

**Аппаратура для калибровочных и поверочных работ**

УДК 541.132/.132.4

**ПОВЕРОЧНЫЕ УСТАНОВКИ – РАБОЧИЕ ЭТАЛОНЫ  
СЧЕТНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЛЕГКИХ АЭРОИОНОВ****П.Н. Зубков, В.И. Добровольский, С.В. Колерский, С.С. Колерская**

ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл.

aeroions@vniiftri.ru

*Описаны средства передачи размера единицы счетной концентрации легких аэроионов – поверочные установки. Приведены результаты их испытаний в целях утверждения типа.**Instruments for transferring the units of the number density of light air ions - verification facilities - are described. Results of their tests for the purpose of type approval are presented.**Ключевые слова: лёгкие аэроионы, поверочные установки.*

Аэроионный состав является одним из показателей качества воздуха ввиду его воздействия на физико-химические и электрические свойства организма человека. Аэроионы оказывают значительное влияние на жизнедеятельность биообъектов. Для обеспечения единства измерений в этой области в России в соответствии с поверочной схемой ГОСТ Р 8.646-2008 [1] служит Государственный первичный эталон ГЭТ 177-2010, созданный и функционирующий во ВНИИФТРИ.

Измерения счетной концентрации легких аэроионов (СКЛА) широко применяются в технологиях жизнеобеспечения и защиты человека и животных, в электрон-ионных и нанотехнологиях, при контроле аэроионного состава воздуха на рабочих местах на соответствие санитарно-гигиеническим нормативам, в том числе при использовании аэроионизирующего оборудования (аэроионизаторы медицинские, технологические, бытовые, аналитического приборостроения, системы автоматического регулирования аэроионного состава воздуха и др.) и систем аэроионизации воздуха. Аппаратура для ионизации воздуха и измерений СКЛА выпускается и используется как в РФ, так и за рубежом (в частности, в США, странах Евросоюза, Японии и Китае).

Счетная концентрация аэроионов является одним из нормируемых параметров качества воздуха. Так, в РФ обязателен контроль аэроионного состава воздуха на соответствие эргономическим требованиям к обитаемым помещениям и санитарно-гигиеническим требованиям к производственным и общественным помещениям. В Японии действует промышленный стандарт, определяющий нормативы содержания ионов в воздухе и метод измерения счетной концентрации ионов.

Для обеспечения единства измерений СКЛА в РФ действует Государственный первичный эталон объемной плотности электрического заряда ионизированного воздуха и счетной концентрации аэроионов ГЭТ 177-2010, разработанный и хранящийся в ФГУП «ВНИИФТРИ». Для

передачи единицы от эталона рабочим средствам измерений в ФГУП «ВНИИФТРИ» разработаны для региональных ЦСМ поверочные установки – рабочие эталоны единицы счетной концентрации легких аэроионов (СКЛА) «РЭКЛА-1» и «РЭКЛА-1М».

Поверочные установки состоят из следующих составных частей:

- системы подачи, очистки, деионизации и измерения расхода воздуха (СПОД);
- двух эталонных счётчиков лёгких аэроионов «Сапфир-3М» и «МАС-01»;
- биполярного генератора лёгких аэроионов (ГЛИ);
- переходника от ГЛИ к счетчикам аэроионов;
- вспомогательных устройств.

Структурная схема рабочих эталонов счетной концентрации легких ионов приведена на рис. 1.

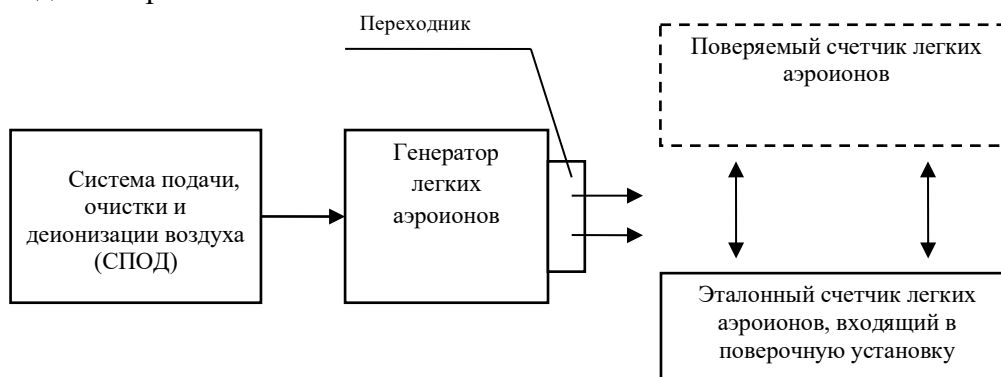


Рис. 1. Структурная схема поверочных установок «РЭКЛА-1» и «РЭКЛА-1М»

Система подачи, очистки и деионизации (СПОД) служит для подачи на вход генератора легких ионов очищенного (от аэрозолей, паров масел и летучих веществ, способных создавать средние и тяжелые ионы) и деионизированного воздуха и стабилизации, измерений и регулирования его объемного расхода в диапазоне 120 – 300 л/мин. Эта система состоит из воздуходувки, фильтров очистки воздуха, устройств регулирования, стабилизации и измерений расхода воздуха и деионизатора. Фильтры предварительной и сорбционной очистки (угольный фильтр) установлены на входе воздуходувки, а фильтры грубой и тонкой очистки – на выходе воздуходувки перед деионизатором. В деионизаторе осаждаются все ионы с подвижностью более  $0,05 \text{ см}^{-3}$ .

Обеспыленный и деионизированный воздух пропускается через ГЛИ, где ионизируется от источников ионизирующего излучения (ИИИ). Конструкция ГЛИ допускает применение одновременно одного или двух

ИИИ. Концентрация ионов на выходе ГЛИ воспроизводится путем применения ИИИ определенной активности и заслонок с отверстиями определенного размера, контролируется эталонным счетчиком поверочной установки и измеряется поверяемым счетчиком, на основании чего делается вывод об основной относительной погрешности поверяемого счетчика.

Структурная схема СПОД приведена на рис. 2.



Рис. 2. Структурная схема СПОД

Генератор легких ионов состоит из радионуклидного аэроионизатора, камеры выдержки и электростатического осадителя и должен обеспечивать на выходе счетную концентрацию в соответствии с ГОСТ Р 8.844-2013 [2]. Дискретное регулирование счетной концентрации ионов осуществляется с применением радионуклидных источников различной активности и заслонок с отверстиями разного диаметра, плавное регулирование – изменением напряжения на электроде электростатического осадителя.

При передаче единицы счетной концентрации легких аэроионов следует учитывать, что точность измерений может быть гарантирована только в определенном диапазоне коэффициента униполярности. При сильном преобладании ионов одного знака над другим в измерительной камере возникает дополнительное электростатическое поле, которое искажает результаты измерений. Влияние этого поля может быть оценено и учтено, но конструкция рабочих средств измерений не предполагает внесения такой поправки в результаты измерений. Поэтому необходимо учитывать эту погрешность в качестве составляющей НСП, причем ее можно ограничить, задав границы коэффициента униполярности измеряемых аэроионов, в которых гарантируется указываемая погрешность.

Методика оценки объемного заряда на результаты измерений состоит в следующем. Если конструкция измерителя позволяет снимать показания при нулевом напряжении на высоковольтной обкладке измерительного аспирационного конденсатора (АК), то можно экспериментально определить коэффициент, зависящий от параметров АК и величины объемного заряда

$$K_0 = \frac{n'_0}{n'} \tag{1}$$

где  $n'_0$  – показания измерителя при нулевом напряжении на высоковольтной обкладке АК,  $n'$  – показания измерителя при измерении преобладающих аэроионов. При заданных параметрах АК имеется взаимно однозначное

соответствие коэффициента  $K_0$  и величины объемного заряда  $\Delta\rho$ . Установив это соответствие, можно в дальнейшем определять счетную концентрацию  $\rho$  аэроионов, присутствующих в малом количестве по сравнению с аэроионами противоположной полярности, по результатам измерений  $n'_0$  и  $n'$ :

$$\rho = \rho' - \Delta\rho (K_0), \quad (2)$$

где  $\rho'$  – счетная концентрация преобладающих аэроионов,  $\Delta\rho (K_0)$  – величина объемного заряда, определенная по значению коэффициента  $K_0$ . Поскольку при измерении преобладающих аэроионов искажения, вносимые объемным зарядом, невелики, можно считать, что  $\rho' \approx n'$ .

Для измерителей, не предусматривающих возможность измерений при заземленной высоковольтной обкладке АК, метод оценки влияния объемного заряда на результаты измерений счетной концентрации легких аэроионов основан на измерении вольт-амперной характеристики от униполярных ионов и определении коэффициента

$$K'_y = \frac{n_y}{n'_y}, \quad (3)$$

где  $n_y$  – показания измерителя при напряжении  $U = -U_p$ ,  $n'_y$  – показания СЛА при напряжении  $U = U_p$ ,  $U_p$  – рабочее напряжение измерителя. Коэффициент  $K'_y$  определяется отдельно для положительных и отрицательных ионов и постоянен для каждого конкретного типа измерителя.

Счетная концентрация легких аэроионов полярности, противоположной полярности преобладающих ионов, равна

$$\rho = n + K'_y \cdot n'. \quad (4)$$

Абсолютное отклонение показаний измерителя от истинного значения  $\rho$  равно  $K'_y \cdot n'$ , а относительное отклонение

$$\delta_\rho = \frac{n - \rho}{\rho} = -\frac{K'_y \rho'}{\rho} = K'_y K_{\Pi}, \quad (5)$$

где  $K_{\Pi}$  – коэффициент униполярности легких аэроионов,  $K_{\Pi} = \frac{\rho'}{|\rho|}$ .

Таким образом, составляющую НСП, связанную с объемным зарядом, можно ограничить некоторой величиной  $\theta_{\max}$ , установив границы

коэффициента униполярности измеряемых аэроионов  $|K_{\Pi}| \leq \frac{\theta_{\max}}{K'_y}$ .

В ходе испытаний установки проверялись на соответствие требованиям, установленным ГОСТ Р 8.646-2008 [1]. Также установки должны были позволять проводить поверку средств измерений в соответствии с ГОСТ Р 8.844-2013 [2]. Требуемые метрологические характеристики для установок следующие:

- диапазон воспроизведения счетной концентрации аэроионов с подвижностью от  $5 \cdot 10^{-5}$  до  $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$  от  $1 \cdot 10^2$  до  $1 \cdot 10^6 \text{ см}^3$ ;
- пределы допустимой основной относительной погрешности измерения концентрации ионов  $\pm 20 \%$ ;
- собственный фон аэроионов не более  $50 \text{ см}^3$ ;
- погрешность установки объемного расхода от 100 до 300 л/мин  $\pm 4 \%$ .

Были проверены следующие метрологические характеристики поверочной установки: собственный фон аэроионов; диапазон подвижностей генерируемых ионов; объемный расход воздуха СПОД; значения концентрации ионов, воспроизводимые установкой; основная относительная погрешность установки. Результаты исследований приведены в таблице.

Таблица

Результаты исследования поверочных установок «РЭКЛА-1»  
и «РЭКЛА-1М».

Исследуемая характеристика	Значение характеристики «РЭКЛА-1»	Значение характеристики «РЭКЛА-1М»	Требование
Собственный фон аэроионов	+ 30 см <sup>3</sup> – 16 см <sup>3</sup>	+27 см <sup>3</sup> – 22 см <sup>3</sup>	Не более $\pm 50 \text{ см}^3$
Подвижность воспроизводимых ионов	Положительные – от $5,7 \cdot 10^{-5}$ до $1,4 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ Отрицательные – от $9,5 \cdot 10^{-5}$ до $1,9 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$	Положительные – от $5,9 \cdot 10^{-5}$ до $1,3 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ Отрицательные – от $9,0 \cdot 10^{-5}$ до $1,7 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$	Положительные и отрицательные – от $5 \cdot 10^{-5}$ до $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$
Объемный расход воздуха СПОД	От 100 до 300 л/мин Погрешность не более 2,7 %	От 100 до 300 л/мин Погрешность не более 3,2 %	От 100 до 300 л/мин Погрешность не более 4,0 %
Основная относительная погрешность установки	Не более 20 %	Не более 20 %	Не более 20 %

Для проверки собственного фона аэроионов воздух принудительно ионизировался непосредственно перед деионизатором и измерялась концентрация ионов на выходе ГЛИ при отсутствии ионизации проходящего воздуха радионуклидными источниками. При выключенном деионизаторе концентрация аэроионов составляла порядка  $10^4 \text{ см}^{-3}$  (в то время как концентрация аэроионов в помещениях в отсутствие источников искусственной аэроионизации обычно не превосходит  $10^3 \text{ см}^{-3}$ ). Результаты измерений при включенном деионизаторе представлены в таблице. Таким образом, получено, что деионизатор обеспечивает эффективное осаждение заряженных частиц при концентрации аэроионов на входе, значительно превосходящей ожидаемую концентрацию в помещении.

Для определения диапазона подвижностей воспроизводимых ионов были измерены вольт-амперные характеристики средства измерений на основе аспирационного конденсатора АК-2 при отборе им воздуха, поступавшего с выхода ГЛИ, и определены по ним границы спектра подвижностей аэроионов. Весь диапазон подвижностей аэроионов лежит в границах интервала, установленного в ГОСТ Р 8.646-2008 [1] для рабочих эталонов. При предельных подвижностях, меньших  $9,5 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$  для отрицательных ионов и  $5,7 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$  для положительных ионов, рост ионного тока с увеличением напряжения прекращается, что свидетельствует об отсутствии средних и тяжелых ионов.

Объемный расход воздуха СПОД проверялся с помощью газового счетчика, пределы допускаемой погрешности измерений объемного расхода воздуха которого составляют  $\pm 1 \%$ . Установленные с помощью СПОД значения расхода воздуха сравнивались с показаниями газового счетчика. Получено, что СПОД позволяет регулировать значения расхода воздуха в диапазоне от 100 до 300 л/мин, а погрешность установки и измерений объемного расхода не превышает  $\pm 4 \%$ .

Измерения воспроизводимых значений концентрации ионов проводились с помощью средства измерений на основе АК-2. В соответствии с [2] для проведения поверки средств измерений установка должна обеспечивать воспроизведение концентрации ионов в диапазонах  $(2 \pm 1) \cdot 10^n$ ,  $(5 \pm 1) \cdot 10^n$  и  $(8,5 \pm 1,5) \cdot 10^n$ , где  $n = 2..5$ . Применением ИИИ с различными значениями активности и заслонок с отверстиями различной площади удалось добиться воспроизведения всех вышеуказанных значений при рабочем значении объемного расхода воздуха 250 – 300 л/мин.

Основная относительная погрешность эталонных счетчиков установки определялась путем сравнения результатов измерения концентрации ионов эталонными счетчиками поверочной установки и средства измерений на основе АК-2 с последующим расчетом и оценкой поправочного коэффициента для каждого из поддиапазонов измерения счетчиков. Расчеты пределов допускаемой относительной погрешности проводились согласно Альманаху современной метрологии, 2016, №6

ГОСТ 8.381–2009 [3]. Получено, что погрешность измерений не превышает 20 %, что соответствует поверочной схеме [1].

Поверочные установки удовлетворяют требованиям [1] для рабочих эталонов и позволяют проводить поверку средств измерений в соответствии с [2]. Поверочные установки прошли испытания в целях утверждения типа и занесены в Гостреестр утвержденных типов средств измерений. Поверочные установки внедрены в региональных ЦСМ.

### **Литература**

1. ГОСТ Р 8.646-2008 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений объемной плотности электрического заряда ионизированного воздуха и счетной концентрации аэроионов.
2. ГОСТ Р 8.844-2013 ГСИ. Счетчики легких ионов аспирационные. Методика поверки.
3. ГОСТ 8.381-2009 Эталоны. Способы выражения точности.