

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

---



НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
СТАНДАРТ  
РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р  
8.845—  
2013

---

Государственная система обеспечения единства измерений

**ИЗМЕРЕНИЯ АЭРОИОННОГО СОСТАВА ВОЗДУХА  
МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ ОБЪЕМНОЙ ПЛОТНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО  
ЗАРЯДА ВОЗДУХА И СЧЕТНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЛЕГКИХ  
АЭРОИОНОВ НА ОСНОВЕ АСПИРАЦИОННОГО КОНДЕНСАТОРА**

Издание официальное



Москва  
Стандартинформ  
2014

## Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом ТК 206 «Эталоны и поверочные схемы» подкомитетом ПК 206.16 «Эталоны и поверочные схемы в области измерения параметров аэрозолей, взвесей и порошкообразных материалов»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 ноября 2013г. № 1413-ст

## 4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет ([gost.ru](http://gost.ru))*

© Стандартинформ, 2014

В Российской Федерации настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

## Содержание

1 Область применения .....	1
2 Нормативные ссылки .....	1
3 Термины и определения .....	2
4 Условия измерений .....	3
5 Требования безопасности .....	3
6 Сущность метода измерений .....	3
7 Описание средства измерений .....	5
8 Порядок подготовки и проведения измерений .....	10
9 Правила оформления результатов измерений .....	11
10 Оценка неопределенности результатов измерений .....	11
Приложение А (справочное) Функции преобразования аспирационных конденсаторов .....	12
Библиография .....	18

---

Государственная система обеспечения единства измерений

**ИЗМЕРЕНИЯ АЭРОИОННОГО СОСТАВА ВОЗДУХА  
МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ ОБЪЕМНОЙ ПЛОТНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА ВОЗДУХА И  
СЧЕТНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЛЕГКИХ АЭРОИОНОВ  
НА ОСНОВЕ АСПИРАЦИОННОГО КОНДЕНСАТОРА**

State system for ensuring the uniformity of measurements. Air ion composition measurements.  
Method of measuring volume density of electric charge of air and air ion concentration using  
aspiration capacitor

---

Дата введения — 2015—02—01

## 1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает метод измерений объемной плотности электрического заряда воздуха (газовых сред) и счетной концентрации легких аэроионов на основе аспирационного конденсатора (далее — метод измерений).

Метод измерений рекомендуется применять в системах анализа аэроионного состава воздуха с цилиндрическим и/или плоскопараллельным аспирационным конденсатором с одной или несколькими измерительными и высоковольтными обкладками.

Метод измерений реализуют в системах анализа и контроля объемной плотности электрического заряда и аэроионного состава воздуха, в производственных и общественных помещениях, при проведении мониторинга воздушной среды и при измерении электрических и физико-химических свойств воздушных (газовых) сред.

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 52002—2003 Электротехника. Термины и определения основных понятий

ГОСТ Р 54500.3—2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения

ГОСТ Р ИСО 5725-2—2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений

ГОСТ ИСО 14644-1—2002 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха

ГОСТ 19471—74 Газы ионизированные и аэрозоли электрически заряженные. Термины и определения

**П р и м е ч а н и е** — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стан-

дарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

### 3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

**3.1 ионизированный воздух:** Воздух, содержащий электрически заряженные частицы, образующиеся в результате ионизации.

**3.2 аэроионы:** Электрически заряженные частицы (атомы, молекулы, комплексы молекул и высокодисперсные аэрозольные частицы (наночастицы) размером менее 20 нм) в воздухе (газе).

**3.3 легкие аэроионы:** Аэроионы размером от 0,2 до 1 нм.

3.4

**объемная плотность электрического заряда (ОПЭЗ):** Скалярная величина, характеризующая распределение электрического заряда в пространстве, равная пределу отношения электрического заряда, содержащегося в элементе объема вещества, к объему этого элемента, когда объем и все размеры этого элемента объема стремятся к нулю.

[ГОСТ Р 52002—2003, статья 2.17]

**3.5 полярная объемная плотность электрического заряда:** Объемная плотность электрического заряда частиц определенной полярности.

**3.6 униполярный ионизированный воздух:** Ионизированный воздух, содержащий электрически заряженные частицы одной полярности.

**3.7 биполярный ионизированный воздух:** Ионизированный воздух, в котором есть электрически заряженные частицы с положительными и отрицательными зарядами.

**3.8 коэффициент униполярности ионизированного воздуха по количеству (заряду) электрически заряженных частиц:** Отношение количества (суммарного заряда) положительно заряженных частиц к количеству (суммарному заряду) отрицательно заряженных частиц в единице объема.

**3.9 электрическая подвижность:** Скорость установившегося движения электрически заряженной частицы под действием электрического поля напряженностью, равной единице.

**3.10 аэроионизатор:** Устройство (аппарат) для ионизации воздуха (газа).

3.11

**аспирационный спектрометр ионов:** Прибор (средство измерений) для раздельного измерения положительной и отрицательной объемной плотности электрического заряда аэроионов в объеме проходящего газа и ее распределения по диапазонам подвижности.

[ГОСТ 19471—74, статья 2]

3.12

**аспирационный счетчик ионов:** Прибор (средство измерений) для раздельного измерения положительной и отрицательной объемной плотности электрического заряда аэроионов в объеме проходящего газа в заданном диапазоне подвижности.

[ГОСТ 19471—74, статья 3]

**3.13 аспирационный конденсатор:** Воздушный конденсатор, применяемый для определения распределения полярной ОПЭЗ по подвижности аэроионов воздуха, пропускаемого между его обкладками, путем измерения тока аэроионов, осаждаемых на измерительную обкладку, в зависимости от расхода воздуха и от напряжений, подаваемых на противоположную(ые) обкладку(и) конденсатора.

**3.14 аэроионный состав:** Совокупность показателей, характеризующих содержание аэроионов в воздушной среде.

**3.15 анализ аэроионного состава воздуха (газа):** Определение содержания полярной объемной плотности электрического заряда и счетной концентрации аэроионов по подвижности.

## 4 Условия измерений

4.1 При выполнении измерений соблюдают следующие условия окружающей среды, если в руководствах по эксплуатации применяемых средств не указаны другие условия:

- температура окружающего воздуха  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ;
- относительная влажность воздуха от 30 % до 80 %;
- атмосферное давление от 84 до 106 кПа;
- напряжение питающей сети от 207 до 244 В;

- в зоне размещения системы анализа аэроионного состава воздуха и газовых сред (далее — СААСВ) должны отсутствовать механические вибрации частотами до 30 Гц и амплитудой виброперемещений более 0,75 мм.

4.2 СААСВ размещают в помещении класса чистоты не хуже 8 в соответствии с ГОСТ ИСО 14644-1.

4.3 Не допускается прямое попадание солнечных лучей на СААСВ.

## 5 Требования безопасности

5.1 Измерения с помощью СААСВ должны выполнять лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности и допущенные к работе с источниками ионизирующих излучений и с электротехническими изделиями до 1000 В, имеющие квалификационную группу по электробезопасности не ниже III.

5.2 При выполнении измерений соблюдают требования безопасности, указанные в эксплуатационной документации на систему анализа аэроионного состава воздуха.

5.3 Порядок эксплуатации СААСВ в части радиационной безопасности должен быть регламентирован нормативными документами [1], [2].

## 6 Сущность метода измерений

Метод измерений основан на сепарации аэроионов по полярности и по подвижности при пропускании (прохождении) их через электрическое поле внутри аспирационного конденсатора и на измерении тока аэроионов через измерительную обкладку аспирационного конденсатора и (или) через выход аспирационного конденсатора в зависимости от подаваемого напряжения на его обкладки, расхода воздуха, геометрических размеров аспирационного конденсатора и электрической подвижности аэроионов.

Полярная объемная плотность  $\rho$  электрического заряда аэроионов с подвижностью  $k$ , большей  $k_0$ ,  $\rho(k \geq k_0)$ , связана с током через измерительную обкладку интегрального аспирационного конденсатора формулой (1)

$$\rho(k \geq k_0) = \frac{1}{W} \left[ I(k_0) - U \cdot \frac{dI(k_0)}{dU} \right], \quad (1)$$

где  $W$  — объемный расход воздуха (газа) через аспирационный конденсатор,  $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$U$  — напряжение на высоковольтной обкладке аспирационного конденсатора, В;

$k_0$  — предельная подвижность,  $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$ , аспирационного конденсатора (его варьируемый па-

раметр), определяемый уравнением  $k_0 = \frac{\varepsilon_0 W}{CU}$ ;

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \cdot \text{м}^{-1}$  — электрическая постоянная;

$C$  — емкость измерительной обкладки аспирационного конденсатора, Ф.

Полярную объемную плотность электрического заряда (далее — ОПЭЗ) аэроионов в интервале подвижностей от  $k_{01}$  до  $k_{02}$  определяют по разности значений, рассчитанных по формуле (1) при значениях предельной подвижности  $k_{01}$  и  $k_{02}$ . Среднее значение подвижностей аэроионов, спектральная плотность заряда  $\rho(k)$  и полярная удельная электрическая проводимость воздуха могут быть оценены по формулам, приведенным в приложении А, в котором представлены теоретические зависимости функций преобразования от подвижности аэроионов и режимных характеристик аспирационных конденсаторов и формулы (А.7 — А.13, А.15 — А.18) для расчета параметров аэроионов.

Измерения спектральной ОПЭЗ аэроионов проводят дифференциальным аспирационным конденсатором. В таких аспирационных конденсаторах применяют одновременное разделение измерительной обкладки и воздушного потока. Прямому измерению подлежит ток аэроионов  $I = I_{\Delta W, \Delta C}$  через вторую часть (от входного отверстия) емкостью  $\Delta C$  его измерительной обкладки. Входное отверстие разделено на две части, через которые поступает ионизированный воздух с расходом  $\Delta W$  и очищенный и деионизированный воздух с расходом  $W - \Delta W$  (рисунок 3).

Спектральная объемная плотность электрического заряда аэроионов связана с измеряемым током  $I_{\Delta W, \Delta C}$  выражением (2)

$$\rho(\xi) = \frac{C(C - \Delta C)}{\varepsilon_0 \Delta C} \cdot \frac{2U}{\Delta W(2W - \Delta W)} I_{\Delta W, \Delta C}, \quad (2)$$

где  $\xi$  — значение подвижности, находящееся в промежутке от  $k_{aa'}$  до  $k_{bb'}$  со средней подвижностью  $\bar{k}$  и относительной шириной половины этого промежутка  $\delta_k$  (см. приложение А).

При условии  $\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta W}{W}$  достигается оптимальный режим измерения спектральной объемной плотности заряда, которую определяют из выражения (3)

$$\rho(\xi) = \frac{2 - \delta_k}{2\delta_k^2} \cdot \frac{I_{\Delta W, \Delta C}}{W\bar{k}}, \quad (3)$$

где среднее значение подвижности равно  $\bar{k} = \frac{\varepsilon_0 W}{CU}$ , а относительная ширина половины промежутка

$$\delta_k = \frac{\Delta W}{W} = \frac{\Delta C}{C}.$$

Связь между счетной концентрацией и полярной объемной плотностью электрического заряда аэроионов определяют из выражения (4)

$$\rho(k) = P(k) \cdot e \cdot \rho_N(k), \quad (4)$$

где  $\rho(k)$  — распределение полярной объемной плотности электрического заряда по подвижностям, Кл·м<sup>-3</sup>;

$P(k)$  — число элементарных зарядов на одной электрически заряженной частице определенной полярности и подвижности  $k$ ;

$e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл — элементарный заряд;

$\rho_N(k)$  — распределение счетной концентрации аэроионов по подвижностям, м<sup>-3</sup>.

Для легких ионов и аэроионов размером (по диаметру) менее 20 нм, т. е. с подвижностью  $k \geq 5 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>·В<sup>-1</sup>·с<sup>-1</sup> (при биполярной ионизации), заряд  $P = 1$  с погрешностью  $\pm 2\%$  [3] и распределение счетной концентрации аэроионов по подвижностям определяют по формуле (5)

$$\rho_N(k) = \frac{1}{e} \cdot \rho(k). \quad (5)$$

Измеренные средние значения подвижности аэроионов и значения границ подвижности необходимо привести к стандартным условиям по формуле (6)

$$k_{np} = \frac{P}{760} \cdot \frac{273}{T} \cdot \bar{k}, \quad (6)$$

где  $k_{пр}$  — приведенная подвижность к стандартным значениям давления ( $p = 760$  мм рт. ст.) и температуры ( $T = 0$  °C), т. е. к плотности молекул и атомов, равной  $2,69 \cdot 10^{19}$  см<sup>-3</sup>;

$\bar{k}$  — результат измерения электрической подвижности при давлении  $p$  (мм рт. ст.) и температуре  $T$  (K).

## 7 Описание средства измерений

Средство измерений СААСВ, реализующее метод анализа аэроионного состава воздуха и газовых сред, включает в себя следующие основные компоненты:

- измерительный блок, состоящий из аспирационных конденсаторов и фильтров объемных зарядов, средств контроля потоков воздуха в них и токов через их измерительные обкладки, а также источников напряжений, подаваемых на электроды, и средств их контроля;
- устройство подготовки воздуха;
- блок управления и обработки данных.

На рисунке 1 приведена типовая блок-схема системы анализа аэроионного состава воздуха (газа), реализующая настоящий метод измерений.

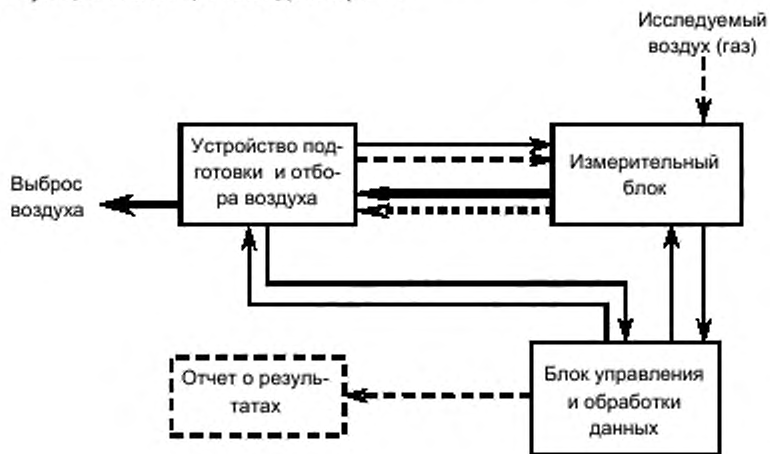


Рисунок 1 - Типовая блок-схема СААСВ

Допускается применение других конфигураций СААСВ, например, системы с двумя одинаковыми или различными (для измерения только легких, только средних или только тяжелых аэроионов) параллельными аспирационными конденсаторами, системы с несколькими средствами измерений полярной и суммарной объемной плотности электрического заряда или системы с несколькими параллельными аспирационными конденсаторами и средствами измерений химического состава выбранной группы аэроионов и/или счетной концентрации аэрозолей на выходах аспирационного конденсатора.

### 7.1 Измерительный блок

Измерительный блок состоит из интегрального и/или дифференциального аспирационных конденсаторов и фильтров объемных зарядов, устанавливаемых на их выходах и временно на их входах (на период опробования фильтров) и постоянно в параллельной линии отбора проб. Входной фильтр объемных зарядов служит для измерений объемной плотности электрического заряда всех электрически заряженных частиц воздуха, а выходной фильтр объемных зарядов — для измерения этой величины на выходе аспирационного конденсатора. При установке фильтров объемных зарядов в параллельной линии выходной фильтр объемных зарядов служит для контроля проскока заряженных частиц через первый фильтр объемных зарядов.



Типовые схемы для интегрального и дифференциального аспирационных конденсаторов представлены на рисунках 2 и 3.

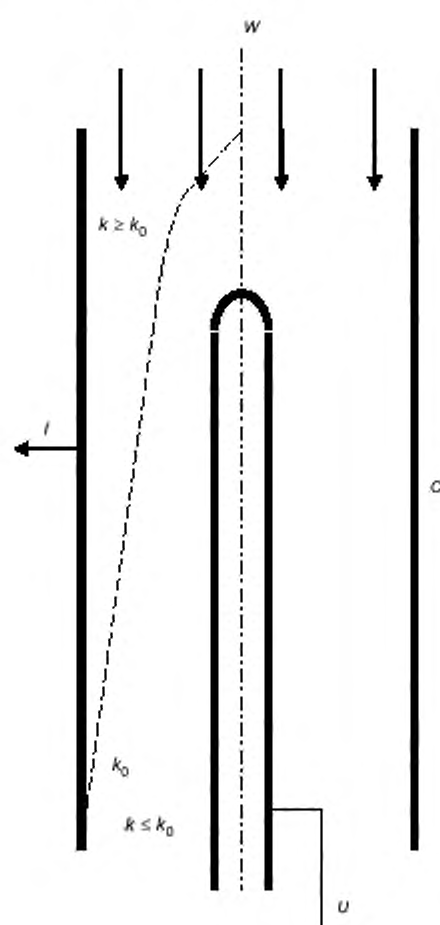


Рисунок 2 - Схема интегрального аспирационного конденсатора

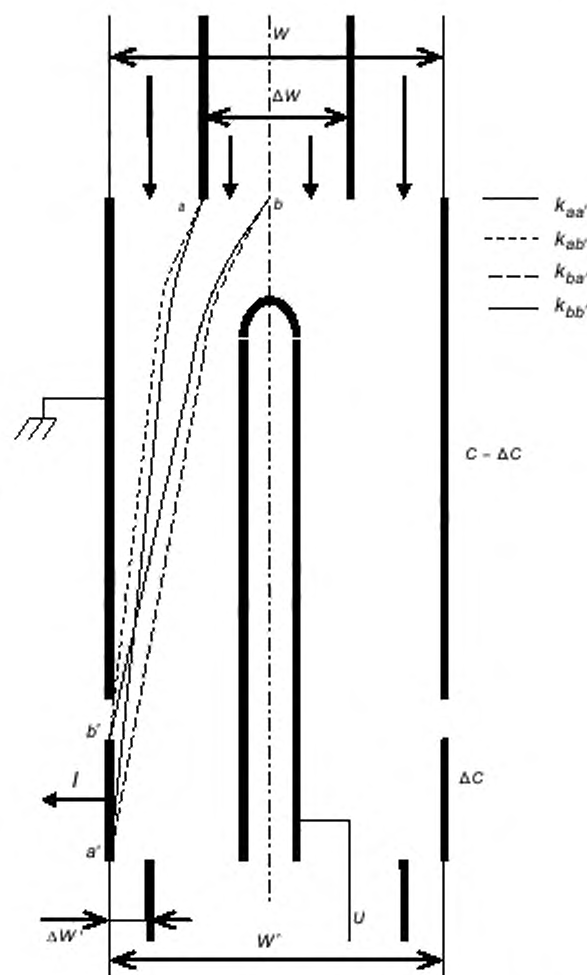


Рисунок 3 - Схема дифференциального аспирационного конденсатора

### 7.1.1 Аспирационные конденсаторы

#### 7.1.1.1 Интегральный аспирационный конденсатор

Интегральный аспирационный конденсатор предназначен для измерений интегральных характеристик аэроионов, а именно полярной объемной плотности электрического заряда  $\rho(k \geq k_0)$  и  $\rho(k_1, k_2)$ , а также для проведения испытаний, градуировки и сличений аспирационных счетчиков ионов.

Интегральный аспирационный конденсатор (рисунок 2) имеет по одному входному и выходному отверстию, через которые проходит воздух с расходом  $W$ , одну измерительную обкладку и одну обкладку, находящуюся под напряжением  $U$  относительно заземленного экрана. Ток аэроионов с под-

вижностью  $k \geq k_0$  через измерительную обкладку измеряют электрометром.  $C$  — емкость между измерительной и отталкивающей обкладками.

На входе интегрального аспирационного конденсатора допускается устанавливать съемный ионный затвор, не показанный на рис. 2, например, для удаления легких ионов при измерении средних и тяжелых ионов. Это может быть достигнуто отделением части измерительной обкладки, ближней к входу, и заземлением ее (или подключением к другому электрометру), а также разделением высоковольтной обкладки и подачей на часть ее, ближнюю к аспирационному входу, напряжения меньшего, чем в остальной части измерительной обкладки.

#### 7.1.1.2 Дифференциальный аспирационный конденсатор

Дифференциальный аспирационный конденсатор предназначен для измерений распределения аэроионов по подвижности  $\rho(k)$  и применяется при испытаниях, градуировке и сличениях аспирационных спектрометров ионов, для контроля и анализа аэроионного состава воздуха.

Дифференциальный аспирационный конденсатор (рис. 3) имеет два аспирационных входа: один для подачи очищенного деионизированного воздуха с расходом  $W - \Delta W$ , другой — для подачи исследуемого воздуха с расходом  $\Delta W$ , разделенный конденсатор с емкостями  $C - \Delta C$  и  $\Delta C$ , два выхода воздуха: для пропускания деионизированного воздуха с расходом  $W' - \Delta W'$  и аэроионов в нужном диапазоне подвижности с расходом  $\Delta W'$ . К последнему подсоединяют фильтр объемных зарядов.

Измерительные обкладки и весь аспирационный конденсатор находятся внутри заземленного экрана, не показанного на рисунках 2 и 3. На этих рисунках внешняя обкладка является измерительной; допускается, чтобы измерительная обкладка была внутренней. В этом случае наружная обкладка может быть заземлена, а ток аэроионов на измерительную обкладку определяют по скорости изменения (уменьшения) напряжения, поданного на эту обкладку.

#### 7.1.1.3 Фильтр объемных зарядов

В линии, параллельной аспирационному конденсатору, и/или на вход и выход аспирационного конденсатора устанавливают фильтры объемных зарядов, подсоединенные к электрометру, которые предназначены для измерения суммарной объемной плотности электрического заряда воздуха  $\rho_\Delta$ .

Фильтр объемных зарядов представляет собой находящийся в заземленном экране, изолированный от него и подключенный к электрометру, сосуд (цилиндр или параллелепипед) с фильтрующим материалом (например, аэрозольными фильтрами) внутри, через который пропускают исследуемый воздух.

Для создания электростатического поля в аспирационном конденсаторе должны применять регулируемый источник постоянного напряжения. Максимальное напряжение, подаваемое на обкладку аспирационного конденсатора, должно быть ограничено в целях предотвращения образования ионов в объеме аспирационного конденсатора. Предельно допустимое напряжение определяют из условия, что значение напряженности поля не должна превышать 1000 В/см.

Поскольку плотность заряда аэроионов с нужным значением подвижности измеряют при определенном напряжении, в СААСВ должна быть предусмотрена функция автоматического изменения напряжения.

#### 7.1.2 Система распределения потоков воздуха

Система распределения потоков воздуха в аспирационном конденсаторе должна быть герметичной. Течение от точки поступления пробы в аспирационный конденсатор до точки вывода должно быть ламинарным. Объемные расходы потоков, температура и давление в аспирационном конденсаторе должны быть определены и сохранены неизменными в процессе измерений. В СААСВ должна быть предусмотрена система контроля этих параметров. Допускается контролировать три из четырех потоков: поток очищенного воздуха, поток исследуемого воздуха и долю исследуемого воздуха с аэроионами, выделяемую из пробы. Систему контроля потоков допускается упрощать и стабилизировать путем очистки и рециркуляции избыточного потока в качестве потока очищенного воздуха в замкнутом цикле. Такая рециркуляция гарантирует равенство потока очищенного воздуха избыточно, что уменьшает ограничения на прецизионность измерений скорости огибающего потока и потока очищенного воздуха. При этом входящий поток исследуемого воздуха будет равен выходящей доле исследуемого воздуха с аэроионами при условии отсутствия утечек в системе рециркуляции и равенства температуры рециркулирующего свободного от частиц газа и потока пробы. Исключением может быть схема, когда воздух поступает под давлением (режим пробоотбора при повышенном дав-

лении). В таком случае допускается применять дозированное стравливание для балансировки потоков.

Для неагрессивных аэроионов допустимо создание потоков ионизированного  $\Delta W$  и деионизированного  $W - \Delta W$  воздуха с помощью установки на вход аспирационного конденсатора съемного ионного фильтра, захватывающего из потока  $W - \Delta W$  аэроионы с подвижностью более требуемой, например,  $k \geq 0,5 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$ , и пропускающего все аэроионы в потоке воздуха  $\Delta W$ .

### 7.1.3 Функция преобразования аспирационного конденсатора

Функцию преобразования аспирационного конденсатора, зависящую от электрической подвижности аэроионов, объемных скоростей потоков, геометрии конденсатора и электрического поля, определяют как вероятность того, что аэроионы, попадающие в аспирационный конденсатор через вход анализируемого воздуха, покинут его через выход к измерителю  $\rho_{\Delta}$ , т. е. к фильтру объемных зарядов, или осадут на измерительной обкладке аспирационного конденсатора.

Графический вид функции преобразования интегрального и дифференциального аспирационных конденсаторов показан, соответственно, на рисунках 4 и 5, где  $k_0$  — предельная подвижность интегрального аспирационного конденсатора (см. формулу (1)), а  $k_{aa'}$ ,  $k_{ba'}$ ,  $k_{ab'}$  и  $k_{bb'}$  — предельные подвижности дифференциального аспирационного конденсатора, определяемые по формулам (7)–(10):

$$k_{aa'} = \frac{\varepsilon_0}{C} \cdot \frac{W - \Delta W}{U}, \quad (7)$$

$$k_{ab'} = \frac{\varepsilon_0}{C - \Delta C} \cdot \frac{W - \Delta W}{U}, \quad (8)$$

$$k_{ba'} = \frac{\varepsilon_0}{C} \cdot \frac{W}{U}, \quad (9)$$

$$k_{bb'} = \frac{\varepsilon_0}{C - \Delta C} \cdot \frac{W}{U}. \quad (10)$$

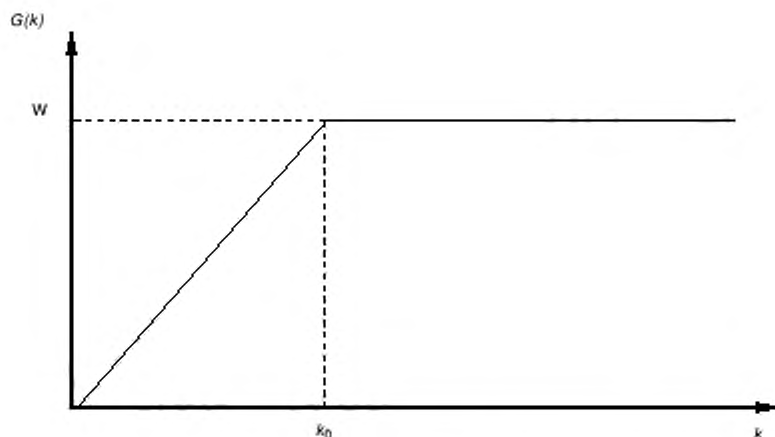


Рисунок 4 - Функция преобразования интегрального аспирационного конденсатора



Рисунок 5 - Функция преобразования дифференциального аспирационного конденсатора

(при условии  $\frac{\Delta C}{C} > \frac{\Delta W}{W}$ )

Функции преобразования для случаев  $\frac{\Delta C}{C} < \frac{\Delta W}{W}$  и  $\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta W}{W}$  подробно описаны в приложении А.

## 7.2 Устройство подготовки и отбора воздуха

7.2.1 Устройство подготовки и отбора воздуха предназначено:

- для отбора воздуха аспирационными конденсаторами и фильтрами объемных зарядов измерительного блока при измерении аэроионного состава исследуемого воздуха;
- для очистки, деионизации и подачи воздуха на вход генератора аэроионов и далее на вход аспирационных конденсаторов и других осадительных устройств измерительного блока;
- при настройке и контроле системы СААСВ;
- при градуировке средств измерений аэроионного состава воздуха.

Подачу и/или отбор воздуха устройством подготовки воздуха осуществляют побудителем расхода воздуха (например, воздуходувкой или вентилятором), обеспечивающим регулирование и стабилизацию нужных значений расходов воздуха в осадительных устройствах измерительного блока.

На входе и выходе побудителя расхода воздуха для очистки воздуха рекомендуется применять аэрозольные фильтры как на входе, так и на выходе устройства подготовки воздуха.

7.2.2 Для осушения воздуха рекомендуется применять разбавление сухим воздухом влажностью менее 30 %.

7.2.3 Деионизацию воздуха проводят с помощью электростатических осадителей напряжением на электродах, достаточным для осаждения в нем аэроионов (напряженность электрического поля не более 1000 В/см).

7.2.4 Для обеспечения проверки работы СААСВ по реальным аэроионам рекомендуется обеспечивать возможность подсоединения генератора аэроионов к входу измерительного блока и к выходу устройства подготовки и отбора воздуха.

Целесообразно использовать в качестве генератора легких аэроионов аэроионизатор с источником ионизации на основе радиоизотопов с  $\alpha$ - или  $\beta$ -излучением (например, плутония-239, никеля-63 и др.) с последующим регулированием полярной ОПЭЗ и полярности аэроионов изменением напряжений на электродах аэроионизатора и электростатических осадителей на его выходе и выдержкой ионизированного воздуха в камере выдержки (не менее 0,1 с). Для получения средних и тяжелых аэроионов (подвижностью от  $2,5 \cdot 10^{-4}$  до  $0,5 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$  следует установить на выход аэроионизатора распылитель жидкости или суспензий, например, полистирольный латекс.

### 7.3 Блок управления и обработки данных

7.3.1 Блок управления и обработки данных предназначен для осуществления управления и контроля за процессом измерений и состоянием СААСВ, а также сбора и преобразования данных.

7.3.2 Управление, контроль и обработка данных должны осуществляться программно. Допускается интегрировать устройство подготовки и отбора воздуха, измерительный блок и блок управления и обработки данных в автономный прибор для измерений счетной концентрации легких аэроионов и/или объемной плотности электрического заряда ионизированного воздуха.

## 8 Порядок подготовки и проведения измерений

8.1 Подготовка и проведение измерений включают в себя:

- проверку работы всех частей СААСВ;
- проверку фона измерительных каналов и устройств;
- подготовку воздуха (осушение, удаление аэрозольных частиц и аэроионов, подачу и отбор воздуха);
- подготовку и проверку объемной плотности электрического заряда аэроионов в заданном интервале подвижностей;
- измерение и обработку данных.

8.2 При проверке работы СААСВ необходимо убедиться в правильности регистрации контролируемых параметров (напряжения, скорости потоков, температуры и т. д.) и возможности измерения полярной ОПЭЗ по подвижности.

8.3 Проверку фона измерительного канала рекомендуется проводить при установке на его входе воздушного фильтра, обеспечивающего чистоту воздуха не хуже 7 класса по ГОСТ ИСО 14644-1. Фон в пробоотборной системе СААСВ должен быть не более  $50 \text{ см}^3$ . При превышении фона следует проводить очистку пробоотборной системы с помощью чистого воздуха (не содержащего взвешенных частиц).

8.4 Подготовка пробы аэроионов проводят с помощью генераторов аэроионов, входящих в состав устройства подготовки и отбора воздуха (7.2).

8.5 Проверку обеспечения заданного распределения аэроионов по подвижности генератором аэроионов, регулирования полярной объемной плотности электрического заряда и коэффициента униполярности в аэроионизаторе, в электростатическом осадителе и распылителе генератора аэроионов осуществляют по показаниям измерительного блока изменением напряжения на электродах указанных устройств генератора (7.2, 7.3).

### 8.6 Измерение и обработка данных

8.6.1 ОПЭЗ воздуха  $\rho_{\Delta}$  определяют по результатам измерения силы постоянного тока  $I$  электрометром, подсоединенным к измерительной обкладке входного фильтра объемных зарядов, по формуле (11)

$$\rho_{\Delta} = \frac{I}{W}, \quad (11)$$

где  $W$  — объемный расход воздуха через входной фильтр объемных зарядов.

Проскок частиц через входной фильтр рассчитывают по результатам измерений силы постоянного тока электрометром, подсоединенным к фильтру объемных зарядов, установленному на выходе входного фильтра. Неопределенность измерения  $\rho_{\Delta}$  оценивают с учетом этого проскока по ГОСТ Р 54500.3.

8.6.2 ОПЭЗ отдельно положительных  $\rho_+$  и отрицательных  $\rho_-$  аэроионов рассчитывают по формуле (11) в области насыщения ВАХ аспирационного конденсатора. Насыщение (выход на плато) достигается при предельной подвижности  $k_g$ , равной:

-  $(5 \cdot 10^{-5}) \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$  для легких ионов;

-  $(2 \cdot 10^{-8}) \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$  для тяжелых ионов.

В случае, если ВАХ интегрального аспирационного конденсатора не достигает насыщения, то  $\rho(k > k_0)$  и  $\rho(k_{01}, k_{02})$  определяют по формуле (1).

ОПЭЗ  $\rho_{\Delta, y}$  частиц больших размеров, т.е. с подвижностью менее  $5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$  или менее  $2 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$ , рассчитывают по формуле (12)

$$\rho_{\Delta, y} = \rho_{\Delta} - (\rho_+ + \rho_-), \quad (12)$$

где значения  $\rho_+$ ,  $\rho_-$ ,  $\rho_{\Delta}$  и  $\rho_{\Delta, y}$  являются алгебраическими,  $\rho_+ \geq 0$ ,  $\rho_- \leq 0$ .

Спектральное распределение полярной ОПЭЗ по подвижности  $\rho(\xi)$ , определяемое с обкладки  $\Delta C$  дифференциальным аспирационным конденсатором, рассчитывают по формуле (2), а среднее значение подвижности  $\bar{k}$  и границы неопределенности этого значения  $\delta_k$  — по значениям предельной подвижности этого конденсатора (формулы (7) — (10)).

## 9 Правила оформления результатов измерений

9.1 В отчете об измерениях следует приводить результаты измерений объемной плотности электрического заряда воздуха, полярной объемной плотности электрического заряда аэроионов по подвижности и счетной концентрации легких аэроионов по [4], а также рекомендуется указывать следующую информацию:

- условия проведения измерений (температуру окружающей среды, относительную влажность воздуха, давление);
- идентификацию СААСВ, включая наименование изготовителя, модель и серийный номер;
- дату и время проведения измерений;
- тип испытуемого образца;
- скорости входящих и выходящих потоков в аспирационном конденсаторе;
- давление внутри аспирационного конденсатора в процессе измерений;
- температуру внутри аспирационного конденсатора в процессе измерений;
- дату проведения последнего испытания СААСВ или его комплектующих средств измерений.

## 10 Оценка неопределенности результатов измерений

10.1 Оценку стандартной неопределенности результатов измерений объемной плотности электрического заряда аэроионов по подвижностям и счетных концентраций легких аэроионов следует проводить в соответствии с ГОСТ Р 54500.3 с применением эталонных мер ионизации воздуха. В качестве указанных мер рекомендуется использовать генератор аэроионов (с радионуклидным аэроионизатором и распылителем жидкости и/или суспензии), с эталоном объемной плотности электрического заряда аэроионов на основе аспирационного конденсатора и фильтра объемных зарядов. Характеристики мер и условия их применения должны быть определены в технической документации на них.

10.2 Оценку повторяемости (сходимости) и воспроизводимости измерений, если требуется, проводят в соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-2.

**Приложение А**  
**(справочное)**

### Функции преобразования аспирационных конденсаторов

Ниже приведены функции преобразования и формулы для расчета распределения полярной ОПЭЗ аэроионов по подвижности интегрального и дифференциального аспирационных конденсаторов.

Функцию преобразования аспирационного конденсатора с варьируемым параметром  $\Psi$  для аэроионов с подвижностью  $k$  определяется из выражения (А.1):

$$G(k, \Psi) = \frac{I(k, \Psi)}{\rho(k)}, \quad (\text{А.1})$$

где  $I(k, \Psi)$  — ток аэроионов с подвижностью  $k$  через собирающую обкладку на выходе аспирационного конденсатора;

$\rho(k)$  — полярная ОПЭЗ аэроионов с подвижностью  $k$ .

Функция преобразования, нормированная на единицу объемного расхода воздуха через аспирационный конденсатор, равна

$$g(k, \Psi) = \frac{G(k, \Psi)}{W} = \frac{I(k, \Psi)}{W \cdot \rho(k)} = \frac{n(k, \Psi)}{\rho(k)}, \quad (\text{А.2})$$

где  $W$  — объемный расход воздуха через аспирационный конденсатор.

Ток всех аэроионов через собирающую обкладку вычисляют по формуле (А.3)

$$I(\Psi) = \int_0^{\infty} \rho(k) G(k, \Psi) dk. \quad (\text{А.3})$$

Ток аэроионов в диапазоне подвижностей от  $k_1$  до  $k_2$  вычисляют по формуле (А.4)

$$I(\Psi) = \int_{k_1}^{k_2} \rho(k) G(k, \Psi) dk. \quad (\text{А.4})$$

#### А.1 Интегральный аспирационный конденсатор

Функция преобразования интегрального аспирационного конденсатора равна

$$G(k, k_0) = \begin{cases} W \cdot \frac{k}{k_0} \text{ при } k \leq k_0, \\ W \text{ при } k \geq k_0 \end{cases}, \quad (\text{А.5})$$

где  $k_0 = \frac{\varepsilon_0 \cdot W}{C \cdot U}$  — предельная подвижность аспирационного конденсатора,  $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$ ;

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \cdot \text{м}^{-1}$  — электрическая постоянная;

$C$  — емкость измерительной обкладки аспирационного конденсатора, Ф;

$U$  — напряжение отталкивающей обкладки аспирационного конденсатора, В.

На рисунке А.1 показана функция преобразования интегрального аспирационного конденсатора.



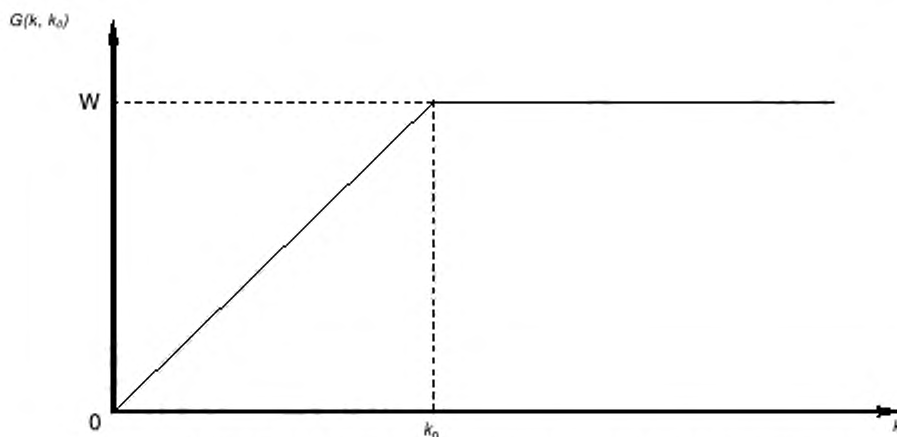


Рисунок А.1 - Функция преобразования интегрального аспирационного конденсатора

Аэроионы с подвижностью, находящейся в области  $k < k_0$ , осаждаются на измерительную обкладку лишь в том случае, если они находятся в объеме, ограниченном некоторой предельной поверхностью, т.е. достаточно близко к измерительной обкладке. В противном случае они покидают аспирационный конденсатор через выходное отверстие. Предельная поверхность зависит от подвижности частицы  $k$  и предельной подвижности аспирационного конденсатора. При  $k = k_0$  предельная поверхность достигает поверхности высоковольтной обкладки и все аэроионы с подвижностью  $k \geq k_0$  осаждаются на измерительную обкладку.

Из (А.3) и (А.5) следует, что ток аэроионов через измерительную обкладку интегрального аспирационного конденсатора равен

$$I(k_0) = W \int_{k_0}^{\infty} \rho(k) dk + \frac{CU}{\varepsilon_0} \int_0^{k_0} \lambda(k) dk, \quad (\text{А.6})$$

где  $\lambda(k) = k \cdot \rho(k)$  — электрическая проводимость воздуха, См.

Из (А.5) можно получить следующие соотношения:

$$\rho(k \geq k_0) = n(k_0) - U \frac{dn(k_0)}{dU}; \quad (\text{А.7})$$

$$\lambda(k \leq k_0) = \frac{\varepsilon_0}{C} \frac{dI}{dU}. \quad (\text{А.8})$$

Частную плотность заряда и частную проводимость в интервале подвижностей от  $k_1$  до  $k_2$  вычисляют по формулам (А.9) — (А.10):

$$\rho(k_1, k_2) = \rho(k \geq k_1) - \rho(k \geq k_2); \quad (\text{А.9})$$

$$\lambda(k_1, k_2) = \lambda(k \leq k_2) - \lambda(k \leq k_1). \quad (\text{А.10})$$



При постоянном объемном расходе  $W$  воздуха и варьировании напряжения  $U$  спектральную плотность аэроионов определяют из выражения (A.11)

$$\rho(k = k_0) = \frac{1}{k_0} \cdot U_0^2 \cdot \frac{d^2 n(U_0)}{dU^2}. \quad (\text{A.11})$$

Если все аэроионы в изучаемом воздухе расположены в диапазоне подвижности от  $k_1$  до  $k_2$ , то формула (A.6) имеет следующий вид:

$$I(k_0) = \begin{cases} W\rho & \text{при } k_0 \leq k_1; \\ W \int_{k_0}^{k_2} \rho(k) dk + \frac{CU}{\varepsilon_0} \int_{k_1}^{k_0} \lambda(k) dk & \text{при } k_1 \leq k_0 \leq k_2; \\ \frac{C}{\varepsilon_0} U\lambda & \text{при } k_2 \leq k_0. \end{cases} \quad (\text{A.12})$$

На рисунке A.2 приведена зависимость тока с собирающей обкладки в интегральном аспирационном конденсаторе от напряжения на отталкивающей обкладке ВАХ.

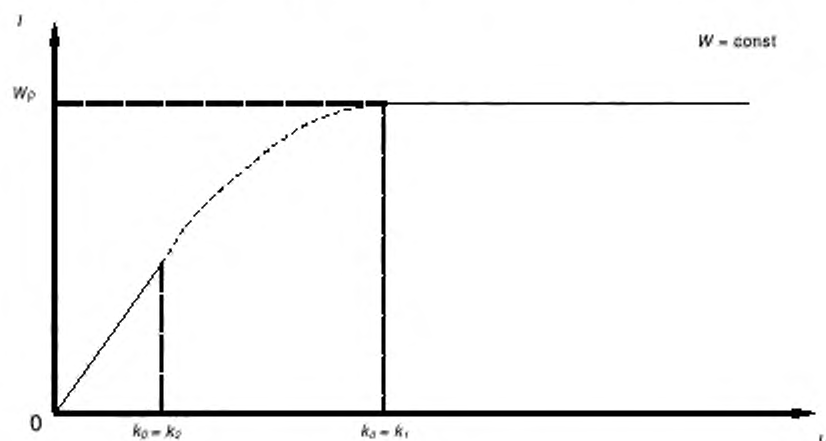


Рисунок A.2 - Зависимость тока с собирающей обкладки в интегральном аспирационном конденсаторе от напряжения на отталкивающей обкладке

Пунктирная линия на графике означает область, в которой находятся аэроионы, вне этой области — аэроионы отсутствуют.

При постоянном  $W$  и варьировании  $U$  объем, ограниченный предельной поверхностью, в области  $k_0 > k_2$  растет с уменьшением  $k_0$  (увеличением  $U$ ) для аэроионов всех подвижностей, и ток растет линейно. В точке  $k_0 = k_2$  предельная поверхность для самых легких аэроионов достигает высоковольтной обкладки, и рост тока, обусловленного этой группой, прекращается. При дальнейшем увеличении напряжения высоковольтной обкладки достигают предельные поверхности аэроионов меньших подвижностей. В точке  $k_0 = k_1$  предельная поверхность для самых тяжелых аэроионов достигает высоковольтной обкладки и в области  $k_0 < k_1$  ток с увеличением напряжения не растет.

Точки  $k_0 = k_1$  и  $k_0 = k_2$  на рисунке A.2 соответствуют точкам  $U = \frac{\varepsilon_0}{C} \cdot \frac{W}{k_1}$  и  $U = \frac{\varepsilon_0}{C} \cdot \frac{W}{k_2}$ .

Для любой предельной подвижности  $k_{01} < k_1$  имеет место соотношение (A.12)

$$\rho = \rho(k \geq k_{01}) = n(k_{01}), \quad (\text{A.12})$$

в то время как для  $k_{02} > k_2$  имеет место соотношение (A.13)

$$\lambda = \lambda(k \leq k_{02}) = \frac{\varepsilon_0}{C} \cdot \frac{l(k_{02})}{U}. \quad (\text{A.13})$$

## A.2 Дифференциальный аспирационный конденсатор

Функция преобразования дифференциального аспирационного конденсатора равняется

$$G(k, U) = \begin{cases} 0 & \text{при } k \leq k_{aa'} \\ \frac{C}{\varepsilon_0} U k - (W - \Delta W) & \text{при } k_{aa'} \leq k \leq k_{0\min} \\ \frac{\Delta C}{\varepsilon_0} U & \text{при } k \leq k \leq k_{ba'} \\ \Delta W & \text{при } k_{ba'} \leq k \leq k_{bb'} \\ W - \frac{C - \Delta C}{\varepsilon_0} U k & \text{при } k_{0\max} \leq k \leq k_{bb'} \\ 0 & \text{при } k \geq k_{bb'} \end{cases}, \quad (\text{A.14})$$

где

$$\begin{aligned} k_{aa'} &= \frac{\varepsilon_0}{C} \cdot \frac{W - \Delta W}{U}, \\ k_{ab'} &= \frac{\varepsilon_0}{C - \Delta C} \cdot \frac{W - \Delta W}{U}, \\ k_{ba'} &= \frac{\varepsilon_0}{C} \cdot \frac{W}{U}, \\ k_{bb'} &= \frac{\varepsilon_0}{C - \Delta C} \cdot \frac{W}{U}, \\ k_{0\min} &= \min(k_{ab'}, k_{ba'}), \\ k_{0\max} &= \max(k_{ab'}, k_{ba'}). \end{aligned}$$

В случае, когда  $\frac{\Delta C}{C} < \frac{\Delta W}{W}$ ,  $k_{ab'} < k_{ba'}$  и, следовательно,  $k_{0\min} = k_{ab'}$  и  $k_{0\max} = k_{ba'}$ .

В случае, когда  $\frac{\Delta C}{C} > \frac{\Delta W}{W}$ ,  $k_{ab'} > k_{ba'}$  и, следовательно,  $k_{0\min} = k_{ba'}$  и  $k_{0\max} = k_{ab'}$ .

В случае, когда  $\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta W}{W}$ ,  $k_{ab'} = k_{ba'}$  и, следовательно,  $k_{0\min} = k_{0\max} = k_{ab'} = k_{ba'}$ .

Функции преобразования при различных соотношениях значений  $\frac{\Delta C}{C}$  и  $\frac{\Delta W}{W}$  показаны на рисунке А.3.

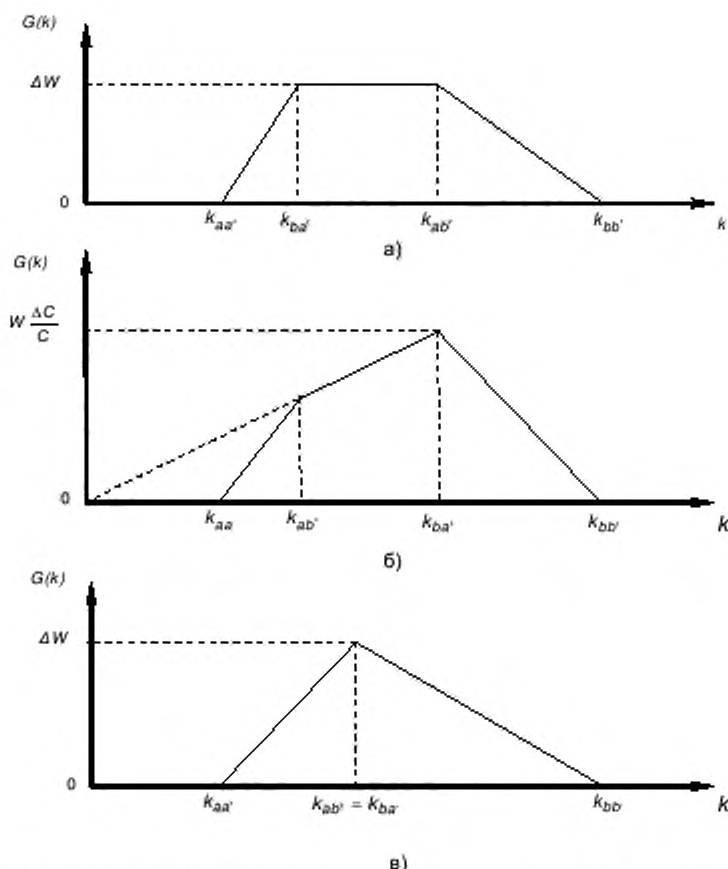


Рисунок А.3 - Функция преобразования для дифференциального аспирационного конденсатора второго рода

а) при  $\frac{\Delta C}{C} \geq \frac{\Delta W}{W}$     б) при  $\frac{\Delta C}{C} \leq \frac{\Delta W}{W}$   
 в) при  $\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta W}{W}$

Спектральную плотность аэроионов при постоянном объемном расходе воздуха  $W$  и варьировании напряжения  $U$  определяют из выражения (А.15)

$$\rho(\xi) = \frac{C(C-\Delta C)}{\varepsilon_0 \Delta C} \cdot \frac{2}{\Delta W(2W-\Delta W)} U I, \quad (\text{А.15})$$

где  $\xi$  — значение подвижности, находящееся в промежутке со средней подвижностью, вычисляемой по формуле (А.16)

$$\bar{k} = \frac{\varepsilon_0}{2} \cdot \frac{CW + (C-\Delta C)(W-\Delta W)}{C(C-\Delta C)U}, \quad (\text{А.16})$$

и относительной полушириной, вычисляемой по формуле (A.17)

$$\delta_{\kappa} = \frac{CW - (C - \Delta C)(W - \Delta W)}{CW + (C - \Delta C)(W - \Delta W)}, \quad (\text{A.17})$$

где  $\rho(\xi)$  — полярная объемная плотность электрического заряда аэроионов с подвижностью  $\xi$ , Кл·м<sup>-3</sup>;

$C$  — общая емкость аспирационного конденсатора, Ф;

$\Delta C$  — емкость той части измерительной обкладки, с которой измеряют ток аэроионов, Ф;

$I$  — измеряемая сила постоянного тока аэроионов, А.

При условии  $\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta W}{W}$  для такого конденсатора спектральную плотность аэроионов определяют из выражения (A.18)

$$\rho(\xi) = \frac{2 \cdot \delta}{2\delta^2} \cdot \frac{I}{kW}, \quad (\text{A.18})$$

где  $\xi$  — значение подвижности, находящееся в промежутке со средней подвижностью  $\bar{\kappa} = \frac{\varepsilon_0 W}{CU}$  и относительной

полушириной  $\delta_{\kappa} = \frac{\Delta W}{W} = \frac{\Delta C}{C}$ .

Варьируя напряжение  $U$  при постоянном расходе воздуха  $W$ , изменяют  $\xi$  и по полученной ВАХ восстанавливают спектр аэроионов по подвижности, применяя формулы (A.15) или (A.18).

## Библиография

- |     |   |  |
|-----|---|--|
| [1] | Санитарные правила и<br>нормативы<br>СанПиН 2.6.1.2523-09 | Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009  |
| [2] | Санитарные правила<br>СП 2.6.1.2612-10                    | Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)   |
| [3] | ISO 15900:2009<br><br>(ISO 15900:2009)                    | <p>Определение гранулометрического состава. Анализ дифференциальной подвижности частиц аэрозолей в электрическом поле</p> <p>(Determination of particle size distribution — Differential electrical mobility analysis for aerosol particles)</p> |
| [4] | ISO 9276—1:1998<br><br>(ISO 9276—1:1998)                  | <p>Гранулометрический анализ. Представление результатов. Часть 1. Графическое представление</p> <p>(Representation of results of particle size analysis — Part 1: Graphical representation)</p>  |

---

УДК 544.023.523:006.354

ОКС 17.020

Ключевые слова: аэроионный состав, распределение объемной плотности заряда по подвижностям, дифференциальная электрическая подвижность, аэроионы, легкие аэроионы

---

Подписано в печать 02.10.2014. Формат 60x84%.  
Усл. печ. л. 2,79. Тираж 37 экз. Зак. 4138

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

---

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»,  
123995 Москва, Гранатный пер., 4.  
[www.gostinfo.ru](http://www.gostinfo.ru) [info@gostinfo.ru](mailto:info@gostinfo.ru)