

Медико-техническое обеспечение контроля аэроионного состояния воздуха на объектах с искусственной средой обитания

А. Ю Мещеряков, С. Н. Осипов, С. В. Колерский

В настоящее время при решении проблем обеспечения оптимальных, физиологически благоприятных условий на объектах с искусственной средой обитания, особую важность и актуальность приобретают вопросы контроля аэроионного состояния воздушной среды [Мещеряков А. Ю., Федотов Ю. А., 1998].

Реализация контроля аэроионного состояния воздушной среды осуществляется путем использования аэроионометров, измеряющих характеристики аэроионов, обычно спектральную функцию распределения плотности объемного заряда аэроионов по подвижности, т. е. спектр подвижностей аэроионов, электрическую проводимость воздуха, или более частные характеристики — плотности объемного заряда аэроионов характерных групп подвижностей (легких, средних и тяжелых аэроионов) и др. Возможность проведения требуемых на практике измерений определяется существующим арсеналом специализированных средств измерений.

Рассмотрим общие принципы построения аэроионометрической аппаратуры, современное состояние, тенденции и перспективы их дальнейшего развития.

Аэроионометрическая аппаратура применяется в области геофизики и метеорологии, но особенно важно применение аэроионометров для решения задач в области экологии объектов с искусственной средой обитания и медико-биологических исследований. При помощи аэроионометрической аппаратуры осуществляется текущий контроль аэроионной обстановки на различных объектах, сопровождение научно-исследовательских работ и периодический контроль электроэфлювиальных генераторов, используемых для лечения и профилактики различных заболеваний. Аэроионные измерения также используются в анализе химического состава газов, и могут применяться, например, в составе систем анестезиологии [Sacristan E., 1995]. Такие измерения проводятся при помощи аэроионометров трех типов: спектрометров, счетчиков и индикаторов. Счетчики аэроионов пред-

назначены для измерений полярных суммарных плотностей заряда аэроионов в определенных диапазонах подвижностей (как правило, для измерений легких или тяжелых аэроионов), и в отличие от спектрометров, не позволяют проводить детального исследования спектра подвижностей. Индикаторы качественного состояния аэроионной обстановки характеризуются упрощенностью конструкции, они просты для изготовления и эксплуатации, однако имеют малую точность измерений. С их помощью возможны измерения аэроионов только при относительно больших величинах объемного заряда [Lovelock P. A., 1990]. Известны специализированные устройства для тестирования работы аэроионизаторов (тестеры аэроионизаторов), например «Charged Plate Monitor» (Model 210) и «Periodic Verification System» (Model 775pvs) компании Ion Systems, «Air ionizer tester/field meter» (3M Model 713) и др. [<http://www.ion.com>; <http://www.ion.com>; <http://www.techni-tool.com>; Маслаев В. В., 1998].

На практике обычно применяются счетчики аэроионов и спектрометры, основанные на аспирационном методе измерений [Гаммет Х. Ф., 1967], хотя известны и другие методы аэроионометрии (например [Бушмин А. П., Пиль Ю. Ю., Разнован О. Н., 1999], где осаждение аэроионов на измерительные электроды вызывается магнитным полем, или [Schwierzke J., Stiehl H.-H., Lohr J., 1996], с открытым коллектором). Аэроионометрическая аппаратура серийного производства, как правило, отличается более простой конструкцией. Опытные приборы единичного изготовления: счетчики аэроионов обычно основываются на интегральных аспирационных конденсаторах с малым числом электродов. Тестеры аэроионизаторов, как правило, используют принцип релаксации электрического заряда с изолированного электрода.

Наиболее важными техническими характеристиками спектрометров и счетчиков аэроионов являются пределы измерений плотности объемного заряда и подвижности аэроионов. Одним из основных недостатков известных аэроионометров является невозможность измерения характеристик аэроионного состояния воздушной среды во всем диапазоне плотностей объемного электрического заряда и подвижностей, что обусловлено пределом подвижности, которая может регистрироваться аспирационным методом. Электрические фильтры, способные собирать все аэроионы, и приборы, основанные на принципе измерения электрического поля создаваемого объемными электрическими зарядами [Сушко Б. К., Бахтизин Р. З., Ивлев Л. С., 1989], могут применяться только для измерения разности между суммарными плотностями зарядов положительных и отрицательных аэроионов. Комбинированные конструкции [Knudsen E., Israelsson S., 1992], содержащие последовательно включенные аспирационные конденсаторы и фильтры, имеют те же недостатки.

Быстродействие аэроионометров: аэроионная обстановка претерпевает значительные изменения как на объектах с ограниченным простран-

вом, так и в свободной атмосфере [Siksna R., 1961], поэтому данная характеристика аэроионометрической аппаратуры имеет большое значение. Важно, чтобы измерения плотности заряда отрицательных аэроионов проводились одновременно, как, например, в счетчике аэроионов «Сапфир-3К» [Счетчик ионов «Сапфир-3К»..., 1999] и «Air Ion Density Meter» [<http://www.ion.com>]. Время измерения спектрометром полного спектра должно быть меньше времени существенного изменения аэроионного состояния воздушной среды. Например, счетчик аэроионов «УТ-9106» [Счетчик аэроионов «УТ-9106»..., 1996] позволяет измерять объемные плотности заряда аэроионов в 16 диапазонах подвижностей, путем последовательного прохода всех диапазонов возможно измерение спектра аэроионов от легких до тяжелых фракций, однако для этого требуется значительное время (только один измерительный цикл занимает более 5 минут), очевидно, что в реальных условиях «УТ-9106» не позволяет проводить адекватных измерений полного спектра подвижностей, и, следовательно, не может быть отнесен к классу спектрометров.

Любые измерения характеризуются точностью полученных результатов, но при аэроионометрических измерениях гораздо большее значение имеют пределы и быстрота проведения измерений. Современная аэроионометрическая аппаратура имеет достаточную для практических целей точность измерений (см. табл. 1). При проведении измерений следует исключать или учитывать нежелательное действие факторов внешней среды: температуры и влажности воздуха, скорости и направления движения воздуха, наличия вибраций и акустических полей, способных вызывать «микрофонный эффект» в измерительных конденсаторах, величину фона ионизирующих излучений, загрязненность исследуемого воздуха аэрозолями и пылью. Для расширения области применимости аэронометров используются специальные технические решения [Матизен Р. Л., Ютс Э. Ю., 1975; Ковалюк А. С., Парамзин Ю. В., 1993; Таммет Х. Ф., Шварц Я. М., 1975; Столяров Л. И., Устинов Ю. С., Нельсон И. А., 1989].

Источником сильных погрешностей могут стать аэрозольные частицы. Сильные электрические поля, создаваемые в закрытых помещениях, например, электроэффлювиальными аэроионизаторами [Лившиц М. Н., 1990], при искусственной ионизации воздуха, способны вызвать сильный внешний краевой эффект [Чалмерс Дж. А., 1974]. Внешний краевой эффект проявляется в занижении измеренной плотности заряда аэроионов по сравнению с реальной (в случае заземленного аэроионометра занижается плотность заряда аэроионов недоминирующей полярности, а при незаземленном — доминирующей).

Помимо технических характеристик аэроионизаторов, при работе с приборами большое значение имеют эксплуатационные характеристики, такие как требуемая квалификация оператора, автоматизированность проведения

исследований, надежность, срок службы, работоспособность в определенных условиях внешней среды, массогабаритные характеристики, потребляемая электрическая мощность, тип источника питания и время непрерывной работы, безопасность использования для окружающей среды и человека.

В табл. 1 представлены характеристики пяти отечественных и зарубежных счетчиков аэроионов серийного производства [Счетчик ионов «Сапфир-3К»..., 1999; Счетчик ионов «Сапфир-3К»..., 1999; <http://www.ion.com>; <http://www.transjonic.nu>; <http://www.trifield.com>].

Таблица 1

Счетчики аэроионов

Характеристики	Счетчик аэроионов UT-9106	Счетчик ионов Сапфир-3К	Air ion counter	Air ion density meter. Model 115 и 115e	Ionmeter T-100 (A, B, C и D модификации), T-111
Изготовитель	АО ТЭЭКУР (Тартусский гос. Университет), Эстония	МП ЦНИ-ОКР КГТУ—КАИ (Казанский гос. Университет им. Туполева), Россия	Alphalab inc., США	Ion systems, США	Transjonic AB, Швеция
Измеряемые аэроионы	легкие, средние, тяжелые	легкие	легкие	легкие	легкие
Выбор диапазона подвижностей	+	–	–	н/д	–
Одновременное измерение положительных и отрицательных аэроионов	–	+	–	+	–
Минимальная измеряемая подвижность, $\text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$	0,0003	0,4	0,8	0,1	0,6
Диапазон измеряемых плотностей заряда, эл. зар./см^3	$10-3,16 \cdot 10^8$ (14 диапазонов)	$200-2 \cdot 10^5$ (3 диапазона)	$10-2 \cdot 10^6$ (3 диапазона)	$10-10^6$	$500-5 \times 10^6$ (5 диапазонов)
Режимы работы	Измерительный, нулевой (вход электрометра замкнут)	Измерительный, калибровки цепей измерения, проверки нуля	Измерительный, готовности (аспирация не производится), установки нуля	н/д	Измерительный, установки нуля

Продолжение таблицы 1

Характеристики	Счетчик аэроионов UT-9106	Счетчик ионов Сапфир-3К	Air ion counter	Air ion density meter. Model 115 и 115e	Ionmeter T-100 (A, B, C и D модификации), T-111
Элементы автоматизации	автоблокировка электрометра при перегрузке	выбор диапазонов измерения	управление аспиратором при смене полярности, контроль состояния батарей	контроль состояния батарей	контроль состояния батарей
Форма индикации результатов измерений	аналоговая	цифровая	цифровая	цифровая	аналоговая
Максимальная погрешность измерения, %	10	40	25	н/д	3
Число органов управления	10	4	3	7	5
Аналоговый выход для подключения внешних устройств	+	-	-	+	+ (только для T-100B и T-100D)
Конструкция аспирационной камеры	цилиндрические электроды с конусностью 1 : 50, внешний собирающий	плоские электроды (4 шт.)	плоские электроды (3 шт.), центральный собирающий	н/д	н/д
Емкость аспирационной камеры, пФ	53,5	13	н/д	н/д	н/д
Объемный расход воздуха, см ³ /с	0; 142; 450; 4500	3800	200	14000	2000
Время прогрева после включения, мин.	15	5	1	5	5
Время установления показаний после смены режима работы, с	30–120 (после смены предельной подвижности)	н/д	20 (после перехода от режима готовности к режиму измерений)	н/д	180 (после смены полярности, требуется установка нуля)

Окончание таблицы 1

Характеристики	Счетчик аэроионов UT-9106	Счетчик ионов Сапфир-3К	Air ion counter	Air ion density meter. Model 115 и 115e	Ionmeter T-100 (A, B, C и D модификации), T-111
Время сглаживания, с	10–270	н/д	10	0,1; 1; 60	н/д
Время непрерывной работы счетчика, ч	н/д	6	10 часов во включенном состоянии, 2 часа в режиме измерения	4	10
Тип и характеристики источника питания	сеть 220 В, 50 Гц	сеть 220 В, 50 Гц	электрические батареи 9 В, 2 шт.	сеть 120/230 В, 50/60 Гц, батареи 12 В (1 шт.) и 67 В (2 шт.)	110/230 В, батареи (только для T-100C и T-100D)
Потребление энергии, Вт	20	25	0,125 в режиме готовности; 0,55 в режиме измерения	20	10
Габаритные размеры (ширина, глубина, высота), мм	500 × 360 × 185	310 × 220 × 120	100 × 50 × 150	305 × 254 × 178	250 × 220 × 100
Вес, кг	12	5	н/д	9,1	3,8
Особенности	встроенный нагревательный элемент для работы при неблагоприятных условиях (работоспособность при температуре от –5° С до +35 С, относительная влажность воздуха до 95 %)	режим проверки качества изоляции и правильности функционирования измерительного тракта путем подачи на измерительные электроды тестового напряжения (режим «калибровка»)	конструкция прибора, габаритные размеры и вес допускают его ручное ношение во время проведения измерений	Model 115e допускает дистанционное управление: запись результатов измерений, корректировку нуля, контроль аспиратора	T-111 имеет более простую по сравнению с T-100 процедуру установки нуля

н/д — нет данных.

Все представленные счетчики аэроионов относятся к одному классу относительно простых приборов, имеют сходные характеристики, за исключением «УТ-9106», сложность управления которым и отсутствие средств автоматизации процесса измерения компенсируются значительно превосходящими все другие модели своими основными техническими характеристиками — диапазонами измеряемых плотностей заряда и подвижностей аэроионов.

Рассматриваемые счетчики аэроионов в основном предназначены для измерения легких аэроионов, что делает их применение обоснованным при условии, что в исследуемом объеме воздуха содержание тяжелых аэроионов незначительно. Следует учитывать, что тяжелые ионы характеризуются сильной физиологической активностью [Аэроионизация в гигиене труда, 1966; Проблемы электроаэрозолей..., 1969].

Наиболее прост в управлении счетчик аэроионов «Сапфир-3К»: оператор должен выбирать только режим работы. Автоматический выбор диапазона измерений значительно упрощает работу с прибором. Для всех рассматриваемых счетчиков аэроионов стандартными являются режимы измерения и установки нуля, хотя известны примеры полностью автоматической процедуры контроля и установки нуля [Таммет Х. Ф., Миллер Ф. Г., Матизен Р. Л., Эвель Я. Р., 1988]. Режим калибровки счетчиков аэроионов «Сапфир-3К» способствует повышению качества измерений [Маковеев В. М., Гусева Л. И., 1996].

В настоящее время обычным является возможность использования аналогового выхода для подключения внешних устройств регистрации и обработки получаемых данных, а например, «Air Ion Density Meter» даже имеет возможность подключения к компьютеру, осуществляющему сбор данных и дистанционное управление счетчиком. Ранее подобный уровень интеграции аэроионометрической аппаратуры в информационно-измерительные системы встречался только в сложной научно-исследовательской аппаратуре [Таммет Х. Ф., Якобсон А. Ф., 1973, Таммет Х. Ф., 1973, Таммет Х. Ф., Якобсон А. Ф., Сальм Я. И., 1973].

Существующие задачи контроля аэроионного состояния воздуха требуют применения аэроионометрической аппаратуры отвечающей современным требованиям по качеству описания аэроионной обстановки, что вызывает необходимость дальнейшего совершенствования аэроионометрической аппаратуры. В настоящее время, наиболее перспективными являются три основные направления развития аэроионометрической аппаратуры прикладного назначения:

- расширение диапазона измеряемых подвижностей аэроионов в сторону малых значений (т. е. в область тяжелых аэроионов);
- создание аэроионометрических измерительных систем;
- совершенствование эксплуатационных характеристик, в том числе эргономических.

Эти направления во многом взаимосвязаны. Так как современные аэроионметры являются приборами сложными по своей конструкции и управлению, то их дальнейшее совершенствование невозможно без перехода на уровень измерительных систем, т. е. без интеграции со средствами обработки и передачи измерительной информации. Такая аэроионметрическая измерительная система должна обладать широкими функциональными возможностями и обеспечивать:

- развитые возможности обработки, передачи и визуализации информации, в том числе, ведение баз данных получаемой информации и ее статистическую обработку;
- автоматизацию процесса измерения, возможность контроля характеристик аэроионной обстановки;
- сервисные функции, предназначенные для обеспечения работоспособности системы (установка нуля, контроль равенства передаточных функций цепей измерения для всех каналов, калибровка цепей измерения).

Для этого аэроионметрическая измерительная система должна включать в себя ряд подсистем:

- измерительную подсистему;
- информационно-управляющую подсистему, осуществляющую автоматизацию процесса измерения и функционирования аэроионметрической измерительной системы;
- подсистему обеспечения работоспособности, осуществляющую функции самодиагностики аэроионметрической измерительной системы, контроль питания, регулирование внутренней температуры и т. п.;
- подсистему связи и передачи информации.

При этом особое значение приобретает метрологическое обеспечение аэроионных измерений.

Таким образом, несмотря на то, что современная доступная аэроионметрическая аппаратура имеет ряд недостатков, ее дальнейшее развитие, совершенствование технических и эксплуатационных характеристик, и особенно, появление измерительно-информационных система, будет способствовать дальнейшему внедрению на практике аэроионных измерений.

Литература

1. Аэроионизация в гигиене труда / Под ред. Б. Б. Койранского. Л., 1966. 271 с.
2. Бушмин А. П., Пиль Ю. Ю., Разнован О. Н. Электрохимический счетчик аэроионов. Патент РФ. № 2132052. 1999.
3. Ковалюк А. С., Парамзин Ю. В. Счетчик атмосферных ионов. Патент РФ. № 1795402. 1993.

4. *Лившиц М. Н.* Аэроионизация. Практическое применение. М.: Стройиздат, 1990. 169 с.
5. *Маковеев В. М., Гусева Л. И.* Повышение достоверности измерений ионометрической аппаратуры // Вестник Казанского государственного технического университета им. А. Н. Туполева. Казань: Изд-во КГТУ им. А. Н. Туполева. 1996. № 1. С. 23–26.
6. *Маслаев В. В.* Измеритель концентрации отрицательных аэроионов. Патент РФ. № 2077713. 1997.
7. *Матизен Р. Л., Юмс Э. Ю.* Счетчики аэроионов УТ-6914 и УТ-7406 // Ученые записки Тартуского гос. университета. Вып. 348. 1975. С. 24–29.
8. *Мещеряков А. Ю., Федотов Ю. А.* Проблемы оценивания аэроионного состояния среды обитания // Приборы и системы управления. 1998. № 11. С. 75–79.
9. Описание прибора «Air Ion Counter». Интернет-сайт компании AlphaLab Inc.: http://www.trifield.com/ion_detector.htm.
10. Описание прибора «Air Ion Density Meter» (Model 115). Интернет-сайт компании Ion systems: <http://www.ion.com/storage/datasheets/115.html>.
11. Описание прибора «Air ionizer tester/field meter» (3M Model 713). Интернет-сайт торговой компании Techni-tool: <http://www.techni-tool.com/3m/780st713.html>.
12. Описание прибора «Charged Plate Monitor» (Model 210). Интернет-сайт компании Ion Systems: <http://www.ion.com/storage/datasheets/210.html>.
13. Описание прибора «Periodic Verification System» (Model 775pvs). Интернет-сайт компании Ion Systems: <http://www.ion.com/storage/datasheets/775pvs.html>.
14. Описания приборов «Ionmeter T-100» и «Ionmeter T-111». Интернет-сайт компании Transjonic AB: <http://www.transjonic.nu/et100.htm>.
15. Проблемы электроаэрозолей. Материалы научно-технического совещания в Тарту 15–17 сентября. Тарту, 1969. 93 с.
16. *Столяров Л. И., Устинов Ю. С., Нельсон И. А.* Счетчик аэроионов. Авторское свидетельство СССР. № 1469433. 1989.
17. Счетчик аэроионов «УТ-9106». Краткое описание и инструкция пользователя. Тарту, 1996. 14 с.
18. Счетчик ионов «Сапфир-3К». Паспорт, техническое описание, инструкция по эксплуатации. 1999.
19. *Сушко Б. К., Бахтизин Р. З., Ивлев Л. С.* Измерение объемного заряда аэрозольных частиц // Заводская лаборатория. 1989. № 10. С. 35–38.
20. *Таммет Х. Ф.* Аспирационный метод измерения спектра аэроионов // Ученые записки Тартуского гос. университета. Вып. 195. Тарту, 1967. 232 с.
21. *Таммет Х. Ф.* Система обработки наблюдений для одноканального спектрометра аэроионов // Ученые записки Тартуского гос. университета. Вып. 320. Тарту, 1973. С. 36–47.
22. *Таммет Х. Ф., Миллер Ф. Г., Матизен Р. Л., Эвель Я. Р.* Малогабаритный аэроиннометр высокой предельной подвижности // Ученые записки Тартуского гос. университета. Вып. 809. 1988. С. 95–101.
23. *Таммет Х. Ф., Шварц Я. М.* Устройство для измерения электропроводности воздуха. Авторское свидетельство СССР. № 464881. 1975.

24. Таммет Х. Ф., Якобсон А. Ф. Автоматическое управление одноканальным спектрометром аэроионов // Ученые записки Тартусского гос. университета. Вып. 320. Тарту, 1973. С. 27–35.
25. Таммет Х. Ф., Якобсон А. Ф., Сальм Я. И. Многоканальный автоматический спектрометр аэроионов // Ученые записки Тартуского гос. университета. Вып. 320. Тарту, 1973. С. 48–75.
26. Чалмерс Дж. А. Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 421 с.
27. Knudsen E., Israelsson S. Mobility spectrum of ions in space charges // Proceedings of the 9th international conference on atmospheric electricity. 1992. Vol. 2. P. 548–551.
28. Lovelock P. A. Ion meter // Radio-electronics. 1990. Vol. 61. № 3. P. 35–38, 70.
29. Sacristan E. Ion mobility method and device for gas analysis. United States patent № 5, 455, 417. 1995.
30. Schwierzke J., Stiehl H.-H., Lohr J. Apparatus for measuring ions in a clean room gas flow using a spherical electrode. United States patent № 5, 506, 507. 1996.
31. Siksna R. Some topics concerning experimental investigation of air ions // Proceedings of the international conference on ionization of the air. Philadelphia. 1961. P. 1–25.