкции эталонной установки представлено с ссылкой к патентам [76, 77], что позволяет не перегружать текст. Однако приведение более детального описания самоустанавливающихся роликов, требований к отклонениям формы и расположения полуцилиндрических выступов, параллельности осей роликов и материала пластин позволило бы полнее раскрыть требования к параметрам, влияющим на точность воспроизведения единицы деформации.

3. В тексте, в том числе формулах (2.7), (2.53), (2.88), рисунках 2.2 и 3.1 присутствуют незначительные опечатки и ошибки в обозначениях.

Отмеченные замечания носят частный характер, не затрагивают ключевые научные результаты и не снижают общей научной и практической ценности выполненной работы.

Общее заключение.

Диссертация Трибушевой Лидии Александровны на тему «Методы и средства расширения диапазона и повышения точности воспроизведения единицы механической деформации», представленная на соискание степени кандидата технических наук, является завершённой научно-квалификационной работой, в которой решена важная задача расширения диапазона и повышения точности воспроизведения единицы механической деформации путем разработки исходного эталона и системы передачи единицы деформации. Совокупность полученных автором научных результатов обладает новизной, теоретической и практической значимостью, подтверждена экспериментально и внедрена в метрологическую практику, а содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение».

Считаю, что диссертация соответствует требованиям п. 9–14 Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 N 842 «О порядке присуждения ученых степеней» (вместе с «Положением о присуждении ученых степеней»), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Трибушевская Лидия Александровна заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение»

Старший научный сотрудник
ФГБУН ИМАШ УрО РАН

Владимиров А.П.
расшифровка подписи

27. 04. 2026 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук (ИМАШ УрО РАН)

Адрес: 620049 г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34

e-mail: var@imach.uran.ru

Тел.: +7 (343) 362-30-24

Подпись д.т.н.,
старшего научного сотрудника
Лаборатории технической
диагностики
Владимирова Александра
Петровича
заверяю:



ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
Ученый секр. Привалова В.В.

расшифровка подписи

27. 04. 2026 г.

Сведения об официальном оппоненте

по диссертации Трибушевской Лидии Александровны на тему «Методы и средства расширения диапазона и повышения точности воспроизведения единицы механической деформации», подготовленной по специальности 2.2.10 «Метрология и метрологическое обеспечение» на соискание учёной степени кандидата технических наук

Фамилия, имя, отчество	Владимиров Александр Петрович
Дата рождения	
Учёная степень	Доктор технических наук
Учёное звание	Старший научный сотрудник
Академическое звание	
Шифр и наименование специальности, по которой защищена диссертация	05.11.13
Полное название организации, которая является основным местом работы	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук
Организационно – правовая форма	Федеральное государственное бюджетное учреждение (ОКОПФ 75103)
Ведомственная принадлежность	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Наименование структурного подразделения	Лаборатория технической диагностики
Должность	Старший научный сотрудник
Адрес организации	620049 г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34
Телефон (оппонента)	+7 (343) 362-30-24
Адрес электронной почты	var@imach.uran.ru

Список основных публикаций в рецензируемых научных изданиях по теме диссертации (не более 15 публикаций)

1 Владимирова, А. П. К вопросу о создании новых методов и устройств неразрушающего контроля и технической диагностики / А. П. Владимирова, П. В. Павлов // XIV международная конференция по фотонике и информационной оптике: Сборник научных трудов, Москва, 29–31 января 2025 года. – Москва: Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, 2025. – С. 137-138. – EDN GGEJYB.

2 Владимирова, А. П. Перспективы создания технического зрения остаточного ресурса деталей аэрокосмической техники / А. П. Владимирова // Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации. – 2025. – Т. 1. – С. 86-87. – EDN CWXGVH.

3 Владимирова, А. П. К моделированию усталостной деградации деталей / А. П. Владимирова, А. В. Коновалов // Математическое моделирование в естественных науках. – 2024. – Т. 1. – С. 91-94. – EDN KHULWB

4 Владимирова, А. П. К использованию результатов Спекл-диагностики деформаций для разработки методов оценки и расчета ресурса деталей / А. П.

Владимиров, К. В. Наумов, И. Г. Емельянов // Математическое моделирование в естественных науках. – 2023. – Т. 1. – С. 92-94. – EDN IQTWSW.

5. Владимиров, А. П. Спекл-диагностика деформаций на минимальной базе порядка 1 мкм: возможности и перспективы применения / А. П. Владимиров // Математическое моделирование в естественных науках. – 2022. – Т. 1. – С. 52-54. – EDN SNQIQZ.

6 Владимиров А.П. Друкаренко Н.А. Мызнов К.Е. Использование спекловых изображений для определения локальных пластических деформаций, возникающих при многоцикловой усталости стали 09Г2С // Письма в журнал технической физики. 2021. Т. 47. № 15. С. 35-38. DOI: 10.21883/PJTF.2021.15.51232.18752.

7 Vladimirov, A. P. Comparative analysis of dynamic and holographic interferometry methods with reference to deformations of a membrane / A. P. Vladimirov, D. S. Kapustin // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2004. – Vol. 40, No. 1. – P. 61-65. – DOI 10.1023/B:RUNT.0000036431.80848.ff. – EDN LIQUNB.

8 Владимиров А.П. Спекл-диагностика деградации авиационных материалов. Раздел 3.2. – С. 163-173 // Книга “Актуальные вопросы исследований в авионике”. Монография. – Под редакцией В.Н. Букова. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр “Научная книга”, 2020. 456 с.

9 Владимиров А.П. Каманцев И.С. Друкаренко Н.А. Тришин В.Н. Акашев Л.А. Дружинин А.В. Оценка усталостных повреждений в органическом стекле оптическими методами // Оптика и спектроскопия. 2019. Т. 127. Вып. 11. С. 870-880. DOI: 10.21883/OS.2019.11.48530.165-19.

10 Theory and calibration of speckle dynamics of phase object / A. P. Vladimirov, A. V. Druzhinin, A. S. Malygin, K. N. Mikitas // Progress in Biomedical Optics and Imaging - Proceedings of SPIE, Saratov, 27–30 сентября 2011 года. – Saratov, 2012. – P. 83370C. – DOI 10.1117/12.924800. – EDN PDMGQR.

Старший научный сотрудник
Владимиров А.П.

27.04.26



ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
Ученый секр. Привалова В.В.