

Таким образом, можно сделать вывод о том, что мощность теплового потока распылённых атомов при распылении мишени практически не зависит от мощности разряда, что согласуется с исследованием [2].

Литература

1. Кузьмичёв, А.И. Магнетронные распылительные системы [Текст]/ А.И. Кузьмичёв – Киев: Аверс, 2008. – 244 с.
2. А.В. Рогов, Ю.В. Капустин, Ю.В. Мартыненко, «Факторы, определяющие эффективность магнетронного распыления. Критерии оптимизации», 2014
3. Минжулина Е.А. Изучение процесса нагревания мишени магнетрона по результатам измерения температуры подложки [Текст] / В.В. Смирнов, А.А. Козин, В.И. Шаповалов // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2017. - №2. – С. 543-546.
4. Юрьева А.В. Баланс энергии на катодном узле магнетронной распылительной системы с жидкофазной мишенью [Текст] / А.В. Юрьева, Г.А. Блейхер, О.М. Степанова, Ю.Н. Юрьев // Известия ВУЗов. Физика. – 2014. – №3 – С. 276-280.
5. Юрьева А.В. Осаждение металлических покрытий с помощью магнетронной распылительной системы с жидкофазной мишенью: дис. ... канд. техн. наук. Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, 2017.
6. Михеев, М. А. Основы теплопередачи [Текст]/ М.А. Михеев, И.М. Михеева. – Москва: Энергия, 1977. – 344 с.

Состояние работ по созданию МЭМС вакуумметров

*Р.Э. Кувандыков, Р. А.Тетерук, А.А. Чернышенко
Санкт-Петербург, ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», Московский пр., д. 19,
E-mail: vacuum@vniim.ru*

В статье описывается текущее состояние работ по созданию во ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» вакуумметров по технологии МЭМС.

Current state of researches in MEMS vacuum gauges creation. R.E. Kuvandykov, R.A.Teteruk, A.A. Chernyshenko. The article describes the current state of researches in creating of MEMS vacuum gauges in D.I. Mendeleev Institute for Metrology.

В настоящее время в области измерений абсолютных давлений существует ряд проблем, связанных, в первую очередь, с отсутствием на рынке высокоточных отечественных средств измерений (СИ) низких абсолютных давлений. Можно обозначить следующие основные проблемы:

- отсутствие серийно выпускаемых отечественных высокоточных СИ, соответствующих эталонам 1 и 2 разрядов согласно ГОСТ 8.107-81 [1] и ГОСТ Р 8.840-2013 [2];
- отсутствие отечественных эталонов сравнения для проведения сличений между государственными первичными эталонами давлений РФ, проведения межлабораторных сравнительных испытаний, а также проведения международных сличений;
- санкционные ограничения, введенные западными странами, не позволяют осуществлять закупку целого ряда высокоточных СИ иностранного производства.

Для решения указанных проблем ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» было предложено разработать отечественные вакуумметры в рамках концепции «Эталон на столе». Эта концепция предполагает реализацию различных новых и существующих принципов измерений давлений, в том числе абсолютных принципов, в компактном и удобном для

использования исполнении. Причем ставится задача не только уменьшения габаритов средств измерений абсолютных давлений, но и задача комплексирования и оптимизации различных принципов измерения абсолютных давлений в едином компактном высокоточном приборе.

Таким образом, к разрабатываемым отечественным вакуумметрам были предъявлены следующие требования:

- компактные размеры чувствительных элементов;
- слабая зависимость от рода газа;
- комплектующие отечественного производства;
- низкая стоимость.

Анализ показал, что этим требованиям более всего удовлетворяют технологии микроэлектромеханических систем (МЭМС). Результаты исследовательских работ, которые велись в инициативном порядке в отделе государственных эталонов в области измерений давления [3, 4], инициировали в 2017 году во ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» ОКР «Разработка и исследование высокоточных деформационных средств измерений низких абсолютных давлений в диапазоне $1 \cdot 10^{-3}$ - $1 \cdot 10^4$ Па, создаваемых по технологии микроэлектромеханических систем», шифр «Элемент».

В ходе ОКР было решено реализовать следующие принципы измерений давления:

– так называемый метод измерения «жесткости газовых пружин», основанный на измерении резонансной частоты колебаний пластины на подвесах, расположенной между стационарными плоскостями;

– метод, основанный на измерении коэффициента затухания колебаний инерционной массы на подвесах;

– метод, основанный на компенсации давления газа электростатическим давлением, аналогичный метод реализован в государственном первичном специальном эталоне ГЭТ 49-2016;

– компрессионный метод измерений, основанный на сжатии газа, имеющего низкое абсолютное давления из большого объема в малый, и последующем измерении уже измеримого высокого давления, аналогичный метод реализован в государственном первичном специальном эталоне ГЭТ 49-2016.

Было принято решение разработать два типа опытных образцов: вакуумметр, основанный на одном из резонансных методов измерений давления, и комплексный вакуумметр, реализующий такие абсолютные методы измерений давления, как мембранно-емкостный метод с применением компенсации, и компрессионного метода.

На этапе написания технического задания были сформулированы требования к метрологическим характеристикам разрабатываемых опытных образцов, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1. Метрологические характеристики опытных образцов вакуумметров

Наименование метрологических характеристик	Значения метрологических характеристик
Опытный образец 1 типа	
Диапазон измерений	от 10 Па до 10^4 Па
Относительная погрешность измерений	не более $\pm(2 \dots 1) \%$
Опытный образец 2 типа	
Диапазон измерений	от 10^{-3} Па до 10 Па
Относительная погрешность измерений	не более $\pm(10 - 2) \%$

На сегодняшний день получены следующие результаты. Изготовлен опытный образец вакуумметра резонансного типа. Общий вакуумметра и его составных частей приведен на рис.1.



Рис. 1. Вакуумметр резонансного типа.

В широком диапазоне давлений выполнена индивидуальная градуировка изготовленного вакуумметра на государственном рабочем эталоне 2 разряда единицы давления для области низких абсолютных давлений в диапазоне $1,3 \cdot 10^{-3}$ - $1,06 \cdot 10^5$ Па регистрационный номер эталона 3.1.ZZB.0056.2014.

Полученная градуировочная кривая вакуумметра представлена на рис. 2.

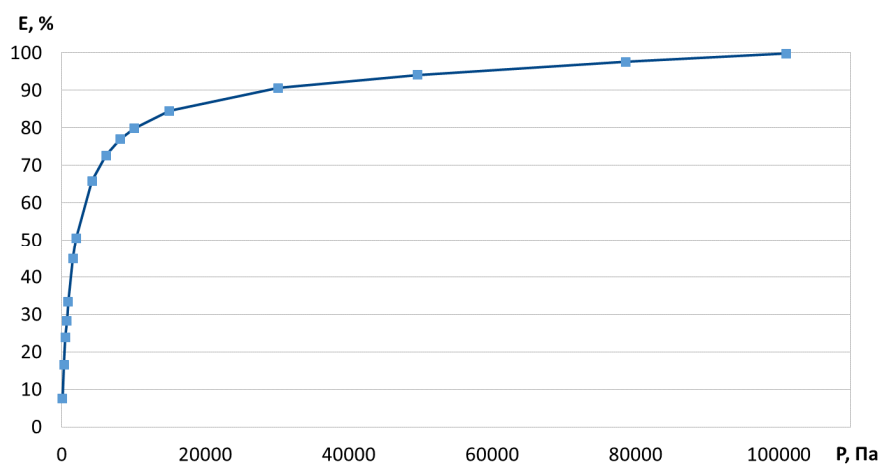


Рис.2. Зависимость энергопотерь от давления.

В ходе дальнейших исследований изготовленного опытного образца была проведена калибровка изготовленного вакуумметра на том же самом эталоне в диапазоне от 30 до 5000 Па.

Результаты калибровки представлены на рис. 3.

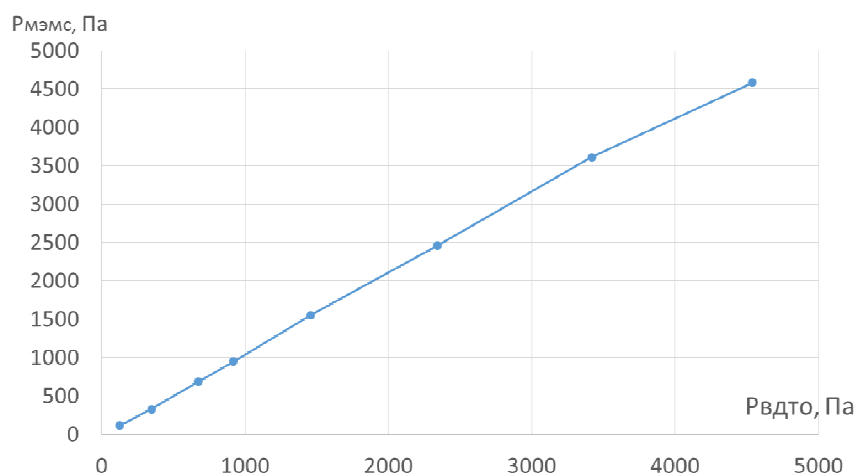


Рис.3. Результаты калибровки

Относительная погрешность измерений давления при помощи изготовленного вакуумметра не превысила 7,5 %. На данном этапе работ полученные результаты уже сейчас позволяют говорить о достаточно широком практическом применении разрабатываемых вакуумметров для измерений абсолютных давлений в диапазоне от 10 до $1,0 \cdot 10^5$ Па в различных отраслях науки и промышленности.

Отметим, что здесь представлены промежуточные и неполные результаты, поскольку работа еще не завершена. До окончания ОКР предполагается выполнить следующие задачи:

- провести предварительные испытания;
- доработать рабочую конструкторскую документацию и опытные образцы;
- провести приемочные испытания.

Литература

1. ГОСТ 8.107-81 Государственный специальный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений абсолютного давления в диапазоне $1 \cdot 10^{-8}$ - $1 \cdot 10^{-3}$ Па.
2. ГОСТ Р 8.840-2013 Государственная поверочная схема для средств измерений абсолютного давления в диапазоне 1 - $1 \cdot 10^6$ Па.
3. А.Я. Гаршин, В.Н. Горобей, Р.Э. Кувандыков. «Резонансный вакуумметрический преобразователь, созданный по технологии МЭМС» Вакуумная техника и технологии -2017. Труды 24-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием 06.06.2017 г.
4. А.Я. Гаршин, В.Н. Горобей, Р.Э. Кувандыков. «К расчету уравнения измерений МЭМС вакуумметрического преобразователя» Вакуумная техника и технологии -2018. Труды 25-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. 5-7 июня 2018 г.

Геттерный модуль для понижения стартового вакуума запуска магниторазрядного насоса

*А.С. Кривенко, *И.А. Азаров
ООО "ЭПОС-Инжиниринг", *ООО «ИВР»*

Научно-техническая задача, на решение которой направлен проект - создание компактного высоковакуумного поста, обеспечивающего эффективное откачивание газов от атмосферного давления до высокого вакуума.

Getter module to lower the starting pressure of magnetic discharge pump. A.A.Krivenko, I.A.Azarov. Scientific and technical task is the creation of a compact high-vacuum post providing effective pumping of gases from atmospheric pressure to high vacuum.

Процесс откачивания реализуется за счет форвакуумного и разрабатываемого комбинированного ионно-геттерного насоса. При этом после предварительной откачки объема мембранным насосом пост должен работать без использования движущихся частей.

Преимуществом данной системы перед существующими является стойкость к вибрациям и прорыву атмосферы во время работы средств откачки.

Изготовленный экспериментальный модуль содержит управляемый поджиг вакуумной дуги, систему питания с регулируемой длительностью импульса тока дуги и принудительное перемещение дуги поперечным к току магнитным полем.

Для испытаний работы геттерного модуля, как вакуумного насоса, он был подключен к вакуумной системе, содержащей форвакуумный насос AnestIwata ISP-250с, откачиваемый объем, систему для напуска газов, вакуумметр Pfeiffer PKR251, магниторазрядный насос НМД-016.