

УДК 541.132/132.4

РАЗРАБОТКА СТАБИЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ЛЁГКИХ ИОНОВ ДЛЯ РАБОЧИХ ЭТАЛОНОВ СЧЁТНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОИОНОВ

П.Н. Зубков, С.В. Колерский, Н.В. Нечаев

ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская область
aeroions@vniiftri.ru

Описываются разработанные и изготовленные ФГУП «ВНИИФТРИ» генераторы лёгких ионов, которые могут входить в состав рабочих эталонов единицы счётной концентрации лёгких аэроионов – поверочных установок для региональных целей.

Developed and produced in FGUP «VNIIFTRI» light ion generators which can be included into the working standards of light air ion number concentration unit – calibration setups for regional aims.

Ключевые слова: генераторы лёгких ионов, рабочие эталоны.

Key words: light ions generators, working standards.

В ФГУП «ВНИИФТРИ» разработаны для региональных ЦСМ поверочные установки – рабочие эталоны единицы счетной концентрации легких аэроионов (СКЛА) «РЭКЛА-1» и «РЭКЛА-1М» [1]. Принцип работы данных установок основан на создании среды сравнения (ионизированного воздуха) для проверки счетчиков аэроионов методом непосредственного сравнения показаний. Соответственно, неотъемлемой частью установок являются средства создания среды сравнения – стабильные генераторы легких аэроионов (ГЛИ).

Блок-схема ГЛИ приведена на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема ГЛИ

Для получения наилучшей стабильности выходной величины был выбран радионуклидный метод ионизации воздуха, т.е. с помощью облучения его источником α -частиц. Регулирование концентрации ионов происходит с помощью щелевых пластин с отверстиями различного размера, ограничивающих площадь облучения, а также электростатического осадителя, позволяющего осуществлять плавную регулировку с помощью изменения напряжения на осаждающем электроде.

Камера выдержки предназначена для стабилизации концентрации ионов на выходе за счет процессов нуклеации и частичной рекомбинации. На рис. 2 представлены значения относительного СКО результатов измерений СКЛА, полученные в ходе испытаний при наличии и в отсутствие камеры выдержки. Из рисунка видно, что применение камеры выдержки позволяет существенно снизить нестабильность концентрации ионов на выходе, в особенности в диапазонах, где применяются низкоактивные ИИИ.

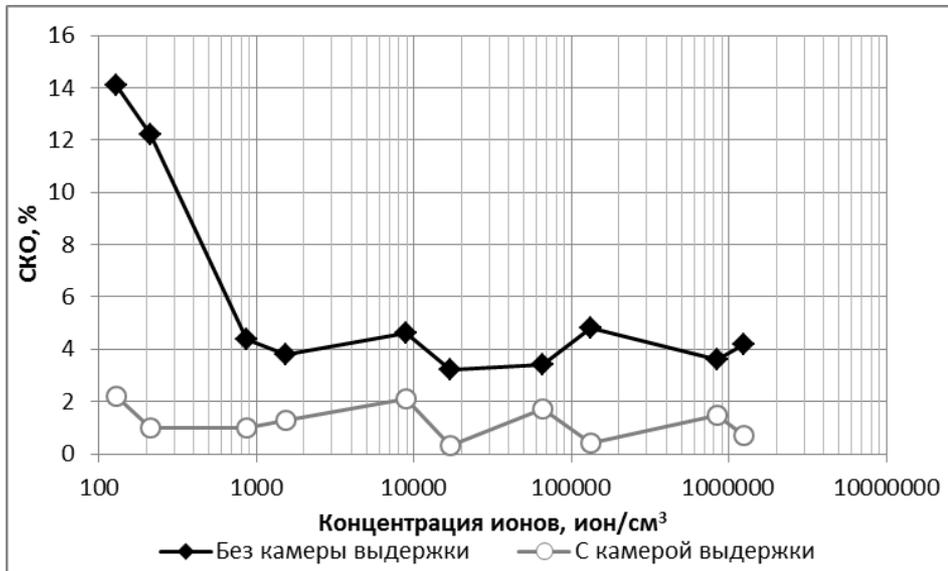


Рис. 2. Среднее квадратическое отклонение результатов измерений СКЛА с камерой выдержки и без неё

К ГЛИ предъявляются следующие требования:

- а) ГЛИ должны обеспечивать получение на выходе значения СКЛА в диапазонах, предусмотренных методикой поверки ГОСТ Р 8.844-2013 [2];
- б) значение СКЛА на выходе ГЛИ должно быть стабильным в течение времени, необходимого для проведения последовательных измерений эталонным и поверяемым счетчиками аэроионов;

в) ГЛИ должны обеспечивать генерацию биполярно ионизированного воздуха для сведения к минимуму дополнительной погрешности, связанной с объемным зарядом ионов в воздухе.

Для выполнения условия (а) необходимо получить выходные значения СКЛА в диапазонах, указанных в [2], а также убедиться в отсутствии дрейфа выходных значений в течение межповерочного интервала установки (1 год) и межсуточных флуктуаций, создающих опасность выхода получаемых значений СКЛА за пределы указанных диапазонов.

Диапазоны, указанные в методике поверки, следующие: $(1 - 3) \cdot 10^n \text{ см}^{-3}$, $(4 - 6) \cdot 10^n \text{ см}^{-3}$ и $(7 - 10) \cdot 10^n \text{ см}^{-3}$, где $n = 2, 3, 4, 5$.

Отсутствие долговременного дрейфа выходной величины устанавливалось по результатам ежемесячных измерений выходной величины в течение года. Коэффициент корреляции значений выходной величины по времени представлен на рис. 3.



Рис. 3. Коэффициент корреляции выходной величины по времени в зависимости от среднего значения выходной величины

В соответствии с ГОСТ 50779.10–2000 [3], для признания корреляции статистически значимой при уровне доверия 0,9 и количестве независимых измерений, равном 12, абсолютное значение коэффициента корреляции K должно быть не менее 0,497. Из рисунка 2 видно, что статистически значимого дрейфа выходной величины не наблюдается, при этом выходная величина нигде не выходит за границы диапазонов, установленных методикой поверки [2].

На рис. 4 представлены выходные значения СКЛА при ежемесячных измерениях в течение года в диапазоне, где наблюдался наибольший коэффициент корреляции. Из рисунка видно, что во всех случаях выходные значения находятся в пределах заданного методикой поверки [2] диапазона $(7-10) \cdot 10^2 \text{ см}^{-3}$, и опасность выхода выходной величины за пределы этого диапазона отсутствует.

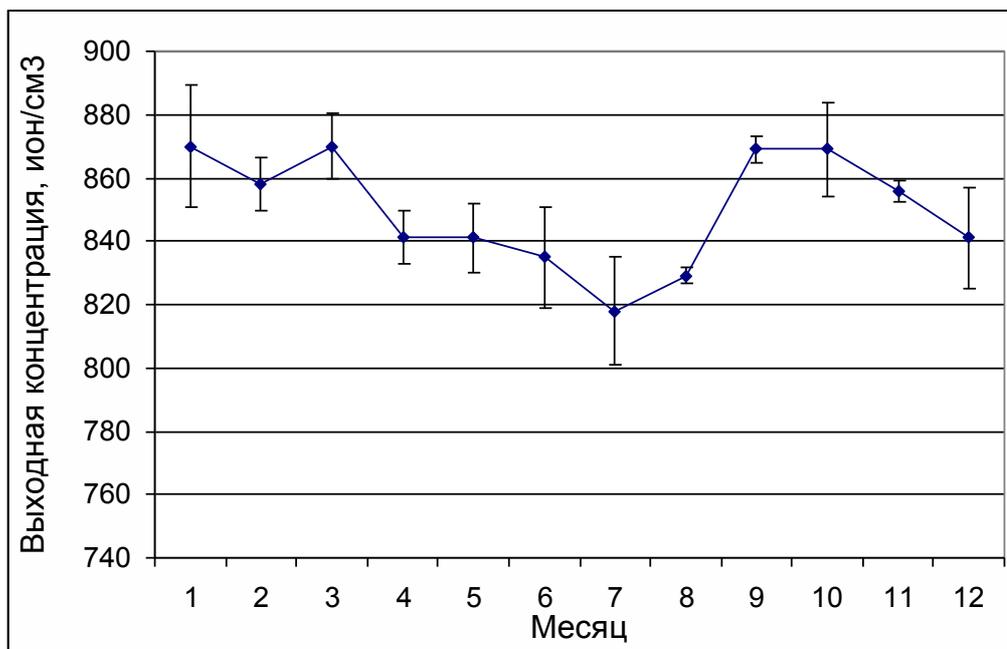


Рис. 4. Выходные значения СКЛА (в диапазоне с наибольшим коэффициентом корреляции)

Для выполнения условия (б) разумным представляется установить в соответствии с ГОСТ Р 8.736-2011 [4] следующее требование: СКО результатов измерений выходной величины не должны превышать $1/8$ от значения предела допускаемой погрешности. Согласно поверочной схеме ГОСТ Р 8.646-2008 [5], пределы допускаемой погрешности рабочих эталонов не превышают 20 %, т.е. $S \leq 2,5 \%$. Полученные СКО результатов измерений представлены на рис. 5. Из рисунка видно, что поставленное условие выполняется во всех случаях.

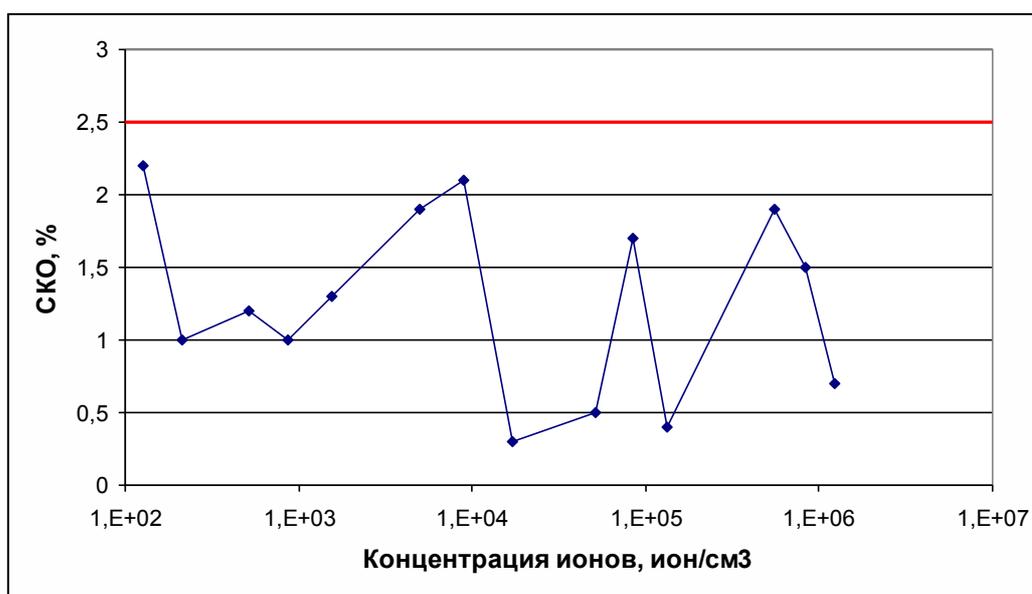


Рис. 5. СКО результатов измерений в зависимости от среднего выходного значения СКЛА

Аналогично условию (б), для выполнения условия (в) разумным представляется ограничить погрешность, связанную с объемным зарядом, значением 2,5 %. Метод оценки данной погрешности описан, например, в работе [6]. Суть метода заключается в проведении счетчиком аэроионов измерений в условиях униполярных ионов и определении коэффициента

$$K'_y = \frac{n_y}{n'_y}, \quad (1)$$

где n_y – показания счетчика аэроионов при напряжении $U = -U_p$, n'_y – показания счетчика аэроионов при напряжении $U = U_\delta$, U_δ – рабочее напряжение счетчика аэроионов. Данный коэффициент определяется отдельно для положительных и отрицательных ионов. Счетная концентрация легких аэроионов полярности, противоположной полярности преобладающих ионов, равна

$$\rho = n + K'_y \cdot n'. \quad (2)$$

В этом случае относительное отклонение δ_ρ показаний измерителя от истинного значения ρ равно

$$\delta_{\rho} = \frac{n - \rho}{\rho} = -\frac{K'_y \rho'}{\rho} = K'_y K_I, \quad (3)$$

где $K_{II} = \frac{\rho'}{|\rho|}$ – коэффициент униполярности.

По результатам исследований установлены следующие значения K'_y :

- для счетчиков типа МАС-01 $K'_y = 0,013 \pm 0,003$;
- для счетчиков типа Сапфир-3М $K'_y = 0,008 \pm 0,005$.

Таким образом, значение коэффициента K'_y не превышает 0,016. Ограничивая данную погрешность значением $\delta_{\rho} \leq 2,5\%$, имеем по формуле (3) $|K_{II}| \leq 1,5$.

На рис. 6 представлены полученные значения коэффициента униполярности в зависимости от выходного значения СКЛА. Из рисунка видно, что эти значения удовлетворяют поставленному условию во всех случаях.

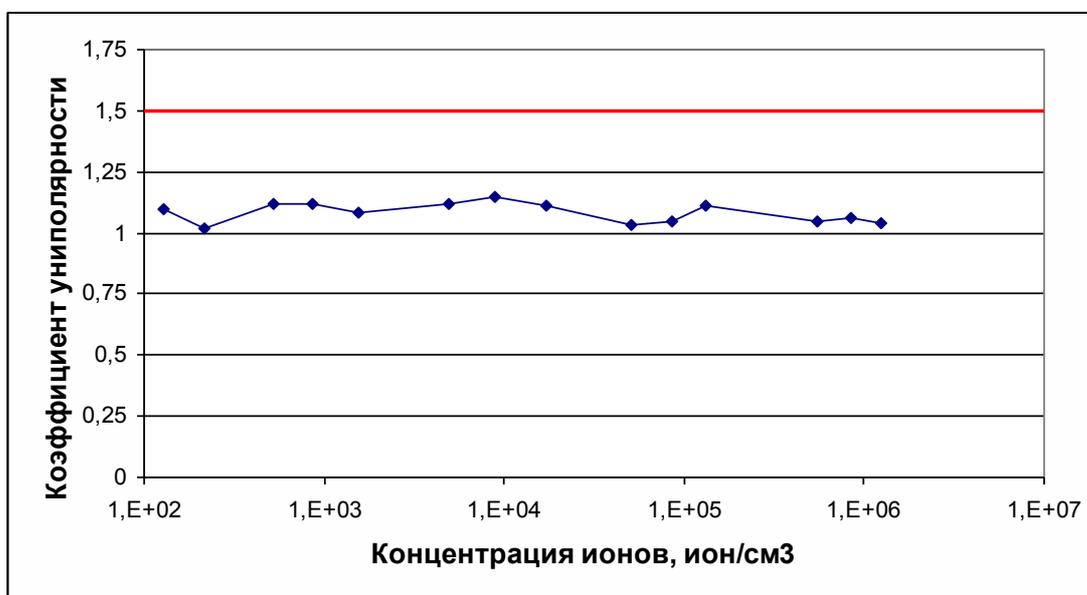


Рис. 6. Зависимость коэффициента униполярности от выходного значения СКЛА

Коэффициент униполярности не превышает 1,15, что удовлетворяет требованию к биполярности ионов на выходе, установленному выше. Из формулы (3) следует, что дополнительная погрешность, связанная с объемным зарядом, не превышает 1,9 %.

Таким образом, разработанные и изготовленные генераторы легких ионов могут входить в состав рабочих эталонов счетной концентрации легких аэроионов.

Литература

1. Колерский С.В., Журавлев А.В., Колерская С.С., Зубков П.Н. Передача единицы счетной концентрации легких аэроионов от эталона рабочим средствам измерений // Измерительная техника, 2013, № 5, с. 47–48; Kolarsky S.V., Zhuravlev A.V., Kolarskaya S.S., Zubkov P.N. Transfer of the unit of number density of light ions in air from standards to working means of measurement // Measurement Techniques. 2013. V. 56. № 5. P. 536-538.
2. ГОСТ Р 8.844-2013 ГСИ. Счетчики легких ионов аспирационные. Методика поверки.
3. ГОСТ 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
4. ГОСТ Р 8.736-2011 ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.
5. ГОСТ Р 8.646-2008 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений плотности электрического заряда ионизированного воздуха и счетной концентрации аэроионов.
6. Зубков П.Н., Колерский С.В., Колерская С.С. Оценка влияния объемного заряда ионизированного воздуха на результаты измерений счетной концентрации легких аэроионов // Материалы XXXVIII научно-технической конференции молодых ученых и специалистов военных метрологов «Актуальные задачи военной метрологии». Мытищи, 2014.