

Ученому секретарю диссертационного совета  
«ФГУП ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»  
190005, Россия, Санкт-Петербург,  
Московский пр., д.19  
К.В. Чекирде

## ОТЗЫВ

официального оппонента

профессора факультета систем управления и робототехники  
федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский  
университет информационных технологий, механики и оптики»  
доктора технических наук **Федорова Алексея Владимировича**  
на диссертационную работу **Кувандыкова Рустама Эгамбердыевича** на тему:  
«Разработка и исследование отечественного транспортируемого эталонного  
вакуумметра для проведения сличений, поверки, калибровки средств измерений  
низкого абсолютного давления», представленную к защите на соискание ученой  
степени кандидата технических наук по специальности 2.2.4. «Приборы и методы  
измерения (по видам измерений)»

На отзыв представлены диссертация на 164 страницах машинописного текста  
(124 страницы основного текста) и автореферат на 21 странице.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, перечня  
библиографических записей, включающего 49 наименований, 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 в Российской Федерации не выпускаются  
транспортируемые компактные вакуумметры, имеющие необходимые диапазоны и  
погрешности измерений низкого абсолютного давления газа. Необходимо отметить  
особую значимость измерений низкого абсолютного давления газа в атомной,  
авиакосмической, электронной промышленности, в металлургии и других



высокотехнологичных отраслях промышленности на фоне увеличения количества средств измерений низкого абсолютного давления газа и роста потребности в эталонных вакуумметрах, применяемых для их поверки, калибровки и межлабораторных испытаний.

До последнего времени задача обеспечения транспортируемыми эталонами сравнения в области измерений низкого абсолютного давления в основном решалась на основе использования вакуумметров импортного производства. Однако, введенные против Российской Федерации санкции со стороны недружественных государств с особой остротой выявили необходимость разработки и внедрения эталонов сравнения, дальнейшего совершенствования и развития системы метрологического обеспечения в области измерений низкого абсолютного давления газа. Следует также отметить, что, несмотря на имеющийся существенный научный и практический задел по эталонным средствам измерений в области низкого абсолютного давления газа, в том числе с использованием первичных измерительных преобразователей изготовленных по технологии микроэлектромеханических систем, задача по разработке эталонных вакуумметров, предназначенных для проведения межлабораторных и международных сличений с целью установления эквивалентности государственных первичных эталонов, требовала своего неотложного решения.

В связи с этим **тема диссертационной работы** Кувандыкова Р.Э., посвященная разработке и исследованию отечественного транспортируемого эталонного вакуумметра, основанного на новом способе измерения низкого абсолютного давления газа, **является** своевременной и **актуальной**.

### **Общая характеристика работы**

Содержание работы построено в соответствии с решением поставленных задач. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, перечня библиографических записей и четырех приложений.

Во введении автор обосновывает актуальность темы работы, определяет ее цель и задачи, раскрывает научную новизну результатов работы, теоретическую и практическую значимость работы.

В первой главе диссертации проведен обзор и анализ рабочих эталонов государственных поверочных схем в области измерений низкого абсолютного давления газа. На основе результатов данного анализа установлены целевые метрологические характеристики эталонного вакуумметра: диапазон измерений от  $1 \cdot 10^1$  до  $1 \cdot 10^3$  Па, относительная погрешность измерений не более 2 %, в качестве

требуемого метода при разработке эталонного вакуумметра по совокупности метрологических и технических характеристик выбран деформационный метод измерений низкого абсолютного давления газа, а также показана перспективность использования при разработке эталонного вакуумметра технологий микроэлектромеханических систем.

Во второй главе представлено исследование нового способа измерений давления газа, состоящего в измерении упругих свойств газа, в том числе модель устройства для осуществления данного способа и полученное на ее основе уравнение измерений. Приведены разработанная методика расчета параметров конструкции устройства для осуществления нового способа измерения давлений газа, а также результаты расчета параметров конструкции первичного измерительного преобразователя эталонного вакуумметра и разработки измерительного блока с функцией автоматического регулирования давления газа в вакуумметрической установке.

В третьей главе представлены результаты исследования неопределенности измерений эталонного вакуумметра, а также экспериментального исследования метрологических характеристик созданного эталонного вакуумметра, которые заключаются в построенной градуировочной характеристике изготовленного опытного образца эталонного вакуумметра, рассчитанном значении градуировочного коэффициента и в оценке его неопределенности, оценках составляющих бюджета неопределенности изготовленного эталонного вакуумметра, суммарной и расширенной неопределенностей результатов измерений эталонного вакуумметра.

В заключении представлены основные результаты диссертационной работы.

В приложениях приведены описание изобретения к патенту, акты о внедрении результатов диссертационного исследования, акт приемочных испытаний и чертеж первичного измерительного преобразователя вакуумметра.

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

На основе анализа состояния проблемы повышения эффективности метрологического обеспечения в области измерений низкого абсолютного давления газа автор обоснованно и корректно сформулировал цель и взаимосвязанные задачи исследований.

Исследования проводились на основе применения кинетической теории газов, теорий газодинамики и электростатики, современных методов моделирования,



проектирования и конструирования приборов и систем, методов обработки экспериментальных данных. Данный выбор является обоснованным и методически правильным.

В процессе исследований автором были получены следующие **результаты**:

1) предложен и исследован новый способ измерения низкого абсолютного давления газа, заключающийся в измерении собственной частоты автоколебаний пластины-осциллятора, а также разработана модель устройства для осуществления данного способа измерения давления газа и выведено уравнение измерений;

2) разработаны конструкция первичного измерительного преобразователя и измерительного блока с функцией автоматического регулирования давления газа эталонного вакуумметра;

3) исследованы метрологические характеристики экспериментального образца разработанного эталонного вакуумметра, определено значение его градуировочного коэффициента.

**Достоверность и обоснованность** научных положений, выводов и рекомендаций определяется корректностью постановки задач исследований; применением теоретически и экспериментально обоснованных физико-математических моделей; 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 внедрением результатов исследований.

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

1. Предложен, реализован и исследован новый деформационно-частотный способ измерения низкого абсолютного давления газа, исключая влияние на результат измерения значения остаточного давления в сравнительной камере и температурных эффектов при термостатировании первичного измерительного преобразователя деформационного вакуумметра, с обеспечением требований государственных поверочных схем в области измерений низкого абсолютного давления, при уменьшении массогабаритных характеристик вакуумметра и увеличении его стойкости к внешним механическим воздействиям.

2. Впервые предложена и обоснована физико-математическая модель первичного измерительного преобразователя для осуществления деформационно-частотного способа измерения низкого абсолютного давления газа, разработанная с учетом анализа изотермических, адиабатических газовых процессов и

колебательного процесса, позволяющая определить расчетный коэффициент преобразования.

3. Разработаны научно-методические принципы для изготовления конструкции первичного измерительного преобразователя вакуумметра, реализующие деформационно-частотный способ измерения низкого абсолютного давления газа, включая алгоритм расчета параметров конструкции, а также научно-методические принципы технических решений программно-аппаратного комплекса, включающего эталонный вакуумметр, повышающих эффективность процедур поверки и калибровки вакуумметров, путем автоматизации данных процедур.

**Теоретическая ценность научных результатов** диссертации характеризуется тем, что они вносят вклад в развитие приборов и методов измерений низкого абсолютного давления газа, в части разработки нового деформационно-частотного способа, исключающего влияние на результат измерения значения остаточного давления в сравнительной камере и температурных эффектов при термостатировании первичного измерительного преобразователя деформационного вакуумметра.

**Практическая значимость** выполненной диссертационной работы заключается в том, что применение деформационно-частотного способа измерения низкого абсолютного давления газа, научно-методические принципы для изготовления конструкции первичного измерительного преобразователя вакуумметра, научно-методические принципы технических решений программно-аппаратного комплекса, включающего эталонный вакуумметр, позволили:

- улучшить технические характеристики разработанного вакуумметра, а именно уменьшить габаритные размеры более чем в 1,5 раза и массу более чем в 8 раз, снизить энергопотребление и стоимость изготовления более, чем в 2 раза, а время выхода на режим измерения сократить почти в 2 раза по сравнению с существующими эталонными вакуумметрами;

- уменьшить неопределенность измерений в 1,5 раза по сравнению с аналогичными эталонными вакуумметрами, исключить ряд поправок, характерных для современных эталонных деформационных вакуумметров, в том числе снизить значение относительной погрешности измерений не менее чем в 2 раза по сравнению с погрешностями рабочих эталонов второго разряда согласно государственных поверочных схем для средств измерений низкого абсолютного давления газа;

- автоматизировать и сократить более чем в 1,5 раза общее время процедуры поверки и калибровки средств измерений низкого абсолютного давления газа.

Следует отметить, что основные теоретические и прикладные результаты работы ориентированы, в конечном счете, на повышение эффективности метрологического обеспечения в области измерений низкого абсолютного давления газа, в том числе метрологических и технических характеристик эталонных вакуумметров. Основные результаты диссертационного исследования реализованы в АО «Гирооптика» и ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», о чем свидетельствуют акты о их внедрении. Данные результаты в дальнейшем могут быть использованы при изготовлении эталонных вакуумметров, которые обеспечат потребности промышленности и метрологических лабораторий Российской Федерации.

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

1. Не представлены теоретические исследования возможных нижнего и верхнего пределов диапазона измерений для предложенного деформационно-частотного способа измерения абсолютного давления газа.

2. Отсутствует обоснование принимаемого закона распределения при оценивании стандартных неопределенностей по типу В значений температурного коэффициента линейного расширения материала, температуры преобразователя, частот колебаний пластины.

3. В тексте диссертации на странице 66 при расчете толщины подвижной пластины (ПП) приводится утверждение, что «Для уменьшения перетекания газа при колебаниях ПП, период автоколебаний ПП должен быть меньше 1 миллисекунды», которое далее не обосновывается.

4. В тексте диссертации на страницах 108, 111, 112 даны ссылки на несуществующие формулы (4.1), (4.2), (4.3), а на рисунке 2.22 (страница 79) указана размерность времени – «мсек».

5. В текстах автореферата и диссертации присутствуют незначительные грамматические ошибки.

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

Результаты исследований достаточно полно опубликованы в 10 печатных работах, из них 3 печатных работы в изданиях, рекомендуемых ВАК, получен патент на группу изобретений (способ и устройство) под №RU 2749644 С1 «Способ измерения низкого абсолютного давления газа и устройство для его осуществления». В совместных работах 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.

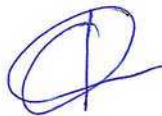
### Заключение

Диссертация Кувандыкова Р.Э. является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научно-технической задачи по разработке и исследованию в области измерений низкого абсолютного давления газа, в частности созданию отечественного транспортируемого эталонного вакуумметра.

Считаю, что диссертационная работа Кувандыкова Рустама Эгамбердыевича полностью соответствует критериям Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.4. «Приборы и методы измерения (по видам измерений)».

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

«15» мая 2023 года



Федоров Алексей Владимирович

Почтовый адрес: 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49,  
Телефон: +7(812) 595-41-48  
Адрес электронной почты: [avfedorov@itmo.ru](mailto:avfedorov@itmo.ru)

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»**

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

ПОДПИСЬ Федоров  
УДОСТОВЕРЯЮ  
МЕЧЕД ЖЕР ОПС  
Давидчук Ю. А.

7

