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

gost.e-ecolog.ru

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)

© 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

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Примечание — 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-

Издание официальное

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 ± 5) °С;
- 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 ρ 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, $м^3 \cdot с^{-1}$;

U — напряжение на высоковольтной обкладке аспирационного конденсатора, В;

k_0 — предельная подвижность, $м^2 \cdot с^{-1} \cdot В^{-1}$, аспирационного конденсатора (его варьируемый параметр), определяемый уравнением $k_0 = \frac{\varepsilon_0 W}{CU}$;

ε_0 = $8{,}85 \cdot 10^{-12}$ $Ф \cdot м^{-1}$ — 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 ΔC его измерительной обкладки. Входное отверстие разделено на две части, через которые поступает ионизированный воздух с расходом ΔW 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)

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

где ξ — значение подвижности, находящееся в промежутке от $k_{aa'}$ до $k_{bb'}$ со средней подвижностью $\bar{k}$ и относительной шириной половины этого промежутка $\delta_{\bar{k}}$ (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)

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

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

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

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

где $\rho(k)$ — распределение полярной объемной плотности электрического заряда по подвижностям, Кл·м$^{-3}$;

$P(k)$ — 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$^{-3}$.

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

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

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

$$k_{пр} = \frac{p}{760} \cdot \frac{273}{T} \cdot \bar{k}, \qquad (6)$$

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

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

7 Описание средства измерений

Средство измерений САЛСВ, 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.

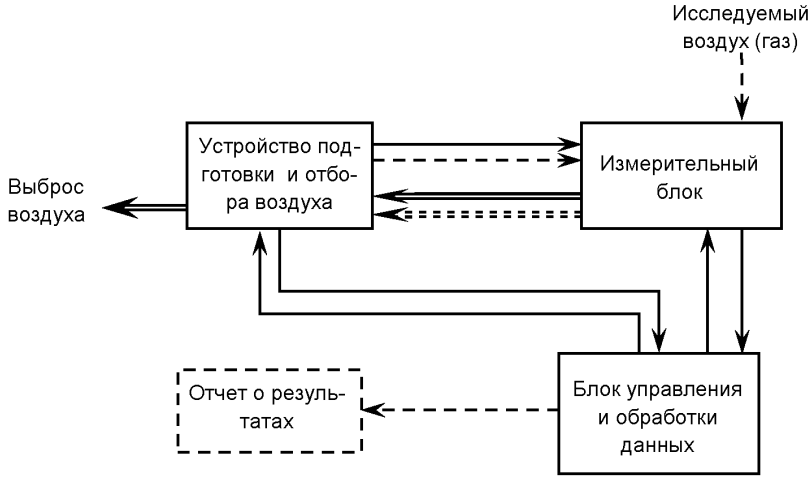

Рисунок 1 - Типовая блок-схема САЛСВ

Допускается применение других конфигураций САЛСВ, 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.

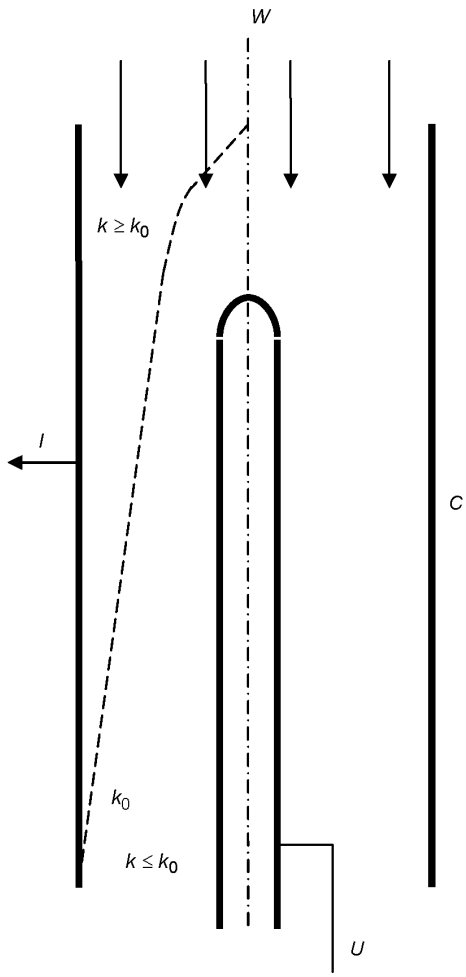

Рисунок 2 - Схема интегрального аспирационного конденсатора

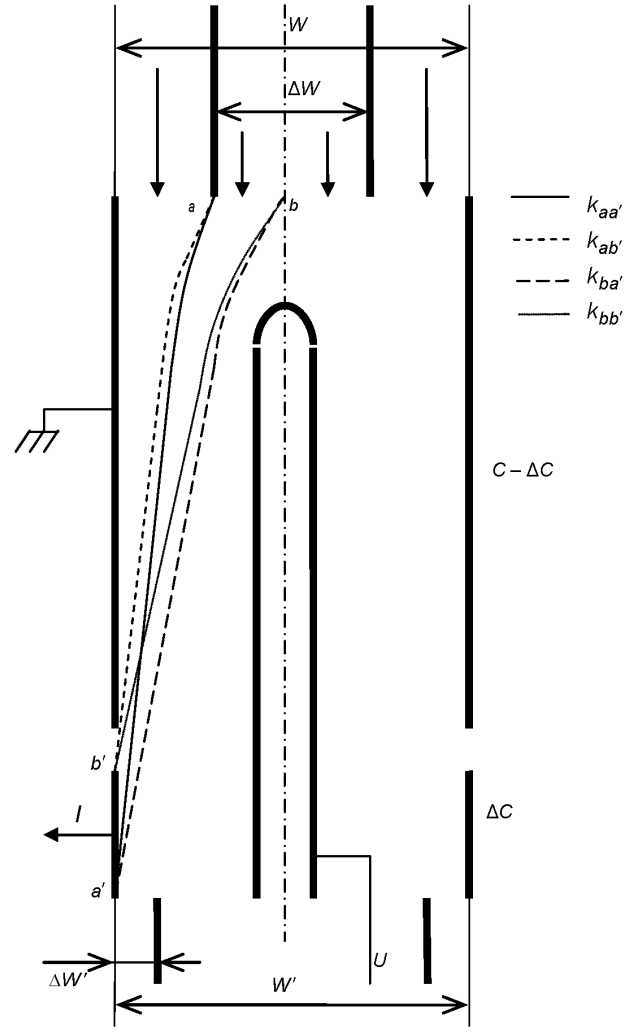

Рисунок 3 - Схема дифференциального аспирационного конденсатора

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 ΔW, разделенный конденсатор с емкостями $C - \Delta C$ и ΔC, 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 ρ_Δ.

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 напряженность поля не должна превышать 1000 В/см.

Поскольку плотность заряда аэроионов с нужным значением подвижности измеряют при определенном напряжении, в САИСВ 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 САИСВ 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 избыточному, что уменьшает ограничения на прецизионность измерений скорости ограждающего 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 ΔW 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, $k \geq 0{,}5$ см$^2 \cdot$с$^{-1} \cdot$В$^{-1}$,и пропускающего все аэроионы в потоке воздуха ΔW.

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 ρ_Δ, т. е. к фильтру объемных зарядов, или осядут 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):

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

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

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

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

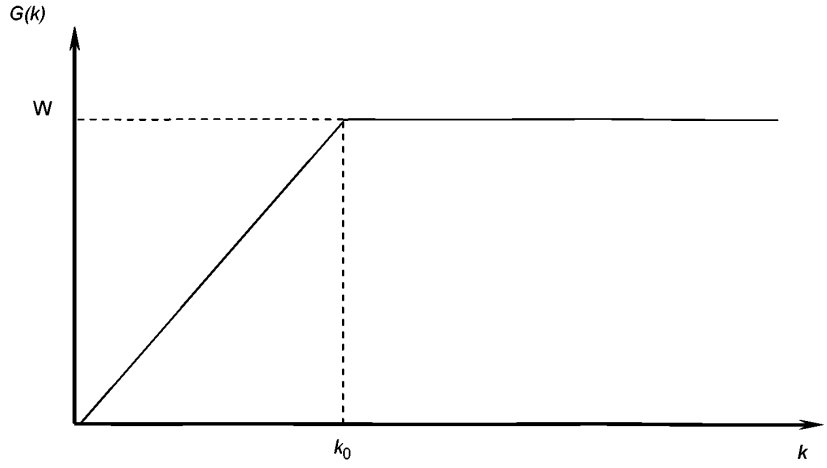

Рисунок 4 - Функция преобразования интегрального аспирационного конденсатора

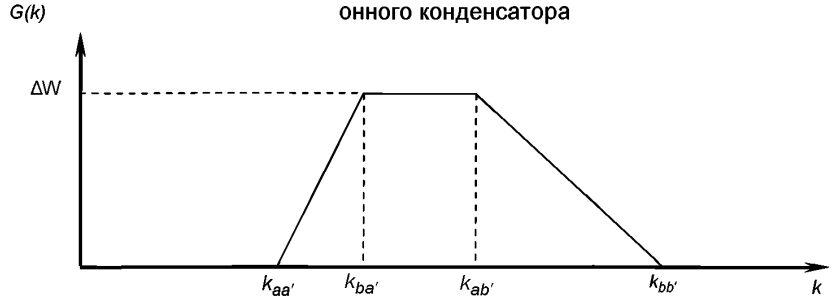

Рисунок 5 - Функция преобразования дифференциального аспирационного конденсатора

(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 контроля системы САСВ;
- 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 САСВ 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 α- или β-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 $см^2 \cdot с^{-1} \cdot В^{-1}$ 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 САСВ, 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 САСВ;
- 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 САСВ 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 САСВ должен быть не более 50 $см^{-3}$. При превышении фона следует проводить очистку пробоотборной системы с помощью чистого воздуха (не содержащего взвешенных частиц).

8.4 Подготовку 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 ρ_Δ определяют по результатам измерения силы постоянного тока I электрометром, подсоединенным к измерительной обкладке входного фильтра объемных зарядов, по формуле (11)

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

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 ρ_Δ оценивают с учетом этого проскока по ГОСТ Р 54500.3.

8.6.2 ОПЭЗ раздельно положительных ρ_+ и отрицательных ρ_- аэроионов рассчитывают по формуле (11) в области насыщения ВАХ аспирационного конденсатора. Насыщение (выход на плато) достигается при предельной подвижности k_0, равной:

- $(5 \cdot 10^{-5})$ м$^2 \cdot$с$^{-1} \cdot$В$^{-1}$ для легких ионов;
- $(2 \cdot 10^{-8})$ м$^2 \cdot$с$^{-1} \cdot$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 $5 \cdot 10^{-5}$ м$^2 \cdot$с$^{-1} \cdot$В$^{-1}$ или менее $2 \cdot 10^{-8}$ м$^2 \cdot$с$^{-1} \cdot$В$^{-1}$, рассчитывают по формуле (12)

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

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

Спектральное распределение полярной ОПЭЗ по подвижности $\rho(\xi)$, определяемое с обкладки ΔC дифференциальным аспирационным конденсатором, рассчитывают по формуле (2), а среднее значение подвижности $\overline{k}$ и границы неопределенности этого значения $\delta_{\overline{k}}$ — 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 САЛСВ, 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 САЛСВ или его комплектущих 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 Ψ для аэроионов с подвижностью k определяется из выражения (А.1):

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

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

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

где W — объемный расход воздуха через аспирационный конденсатор.

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

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

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

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

А.1 Интегральный аспирационный конденсатор

Функция преобразования интегрального аспирационного конденсатора равна

$$G(k,.k_0)=\begin{cases} W\cdot\dfrac{k}{k_0} & при\ \ k\le k_0 \\ W & при\ \ k\ge k_0 \end{cases}, \tag{А.5}$$

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

$\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф·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.

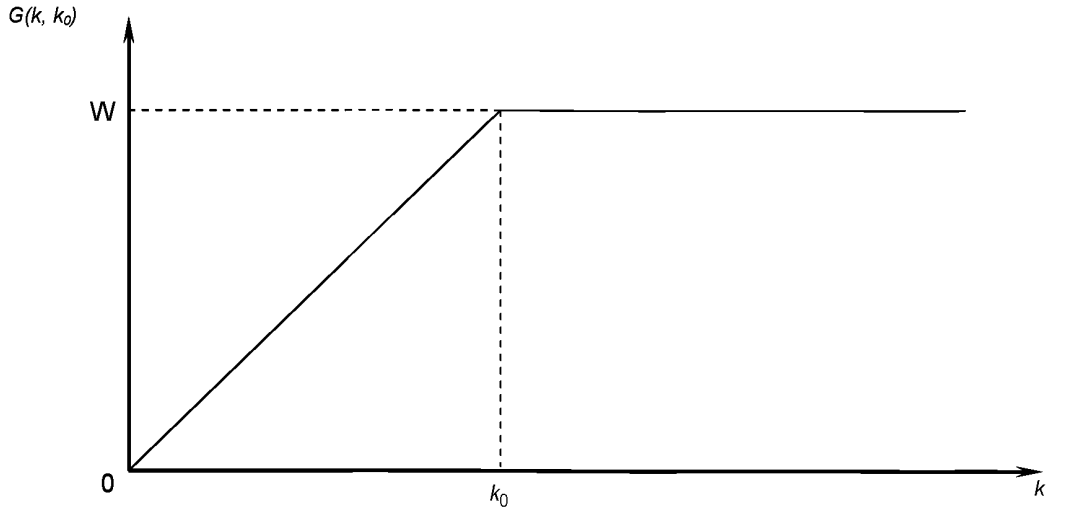

Рисунок А.1 - Функция преобразования интегрального аспирационного конденсатора

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

$$I(k_0) = W\int_{k_0}^{\infty} \rho(k)dk + \frac{CU}{\varepsilon_0}\int_{0}^{k_0} \lambda(k)dk, \quad (A.6)$$

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

Из (А.5) можно получить следующие соотношения:

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

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

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

$$\rho(k_1, k_2) = \rho(k \geq k_1) - \rho(k \geq k_2); \quad (A.9)$$

$$\lambda(k_1, k_2) = \lambda(k \leq k_2) - \lambda(k \leq k_1). \quad (A.10)$$

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

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

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

$$I(k_0) = \begin{cases} W\rho \quad при \quad k_0 \le k_1; \\ W\int\limits_{k_0}^{k_2} \rho(k)dk + \frac{CU}{\varepsilon_0}\int\limits_{k_1}^{k_0} \lambda(k)dk \quad при \quad k_1 \le k_0 \le k_2; \\ \frac{C}{\varepsilon_0} U\lambda \quad при \quad k_2 \le k_0. \end{cases} \quad (А.12)$$

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

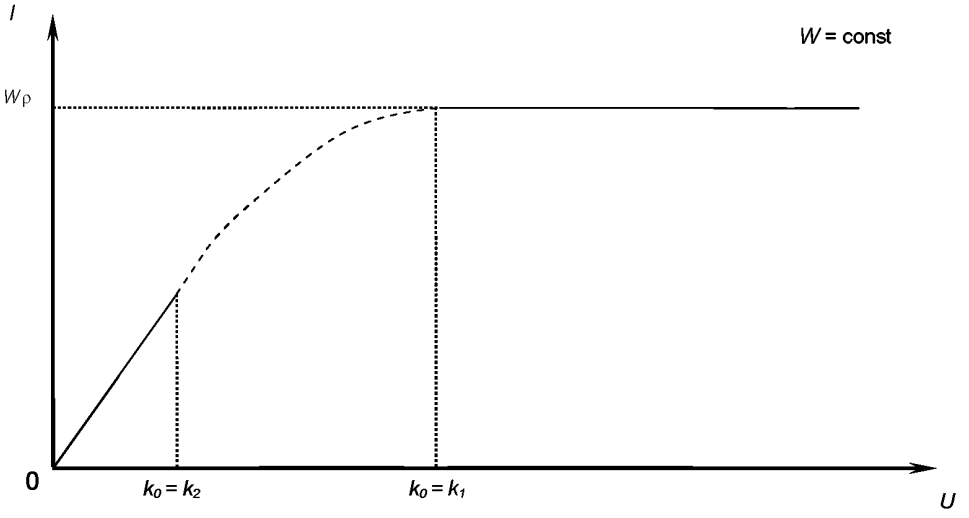

Рисунок А.2 - Зависимость тока с собирающей обкладки в интегральном аспирационном конденсаторе от напряжения на отталкивающей обкладке

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 А.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 (А.12)

$$\rho = \rho(k \geq k_{01}) = n(k_{01}), \tag{А.12}$$

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

$$\lambda = \lambda(k \leq k_{02}) = \frac{\varepsilon_0}{C} \cdot \frac{I(k_{02})}{U}. \tag{А.13}$$

А.2 Дифференциальный аспирационный конденсатор

Функция преобразования дифференциального аспирационного конденсатора равняется

$$G(k,U) = \begin{cases} 0 \ \textit{при} \ k \leq k_{aa'} \\ \dfrac{C}{\varepsilon_0} Uk - (W - \Delta W) \ \textit{при} \ k_{aa'} \leq k \leq k_{0\min} \\ \dfrac{\Delta C}{\varepsilon_0} U \ \textit{при} \ k \leq k \leq k_{ba'} \\ \Delta W \ \textit{при} \ k_{ba'} \leq k \leq k_{ab'} \\ W - \dfrac{C - \Delta C}{\varepsilon_0} Uk \ \textit{при} \ k_{0\max} \leq k \leq k_{bb'} \\ 0 \ \textit{при} \ k \geq k_{bb'}, \end{cases}, \tag{А.14}$$

где

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

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

$$k_{ba'} = \frac{\varepsilon_0}{C} \cdot \frac{W}{U},$$

$$k_{bb'} = \frac{\varepsilon_0}{C - \Delta C} \cdot \frac{W}{U},$$

$$k_{0\min} = \min(k_{ab'}, k_{ba'}),$$

$$k_{0\max} = \max(k_{ab'}, k_{ba'}).$$

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.

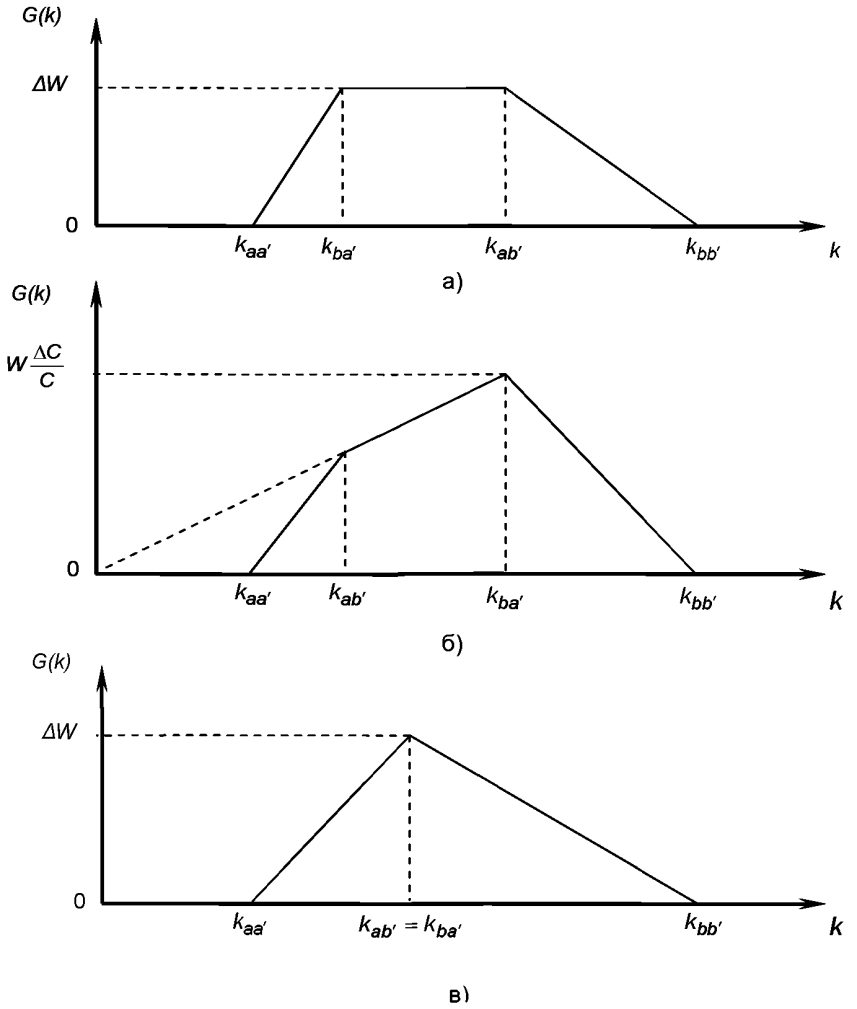

Рисунок А.3 - Функция преобразования для дифференциаль-ного аспирационного конденсатора второго рода

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)

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

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

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

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

$$\delta_{\overline{k}} = \frac{CW - (C - \Delta C)(W - \Delta W)}{CW + (C - \Delta C)(W - \Delta W)}; \quad (А.17)$$

где $\rho(\xi)$ — полярная объемная плотность электрического заряда аэроионов с подвижностью ξ, Кл·м$^{-3}$;

C — общая емкость аспирационного конденсатора, Ф;

ΔC — 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 (А.18)

$$\rho(\xi) = \frac{2\text{-}\delta}{2\delta^2} \cdot \frac{I}{\overline{k}W}, \quad (А.18)$$

где ξ — значение подвижности, находящееся в промежутке со средней подвижностью $\overline{k} = \frac{\varepsilon_0 W}{CU}$ и относительной полушириной $\delta_{\overline{k}} = \frac{\Delta W}{W} = \frac{\Delta C}{C}$.

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

Библиография

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

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 60x84⅛.
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.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru