

## ОТЗЫВ

официального оппонента

доцента факультета систем управления и робототехники

федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»

доктора технических наук **Федорова Алексея Владимировича**

на диссертационную работу **Никазова Артёма Александровича**

на тему: «Разработка средств метрологического обеспечения измерений  
твердости металлов и сплавов по методу Либа», представленную к защите на  
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности  
05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов  
и изделий (отрасль наук – технические науки)

На отзыв представлены том рукописи диссертации на 127 листах (118  
листов основного текста), и автореферат на 20 страницах.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка  
литературы, включающего 101 наименование, и четырех приложений.

Рассмотрение и анализ представленных материалов, а также  
опубликованных работ по теме диссертации позволили сформулировать  
следующий отзыв на диссертацию.

### **Актуальность темы диссертации**

В настоящее время, к качеству изделий различных отраслей  
промышленности (машиностроение, авиастроение, судостроение, атомная  
энергетика и др.) предъявляются высокие требования к характеристикам  
механических свойств их материалов. Следует отметить, что большинство  
результатов механических испытаний коррелируют с испытаниями на  
твердость - механическими процессами, которые включают сложную  
контактную механику и нелинейную пластическую деформацию. Развитие  
современных измерительных технологий способствовали созданию и  
внедрению новых динамических методов и портативных приборов измерения  
твердости материалов. Одним из таких методов является метод измерения  
твердости по шкалам Либа. Однако, несмотря на введение в действие ГОСТ Р  
8.969-2019 (ИСО 16859-1:2015) и Государственной поверочной схемы для  
средств измерений твердости металлов по шкале Шора D (HSD) и шкалам Либа

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-126 от 12.05.22  
ЛУ УС

(HLD, HLG) остаются нерешёнными вопросы связанные с передачей всех шкал твердости по Либу (HLS, HLE, HLDG и пр.) рабочим средствам измерений мерами, а задача обеспечения точности и достоверности результатов контроля механических свойств металлов и сплавов портативными динамическими твердомерами путем создания системы метрологического обеспечения измерений твердости по методу Либа не решена в окончательном виде.

В связи с этим **тема диссертационной работы** Никазова А.А., посвященная разработке средств метрологического обеспечения измерений твердости металлов и сплавов по методу Либа **является** своевременной и **актуальной**. Диссертационная работа Никазова А.А. имеет как научную, так и практическую значимость в этом направлении, а задачи, решаемые автором защищаемой диссертации, непосредственно направлены на повышение качества продукции и заслуживают внимания в условиях современного развития науки и техники, как с теоретической, так и с практической точек зрения.

#### **Общая характеристика работы**

Содержание работы построено в соответствии с решением поставленных задач. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и четырех приложений.

Во введении автор обосновывает актуальность темы исследований и степень ее разработанности, формулирует цель работы, задачи и идею работы, раскрывает научную новизну работы и практическую ценность ее результатов.

В первой главе диссертации проведен анализ существующих статических и динамических методов измерения твердости, рассмотрены физические и методические основы динамических методов измерения твердости, а также особенности аппаратной реализации метода Либа. Показано, что в настоящее время одной из важных и наименее проработанных вопросов является совершенствование национальной системы метрологического обеспечения измерений твердости по методу Либа, в том числе доработка структуры иерархической схемы передачи единицы твердости по шкалам Либа, разработка эталонной установки твердости по шкалам Либа и технологии изготовления мер твердости по шкалам Либа.

Во второй главе приведено описание особенностей метода измерения твердости по шкалам Либа и основ обеспечения единства измерений твердости

по шкалам Либа. Показано, что для обеспечения единства измерений твердости по шкалам Либа необходимо нормировать и контролировать параметры датчика твердомера, а именно: скорость удара, массу бойка (включая шариковый наконечник), радиус наконечника, а также физико-механические характеристики материала наконечника. Приведены результаты расчетов, которые показали, что при соблюдении требований, установленных стандартами, предельное относительное отклонение измеряемого значения твердости для эталонов и средств измерений по шкале Либа HLD вследствие отклонений значений контролируемых параметров не превышают 0,1 % для эталонных установок и 1,7 % для рабочих средств измерений.

В третьей главе представлены результаты анализа метрологических характеристик эталонов и средств измерений твердости по шкалам Либа и разработанный проект поверочной схемы, обеспечивающий неопределенность результатов измерений в соответствии с действующими стандартами.

В четвертой главе представлены результаты анализа существующих конструкций эталонных установок и рабочих средств измерений твердости по шкалам Либа, сформулированы требования к основным конструктивным элементам и узлам прототипа эталонной установки 2-го разряда, приведено описание конструкции экспериментального образца эталонной установки 2-го разряда.

В пятой главе представлены материалы исследований метрологических характеристик изготовленного экспериментального образца эталонной установки 2-го разряда, эталонных мер твердости и средств измерений твердости по шкале Либа HLD. Показана и экспериментально подтверждена возможность передачи единицы твердости по шкалам Либа от первичного эталона до рабочих средств измерений с соблюдением установленных в международных и национальных стандартах метрологических требований.

В заключении представлены основные научные результаты работы.

В приложениях приведены калибровочные сертификаты эталонных мер твердости 1-го разряда по шкале Либа D (РТВ), Акт внедрения ООО «КОНСТАНТА», Акт внедрения Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

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

На основе анализа современного состояния национальной системы метрологического обеспечения измерений твердости по методу Либа автор обоснованно и корректно сформулировал цель и взаимосвязанные задачи исследований.

Исследования проводились на основе применения методов теории прочности и пластичности, механики контактного взаимодействия, измерений, экспериментальных методов оценки метрологических характеристик экспериментального образца эталонной установки 2-го разряда. Данный выбор является обоснованным и методически правильным.

**Достоверность и обоснованность** научных положений, выводов и рекомендаций определяется корректностью постановки задач исследований; применением теоретически и экспериментально обоснованных физико-математических моделей, используемых при расчетах; результатами экспериментальных исследований и их сходимостью с результатами теоретического анализа; признанием основных положений диссертации широким кругом специалистов при апробировании материалов исследований на конференциях, а также результатами их внедрения.

**Научная новизна** результатов диссертации заключается в следующем:

1) впервые разработана модель процесса измерения твердости по методу Либа, учитывающая влияние физических свойств и геометрических параметров датчика и испытуемого образца на результаты измерений;

2) предложен и обоснован проект новой поверочной схемы для средств измерений твердости металлов по шкалам Либа, которая, в отличие от существующей, представляет из себя четырехступенчатую структуру и основана на совместном использовании поэлементной аттестации и калибровки по мерам твердости рабочих эталонных установок и средств измерений;

3) разработана новая методика определения метрологических характеристик эталонных установок по шкалам Либа, воспроизводящих единицу твердости по методу Либу и обеспечивающих передачу значений твердости по шкалам Либа мерам твердости и рабочим средствам измерений (твердомерам).

**Теоретическая ценность научных результатов** диссертации характеризуется тем, что они вносят вклад в развитие метрологического обеспечения измерений твердости по шкалам Либа, а именно методов и средств, направленных на получение достоверной и точной измерительной информации.

**Практическая значимость** выполненной диссертационной работы заключается в том, что разработка проекта поверочной схемы для средств измерений твердости металлов по шкалам Либа, экспериментального образца эталонной установки 2-го разряда, рабочих мер твердости, методик их калибровки позволяют усовершенствовать систему обеспечения единства измерений твердости по шкалам Либа в Российской Федерации.

Следует отметить, что основные теоретические и прикладные результаты работы ориентированы, в конечном счете, на повышение качества продукции

Основные результаты работы реализованы в ООО «КОНСТАНТА» и Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», о чем свидетельствуют Акты внедрения результатов диссертационного исследования. Данные результаты в дальнейшем могут быть использованы при разработке, производстве и эксплуатации твердомеров по шкалам Либа, а также развитию нового направления в области твердомерии – динамического инструментального индентирования.

Вместе с тем, исходя из анализа содержания текста диссертации и автореферата, диссертационная работа содержит ряд **недостатков и замечаний**:

1. Отсутствует обоснование использования формулы (19) на стр.43 диссертации (формула (4) на стр.13 автореферата) для оценки суммарной относительной неопределенности измерительной установки, в которой принимается независимость входных величин, входящих в выражение для расчета коэффициента восстановления.

2. В процессе экспериментального исследования ударного преобразователя с пружинным механизмом разгона ударника (п.п.4.1.1 диссертации) автором проведены «экспериментальные исследования разброса скорости ударника первичного преобразователя типа D путем записи осциллограмм ЭДС, возникающей на катушке индуктивности» (стр. 66

диссертации). Однако в тексте диссертации отсутствует описание эксперимента, в том числе средства измерений и его технических и метрологических характеристик, что снижает достоверность его результатов.

3. При определении номинального значения и оценке неопределенности скорости удара (п.п.5.1.3.3 диссертации) автором констатируется, что «Измеренная скорость составляет  $(2,049 \pm 0,0011)$  м/с...» (стр. 97 диссертации). Однако из текста диссертации неясно, каким образом при получении данного результата учитывались метрологические характеристики оптоволоконного лазерного интерферометра.

4. В работе не представлены исследования для других типов датчиков по методу Либба, потенциально имеющих не меньшее распространение, чем тип D.

5. В тексте диссертации имеются некорректные записи формул, например, формулы (7) на стр.39 диссертации, формулы (15) на стр.43 диссертации.

Приведенные выше недостатки и замечания не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку диссертационной работы.

Результаты исследований достаточно полно опубликованы в 9 печатных работах, из них 3 статьи - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (Перечень ВАК), 2 статьи - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство на программу для ЭВМ.

В совместных публикациях вклад соискателя является определяющим. Достижения других авторов использованы корректно с указанием ссылок на конкретные публикации.

Содержание автореферата достаточно полно отражает содержание диссертации и позволяет составить целостное представление о проделанной работе. Материалы диссертации изложены достаточно грамотно, логически последовательно и представлены в лаконичной форме.

## Заключение

Диссертация Никазова А.А. является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научно-технической задачи, заключающейся в разработке средств метрологического обеспечения измерений твердости металлов и сплавов по методу Либа.

Считаю, что диссертационная работа на тему «Разработка средств метрологического обеспечения измерений твердости металлов и сплавов по методу Либа», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 20.05.2021 №953адм, а ее автор – Никазов Артём Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий (технические науки).

Официальный оппонент,  
доктор технических наук,  
доцент факультета систем управления и робототехники  
Университета ИТМО

«04» мая 2022 года

Федоров Алексей Владимирович

Почтовый адрес: 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А.  
Телефон: +7(911) 925-18-86  
Адрес электронной почты: [avfedorov@itmo.ru](mailto:avfedorov@itmo.ru)

федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»

197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А  
+7 (812) 480-00-00, +7 (812) 232-23-07  
[od@mail.ifmo.ru](mailto:od@mail.ifmo.ru)

Подпись Федорова  
доверяю  
Александр ОПС  
Дмитрий В.А.

