

## Развитие эталонной базы единицы потока газа в вакууме в РФ

Д.М. Фомин, В.Н. Горобей, А.А. Чернышенко  
Санкт-Петербург, ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», пр. Московский, 19  
e-mail: vacuum@vniim.ru

*В статье рассматривается состояние эталонной базы единицы потока газа в вакууме, а также приведены результаты разработки и исследований установки вакуумной потокометрической эталонной для поверки и калибровки мер потока.*

*The development of standard base units of gas flow in vacuum in the Russian Federation. D.M. Fomin, V.N. Gorobey, A.A. Chernyshenko. The article discusses the state of the standard base unit of the gas flow in vacuum. The results of works on creation and investigations of standard vacuum flowmeter installation are viewed. The installation is designed for calibration of leak rates.*

На фоне активного роста промышленности в РФ, в последние годы наблюдается повышенный интерес промышленных предприятий и научных организаций к средствам неразрушающего контроля и в частности к средствам измерений молекулярных потоков газа в вакууме. Данный вид средств измерений позволяет существенно повысить качество производимой продукции за счет контроля на герметичность выпускаемой продукции.

Основными средствами измерений молекулярных потоков газа в вакууме являются течеискатели масс-спектрометрические гелиевые (далее по тексту – течеискатели) и меры потока. Течеискатель является высокочувствительным компаратором, предназначенным для сравнения величины неизвестного потока (например, от испытываемого объекта) с известным потоком (в частности от меры потока газа). [1] На данный момент в РФ в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений Росстандарта РФ в качестве средств измерений утверждено 7 типов серийно-производимых течеискателей (из них 2 типа отечественного производства) и 2 типа мер потока (из них 1 тип отечественного производства). [2] Одним из главных вопросов при эксплуатации этих средств измерений является метрологическое обеспечение.

На данный момент в РФ не существует первичного государственного эталона единицы потока газа в вакууме. Однако существует государственный вторичный (рабочий) эталон единицы потока газа в вакууме ГВЭТ 49-2-2006, который получает размер единицы низкого абсолютного давления от ГЭТ 49-80. Проведены международные сличения эталонов единицы потока газа в вакууме с участием ГВЭТ 49-2-2006 в рамках проекта КОOMET 295/RU/2002 и ключевые международные сличения ССМ.Р-К12, результаты которых подтвердили соответствие метрологических характеристик эталона международному уровню.

Рабочий эталон реализует несколько методов измерений потока газа в вакууме, также для него разработана локальная поверочная схема для передачи размера единицы нижестоящим средствам измерений, в том числе течеискателям и мерам потока. Согласно данной поверочной схеме должны существовать эталонные установки для передачи размера единицы рабочим средствам измерений.

На предприятиях РФ, на данный момент по нашим данным, существуют четыре эталонные установки для поверки и калибровки мер потока. Две из них разработаны и созданы еще в СССР и технически и морально устарели. В Таблице 1 приведены название, диапазон измерений и методы измерений установок. Установки основаны на методе сравнения поверяемой (калибруемой) меры потока с известной эталонной мерой потока при помощи масс-спектрометра. Данный метод имеет ряд существенных недостатков, основными из них являются: неабсолютность метода, т.е. нет возможности калибровать эталонную меру потока непосредственно на установке и эталонным мерам потока необходимо получать единицу от вышестоящих эталонов; зависимость от рода газа, данным методом на текущий момент можно измерить лишь меры потока, наполненные гелием (He4). К преимуществам метода можно отнести достаточно высокую точность и возможность измерять с достаточно высокой точностью очень маленькие меры потока до  $1 \cdot 10^{-11}$  Па·м<sup>3</sup>/с.

Таблица 1. Эталонные установки для поверки и калибровки мер потока.

№	Название установки	Диапазон измеряемых потоков, Па·м <sup>3</sup> /с	Метод измерения
1	ИГТК Измеритель гелиевых течей контрольных	$1 \cdot 10^{-11} - 1 \cdot 10^{-8}$	Сравнение с известным потоком при помощи масс-спектрометра.
2	УПВ1-И Установка потокометрическая вакуумная	$3 \cdot 10^{-11} - 2 \cdot 10^{-8}$	
3	УПВ Установка потокометрическая вакуумная	$1 \cdot 10^{-10} - 1 \cdot 10^{-8}$	
4	Установка воспроизведения микропотоков газов в вакууме	$9 \cdot 10^{-11} - 9 \cdot 10^{-5}$	

В 2017 году в ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» была разработана и изготовлена Установка вакуумная потокометрическая эталонная УВПЭ (далее по тексту установка), предназначенная для воспроизведения и точных измерений единицы потока газа в вакууме в диапазоне от  $1 \cdot 10^{-11}$  до  $1 \cdot 10^{-5}$  Па·м<sup>3</sup>/с.

Установка реализует два принципа измерений:

- принцип накопления, основанный на измерении эталонными вакуумметрами изменений абсолютного давления во времени в измерительном объеме установки;
- принцип компарирования, основанный на сравнении при помощи масс-спектрометрического компаратора измеряемого потока газа (гелия) от поверяемой (калибруемой) течи с известным потоком газа (гелия) от эталонной меры потока.

На рис. 1 представлена схема установки.

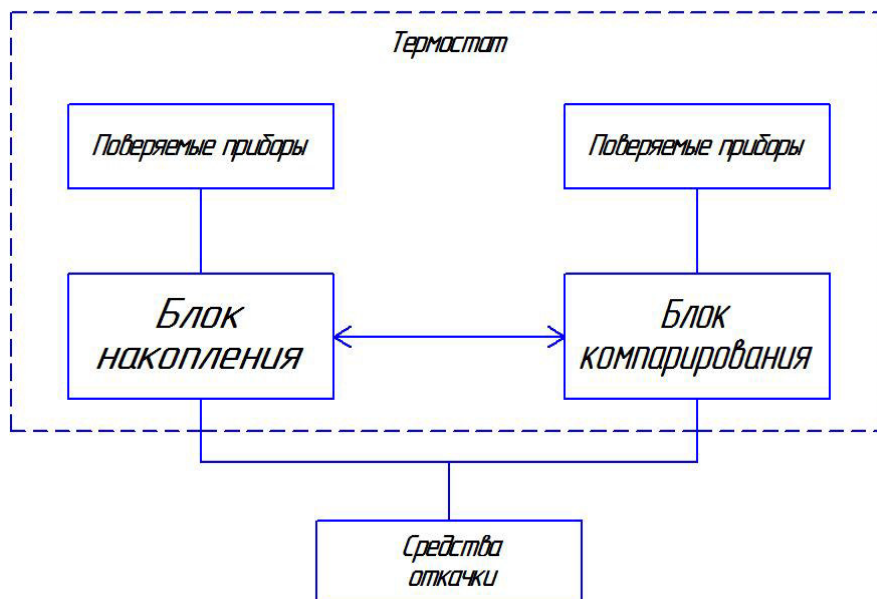


Рис. 1. Схема установки.

Принцип накопления, реализованный в установке, имеет ряд существенных преимуществ: простота реализации, независимость от рода газа, независимость от режима течения. На рис. 2 представлена принципиальная вакуумная схема измерения методом накопления.

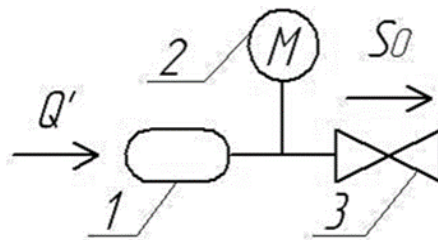


Рис. 2. Принципиальная вакуумная схема измерения методом накопления.

При измерении потока методом накопления часть вакуумной системы с источником газовыделения 1, вакуумметром 2 отсоединяется от насоса клапаном 3 на фиксированное время. В отсоединенной части вакуумной системы с известным объемом вследствие газовыделения увеличивается давление. [3] Поток определяется на основании уравнения

$$Q' = \frac{\Delta p V}{\Delta \tau}, \quad (1)$$

где  $\Delta p = p_1 - p_0$  – изменение давления за время измерения в отсоединенной части вакуумной системы;

$V$  – объем отсоединенной части вакуумной системы;

$\Delta \tau = \tau_1 - \tau_0$  – интервал времени измерения.

Установка представляет собой вакуумную систему с измерительным и сравнительным объемом, к которым присоединены два эталонных вакуумметра, масс-спектрометрический компаратор (далее по тексту компаратор), эталонные меры потока, являющиеся основными метрологическими узлами установки и обеспечивающие диапазон ее измерений. Конструктивно установка выполнена в общем металлическом передвижном корпусе. Управление установкой осуществляется с помощью органов управления, расположенных на панели ее корпуса. Эталонные и поверяемые (калибруемые) приборы помещены в термостат. На рис. 3 представлен внешний вид установки.



Рис. 3. Внешний вид установки.

Установка прошла процедуру испытаний с целью утверждения типа в качестве эталона (средства измерений). В процессе испытаний заявленные метрологические характеристики были подтверждены.

По итогам испытаний установка имеет следующие метрологические характеристики:

- диапазон измерений потока газа в вакууме от  $1 \cdot 10^{-11}$  до  $1 \cdot 10^{-5}$  Па·м<sup>3</sup>/с;
- пределы допускаемой относительной погрешности измерений в диапазоне от  $1 \cdot 10^{-11}$  до  $1 \cdot 10^{-9}$  Па·м<sup>3</sup>/с включительно  $\pm(15 \cdot 5 \cdot 10^9 \cdot Q_{изм}) \%$ , в диапазоне свыше  $1 \cdot 10^{-9}$  до  $1 \cdot 10^{-5}$  Па·м<sup>3</sup>/с  $\pm(10 \cdot 5 \cdot 10^5 \cdot Q_{изм}) \%$ .

Созданная современная установка позволит метрологических службам промышленных и научных предприятий проводить самостоятельно поверку (калибровку) мер потока. В заключении, стоит отметить, что несмотря на создание и внедрение эталонных установок в области измерений потока газа в вакууме для полноценного развития эталонной базы единицы потока газа в вакууме необходимо в ближайшие годы создать национальный первичный эталон, а также государственную поверочную схему.

### Литература

1. Фомин Д.М. Метрологическое обеспечение течеискателей масс-спектрометрических гелиевых // «Вакуумная техника, материалы и технология». Материалы X Международной научно-технической конференции. Под редакцией доктора технических наук, профессора С.Б. Нестерова. М. 2015. pp. 66-69.
2. // РОССТАНДАРТ федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений: [сайт]. URL: <http://www.fundmetrology.ru/> (дата обращения: 12.май.2017).
3. Чернышенко А.А. Теоретико-прикладные положения поверки средств измерений потока газа в вакууме. СПб: «Студия «НП-Принт», 2014. 136 с.

## Результаты сличений мембранно-ёмкостного преобразователя с электростатической автокомпенсацией

*Е.К. Израилов*  
*ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»,*  
*190005, Санкт-Петербург, Московский пр.,19.,*  
*e-mail: E.K.Izrailov@mail.ru*

*В работе приведены результаты сличений мембранно-ёмкостного преобразователя с электростатической автокомпенсацией (МЕПК), входящего в состав первичного эталона единицы низкого абсолютного давления. Сличения МЕПК (без активной термостабилизации и динамического режима напуска газа в его измерительную камеру) были проведены с высокоточными вакуумметрами Baratron 698 и Baratron 690 в диапазоне давлений ~ 0,1 – 13 Па. Погрешность сличений МЕПК с перечисленными средствами измерений давления в указанном диапазоне не превысила 4%.*

*The results of comparisons of membrane capacitive transducer with electrostatic compensation. E.K. Izrailov. The paper presents the results of comparisons membrane capacitive transducer with electrostatic compensation (MCTC) that is a part of primary standard unit of low absolute pressure. Comparisons of MCTC (without active thermal stabilization and dynamic mode of gas inlet into measuring chamber) were conducted with high precision vacuum gauges (Baratron 698 and Baratron 690) in the pressure range of 0,1 – 13 Pa. The accuracy of comparisons of MCTC with the aforementioned means of pressure measurement in the specified range did not exceed 4 %.*

Воспроизведение единицы давления и передача ее с необходимой точностью эталонным и высокоточным рабочим приборам представляет основную проблему метрологии в области измерений вакуума.

Требования к средствам вакуумных измерений в последнее время непрерывно возрастают в связи с автоматизацией технологических процессов в электронной промышленности, повышением требований к качеству электронных приборов и развитием целого ряда новых исследований, что приводит к необходимости совершенствования.