

УДК 389.6.550.832

**МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ  
ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ И ТЕПЛОВЫХ  
ИСТОЧНИКОВ В ВИДИМОЙ И ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТЯХ  
СПЕКТРА**

**Р.С. Асатрян<sup>1</sup>, Г.С. Караян<sup>2</sup>, Н.Р. Хачатрян<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ЗАО “Национальный институт метрологии” РА

<sup>2</sup> Ереванский государственный университет

Представлены результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке и изготовлению оптико-электронных приборов экологического назначения для исследования основных физико-экологических параметров земной атмосферы, а также воздушного мониторинга лесных массивов (с целью обнаружения очагов пожаров на ранней стадии их развития) и магистральных трубопроводов природного газа. Обсуждаются вопросы метрологического обеспечения оптико-электронных измерений прозрачности атмосферы, параметров газоаэрозольного загрязнения, источников теплового излучения в видимой и инфракрасной областях спектра, а также горячих газовых выбросов в атмосферу. Проведены исследования по разработке методов измерения параметров газоаэрозольной составляющей в окружающей атмосфере. Изучены условия метрологического обеспечения дистанционного мониторинга газоаэрозольных загрязнений в атмосфере. Результаты экспериментальных исследований метрологических характеристик разработанных приборов (оптико-электронный измеритель прозрачности атмосферы под названием “Полевой оптико-метеорологический пост-автомат (ПОМПА)”); универсальный инфракрасный спектральный радиометр “УРС-А” для проведения спектральных и радиометрических исследований параметров атмосферы тепловых объектов; многоканальный аэрозольный спектрометр “Масник-А” для измерения концентраций и распределения по размерам жидких и твердых частиц аэрозольных образований естественного и искусственного происхождения в лабораторных и полевых условиях) подтверждают высокую точность измерений.

Мобильный вариант комплекса созданных измерительных приборов может успешно применяться для оперативной оценки физико-экологического состояния окружающей атмосферы, а также дистанционных исследований тепловых объектов. Разработанная методика и соответствующая аппаратура обеспечивают проведение оперативного дистанционного спектрального анализа выбрасываемых в атмосферу горячих промышленных газовых образований.

**Ключевые слова:** прозрачность атмосферы, жидкие и твердые аэрозольные образования, дистанционный инфракрасный мониторинг, очаги пожаров, газовые выбросы в атмосферу.

**Введение.** В настоящее время интерес к экологическим проблемам резко возрос, что связано прежде всего с постоянно увеличивающимся загрязнением окружающей среды. Согласно последним данным по исследованию атмосферных загрязнений в индустриально развитых странах, основными источниками загрязнений являются промышленные, энергетические предприятия и транспорт, на долю которых приходится более 80% от общего объема загрязнений. При этом основными компонентами загрязнения атмосферы являются газообразные соединения углерода, азота и серы, а также твердые и жидкие аэрозольные образования, которые представляют особую опасность для нормальной жизнедеятельности человека и других биологических объектов. Значительное загрязнение воздушного пространства и его сокрушительное воздействие на здоровье человека, микроклимат и растительность обусловлены также макроскопическими утечками (иногда - выбросами) природного газа из магистральных трубопроводов и обширными пожарами, в частности, лесных массивов.

Поэтому создание оптико-электронных приборов и систем с лучшими метрологическими параметрами, позволяющих осуществлять оперативный анализ основных физико-экологических параметров и постоянный мониторинг атмосферы, а также воздушный инфракрасный (ИК) экологический контроль обширных лесных массивов (с целью обнаружения очагов пожаров на ранней стадии их развития) и магистральных трубопроводов природного газа, является весьма актуальной задачей.

В настоящей работе представлены результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке и изготовлению оптико-электронных приборов экологического назначения для исследования основных физико-экологических параметров земной атмосферы, а также воздушного мониторинга лесных массивов и магистральных газотрубопроводов. Обсуждаются вопросы метрологического обеспечения измерений прозрачности атмосферы, параметров газоаэрозольного загрязнения, источников теплового излучения, а также горячих газовых выбросов в атмосферу.

**1. Оптико-электронный измеритель прозрачности атмосферы.** Измерительный комплекс под названием “Полевой оптико-метеорологический пост-автомат (ПОМПА)” [1] предназначен для непрерывного измерения метеорологической дальности видимости ( $S_M$ ) или показателя ослабления ( $\alpha(\lambda)$ ) атмосферы в диапазоне длин волн от 0,35 до 1,1 мкм и автоматической обработки результатов спектральной прозрачности атмосферы в диапазоне от 1 до 14 мкм.

Комплекс “ПОМПА” состоит из двух блоков: оптико-механического блока (ОМБ) и пульта электронного управления (ПЭУ). Оптическая схема блока ОМБ показана на рис.1.

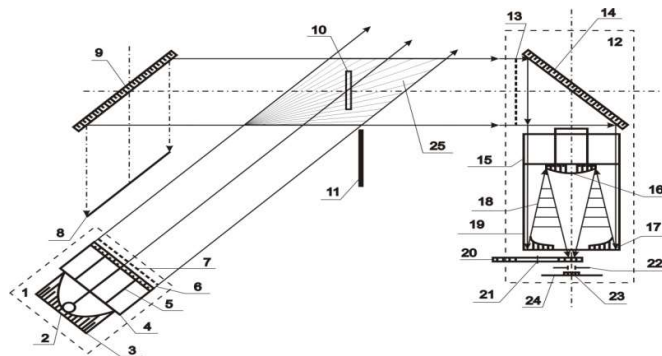


Рис. 1. Оптическая схема ОМБ измерителя спектральной прозрачности атмосферы: 1 - осветитель; 2 - лампа ИСШ-100-5; 3 - зеркало параболическое; 4,15 - сотовая бленда; 5,11 - экран; 6,23 - защитное стекло; 7,13 - цирисовая диафрагма; 8 - гаситель света; 9 - зеркало "черное"; 10 - контрольный рассеиватель; 12 - фотометр; 14 - зеркало плоское; 16,17 - зеркальный объектив; 18 - бленда круглая; 19 - бленда цилиндрическая; 20 - светофильтр; 21 - ось вращения; 22 - диафрагма; 24 - плоскость фотоэлектронного умножителя (ФЭУ), 25 - рабочий объем прибора

Оптико-электронный тракт прибора формируется из трех каналов; измерительного, фонового и контрольного. В отличие от выносного ОМБ, который работает непосредственно в атмосфере, ПЭУ и регистрирующая часть комплекса могут находиться в помещении или в кузове автолаборатории и на расстоянии управлять работой аппаратуры.

При натуральных измерениях в атмосфере расчет показателя ослабления атмосферы  $\alpha(t_i)$  и метеорологической дальности видимости  $S_M(t_i)$  в произвольный момент времени  $t_i$  в абсолютных единицах проводится на основе измерений сигналов по измерительному  $U_1(t_i)$ , фоновому  $U_2(t_i)$  и контрольному  $U_3(t_i)$  каналам согласно соотношениям

$$\alpha(t_i) = A \cdot (U_3^0 / U_3(t_i)) (U_1(t_i) - U_2(t_i)), \quad (1)$$

$$S_M(t_i) = 3,91 / \alpha(t_i) \quad (2)$$

на длине волны  $\lambda = 0,55$  мкм.

Существенным преимуществом разработанного нами вышеописанного оптико-электронного комплекса "ПОМПА", по сравнению с эксплуатируемыми в настоящее время (особенно на службах авиации) аналогичными приборами [2], является возможность обеспечения периодического контроля чувствительности аппаратуры во время эксплуатации и проведения всех измерений на фоне "черного" зеркала, что обеспечивает высокую чувствительность приемной системы.

## 2. Метрологические характеристики аппаратуры “ПОМПА”.

Метрологическая аттестация аппаратуры “ПОМПА” проводилась согласно специально разработанной программе (АЕЛ2.766.000ПМА) [3]. При аттестации определены метрологические характеристики аппаратуры, указанные в табл.1.

Таблица 1

Метрологические параметры аппаратуры “ПОМПА”

| Наименование метрологической характеристики и единицы измерения  | Ном. значения         | Допустимые отклонения |
|--|-----------------------|-----------------------|
| Чувствительность аппаратуры на четырех рабочих длинах волн к величине коэффициента ослабления атмосферы, $км^{-1}/мВ$              | A <sub>1</sub> (0,35) | ±15%                  |
|  | A <sub>2</sub> (0,55) | ±15%                  |
|  | A <sub>3</sub> (0,70) | ±15%                  |
|  | A <sub>4</sub> (1,10) | ±15%                  |
| Отношение чувствительности аппаратуры при измерениях в чистом воздухе и углекислом газе  | 2,61                  | ±0,03                 |
| Среднеквадратическое значение основной относительной погрешности прибора при измерении коэффициента ослабления атмосферы, не более |                       | ±15%                  |

Экспериментальные исследования метрологических характеристик аппаратуры “ПОМПА” проводились в камере для оптической градуировки, описание которой представлено в [4]. Перечень всех средств, применяемых при аттестации аппаратуры, со своими классами точности представлен в [3].

Аттестации подлежит чувствительность аппаратуры “ПОМПА” к величине коэффициента ослабления атмосферы. Она определяется путем регистрации выходного электрического сигнала аппаратуры при измерении показателя ослабления в чистой газовой среде.

Выходной электрический сигнал аппаратуры “ПОМПА” линейно связан с коэффициентом ослабления атмосферы, и зависимость  $U=f[\alpha(\lambda)]$  может быть нормирована в качестве основной метрологической характеристики аппаратуры.

Основным метрологическим параметром в формуле (1) является чувствительность аппаратуры A(0,55). Основная погрешность измерения чувствительности аппаратуры складывается из погрешностей измерительных цепей и погрешностей определения коэффициентов. Дополнительная погрешность аппаратуры связана с воздействием таких дестабилизирующих факторов, как изменение температуры окружающей атмосферы, изменение напряжения питания, вибрационные нагрузки и др.

Метрологическому контролю подвергается пороговая чувствительность A(0,55) прибора, погрешность измерения которой не более ±15% (при отношении

сигнал/шум, равном 2,8). При изменении температуры окружающей среды от 273 до 313 К (от 0 до 40 °С) дополнительная погрешность выходных сигналов не превышает 20% от основной погрешности.

**3. Универсальный ИК спектральный радиометр “УСР-А”.** С целью проведения спектральных и радиометрических исследований параметров атмосферы и тепловых объектов в области длин волн от 0,4 до 14 мкм нами был разработан и изготовлен универсальный спектральный радиометр “УСР-А”, подробное описание и принцип работы которого представлены в работах [5, 6]. “УСР-А” предназначен для измерения спектральной плотности энергетической яркости и радиационной температуры (или их перепадов) точечных и протяженных источников ИК излучения в лабораторных и полевых условиях, а также дистанционного спектрального анализа горячих газовых объектов.

Конструктивно спекторрадиометр выполнен в виде двух блоков: ОМБ и блока электронного управления (БЭУ). Электрическая связь между блоками осуществляется посредством кабелей. Полный рабочий спектральный диапазон прибора покрывается с помощью трех комплектов сменных светофильтров и фотоприемников в поддиапазонах: 0,4...1,1; 2,5...5,5 и 8...14 мкм. Оптическая схема ОМБ показана на рис. 2.

БЭУ - конструктивно настольного исполнения. Все органы индикации и управления расположены на передней панели БЭУ.

Отметим некоторые преимущества разработанного нами ИК спекторрадиометра “УСР-А” по сравнению с существующими близкими аналогами (см., например, [7]). Для расширения функциональных возможностей в области спектральных исследований тепловых объектов, кроме широкополосных интерференционных светофильтров для участков спектра 0,4...1,1; 2,5...5,5 и 8...14 мкм, прибор снабжен также кольцевыми перестраиваемыми светофильтрами [8].

С целью устранения хроматических aberrаций в оптическую систему прибора включены две пары (см. рис. 2) зеркальных проекционных объективов, в фокусах которых установлены светофильтры и приемная площадка фотоприемников.

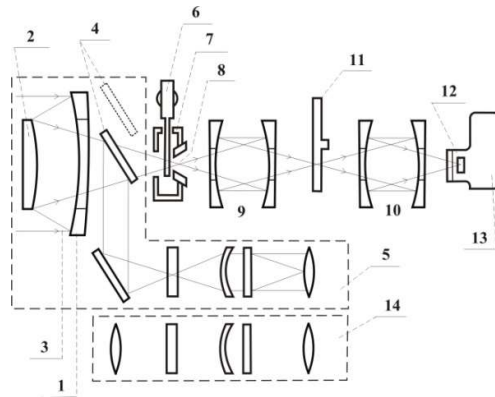


Рис. 2. Оптическая схема ОМБ: 1 - первичное зеркало объектива; 2 - вторичное зеркало объектива; 3 - излучение от объекта; 4 - убирающееся плоское зеркало; 5 - визир; 6 – модулятор; 7 - опорная полость; 8 - полявая диафрагма; 9,10 - проекционный объектив; 11 - диск с интерференционными светофильтрами; 12 - чувствительная площадка фотоприемника; 13 - дьюар для жидкого азота; 14 - зрительная трубка

Отметим, что после некоторой конструкторской доработки в оптической схеме спектро радиометра “УСР-А” (добавление входного отклоняющего зеркала) в работе [10] подробно описан метод воздушного экологического контроля лесных массивов и магистральных газопроводов.

**4. Метрологические характеристики универсального спектро радиометра “УСР-А”.** Метрологическая аттестация универсального спектро радиометра проводилась согласно специально разработанной программе (АЕЛ2.807.007ПМА, [9]). При аттестации определены метрологические характеристики прибора, указанные в табл. 2. При проведении метрологической аттестации спектро радиометра “УСР-А” применялись необходимые измерительные приборы и средства, указанные в [10]. В этой же работе представлены условия и порядок проведения аттестации. Измерения по определению разности радиационных температур, эквивалентной шуму  $\Delta T_{\text{э,ш}}$ , проводились на установке, схема которой приведена в [10]. Величина разности температур, эквивалентной шуму  $\Delta T_{\text{э,ш}}$ , определялась по формуле  $\Delta T_{\text{э,ш}} = \frac{U_{\text{ш}}}{K_{\Delta T}}$ , она оказалась равной 0,05 в пределах  $\pm 10\%$ .

Для определения основной приведенной погрешности измерения спектро радиометром разности радиационных температур на установке аттестации устанавливались температуры абсолютно черного тела (АЧТ) в интервале от 288 до 298 и с шагом в 1 К, пять раз регистрировались выходные

сигналы прибора. Среднеквадратическое отклонение результата измерений определялось по формуле

$$S_{U_{cp}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_{cpi} - U_{cp})^2}{n(n-1)}}$$

Приведенная погрешность спектро радиометра при измерении разности радиационных температур оказалась в пределах  $\pm 15\%$ .

Таблица 2

Метрологические параметры аппаратуры "УСР-А"

| Наименование метрологических характеристик и единицы измерения   | Ном. значения | Допустимые отклонения | Примечание               |
|--|---------------|-----------------------|--------------------------|
| Рабочие спектральные диапазоны, мкм  |               |                       |                          |
| I канал  | 0,40-1,1      | $\pm 10\%$            | Обеспечиваются фильтрами |
| II канал   | 2,50-5,50     | $\pm 10\%$            |                          |
| III канал  | 7,90-13,5     | $\pm 10\%$            |                          |
| Поле зрения, мрад, не более  |               |                       |                          |
| I канал  | 3             | $\pm 10\%$            |                          |
| II канал   | 3             | $\pm 10\%$            |                          |
| III канал  | 3             | $\pm 10\%$            |                          |
| Разность радиационных температур, эквивалентная шуму, $\Delta T_{э,ш}$ , К, не более   |               |                       |                          |
| II канал   | 0,05          | $\pm 10\%$            |                          |
| III канал  | 0,05          | $\pm 10\%$            |                          |
| Основная приведенная погрешность измерения разности радиационных температур в диапазоне $0,5 \dots 20^0$ на уровне $293 \pm 5$ К, не более |               |                       |                          |
| II канал   |               | $\pm 15\%$            |                          |
| III канал  |               | $\pm 15\%$            |                          |

**5. Методы воздушного ИК мониторинга лесных массивов и магистральных трубопроводов природного газа.** Наряду с широким кругом

актуальных экологических и экономических проблем следует отметить еще одну важную проблему, связанную с утечкой нефти и газа, их обнаружением и устранением. Своевременное обнаружение малых утечек и их ликвидация позволяют избежать крупных аварий, которые наносят большой вред окружающей среде и приводят к колоссальным потерям. Актуальность проблемы подтверждается также тем фактом, что для контроля европейских газопроводов крупнейшие дистрибьюторы природного газа совместно с двумя европейскими космическими агентствами создали консорциум для разработки и вывода на орбиту спутника, оснащенного соответствующей аппаратурой.

Ограничиваясь далее проблемой утечки природного газа, отметим также, что метан вызывает более сильный парниковый эффект, чем углекислый газ, хотя и имеет намного меньшую концентрацию в атмосфере. Основным искусственным источником газового загрязнения атмосферы являются утечки природного газа, который на 95% состоит из метана. Однако проблема усугубляется еще и тем, что магистральные трубопроводы, в основном, проходят по малообжитым и труднодоступным местностям, где контроль особенно затруднен. Незаменимы также исследовательские комплексы для раннего обнаружения очагов пожаров, возникающих во время природных бедствий.

Очевидно, что разработка современных дистанционных и эффективных методов экологического контроля обширных лесных массивов, а также магистральных газопроводов более чем актуальна. В данной ситуации единственным способом является дистанционный контроль с воздушного аппарата [11] (например, с вертолета) при облете на высоте до 1000 м.

ИК радиометр устанавливается на вертолете и с помощью отклоняющего плоского зеркала своим полем зрения ( $3 \text{ мрад}$ ) сканирует (через нижний люк по ходу движения вертолета) земную поверхность по магистралям газопроводов. При наличии макроскопических утечек газа в этой области пространства радиационная температура (в диапазоне длин волн от 8 до 14  $\mu\text{м}$ ) значительно падает [12], что и регистрируется блоком электронного управления. При высоте полета вертолета 200 м радиометр на земле охватывает полем зрения поверхность радиусом около 6 м, а при полете на высоте 150 м  $\sim 2,5 \text{ м}$ . Аналогичным образом сканируется земная поверхность по лесным массивам.

При наличии очагов пожара в этой области пространства радиационная температура (в диапазоне длин волн от 2,5 до 5,5  $\mu\text{м}$ ) значительно возрастает, что и регистрируется БЭУ. При высотах полета вертолета 200, 500 и 700 м в радиометр на земле охватывает полем зрения поверхность площадью около 120, 750 и 1500  $\text{кв.м}$  соответственно. При скорости вертолета 150...200  $\text{км/ч}$  время одного цикла измерения - порядка 0,1 с.

Применение настоящего метода дистанционного экологического контроля протяженных трубопроводов природного газа, а также обширных лесных



массивов, несомненно, приведет к значительной технико-экономической эффективности и будет иметь большое значение при решении проблемы контроля загрязнения атмосферы выбросами природного газа и предотвращения возникновения пожаров, особенно крупных масштабов.

**6. Многоканальный аэрозольный спектрометр.** Разработанный многоканальный аэрозольный спектрометр “Масник-А” [13] представляет собой оптико-электронное автоматическое устройство для измерения концентраций и распределения по размерам жидких и твердых частиц аэрозольных образований естественного и искусственного происхождения в лабораторных и полевых условиях.

Конструктивно спектрометр состоит из двух блоков: оптико-электронного датчика (ОЭД) и блока отсчета и управления (БОУ), соединенных между собой кабелем. Принцип действия прибора основан на измерении интенсивности излучения, рассеянного на аэрозольных частицах. Оптическая схема ОЭД показана на рис. 3.

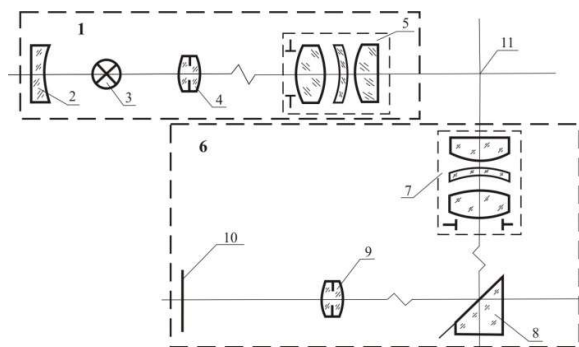


Рис. 3. Оптическая схема спектрометра “Масник-А”:

1 - осветитель; 2 - зеркало сферическое; 3 - лампа осветительная; 4,9 - конденсор со встроенной полевой диафрагмой; 5,7 - проекционные объективы; 6 - фотометр; 8 - зеркало плоское; 10 - чувствительная площадь фотоприемника; 11 - область рабочего объема

Оптические системы осветителя и фотоприемника (рис. 3) предназначены для оптического формирования счетного объема (поз. 11) датчика. Датчик представляет собой светящийся кубик с дискретным изменением размеров, что достигается заменой полевых диафрагм, которые нанесены на плоские склеиваемые поверхности конденсоров.

Оптико-электронный датчик состоит из системы аспирации, оптической системы, блоков питания и предварительной обработки информации. Система аспирации состоит из заборного патрубка, выходного патрубка и микронагнетателя со встроенным расходомером (рис. 4).

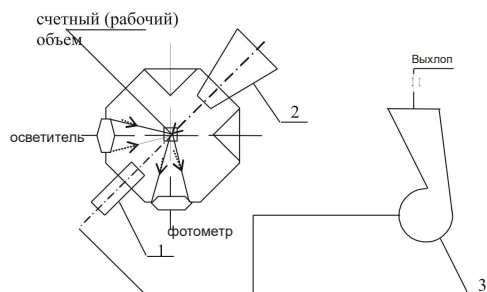


Рис. 4. Система аспирации аэрозольного спектрометра “Масник-А”:  
1 - выходной патрубок, 2 - входной патрубок, 3 - микронагнетатель

Оптическая система фотоприемника идентична оптической системе осветителя, за исключением того, что в ней отсутствует сферическое зеркало, а на месте расположения тела накала источника света помещается приемная площадка фотоприемника. В качестве фотоприемника использован фотоэлектронный умножитель (ФЭУ-79).

Оптическая система осветителя обеспечивает перенос изображения тела накала лампы в область счетного объема, находящегося на оси заборного патрубка системы аспирации. Из системы аспирации (рис. 4) струя аэрозоля через вход заборного патрубка направляется к пучку световых лучей. В результате этого аэрозольные частицы, попадающие в наиболее концентрированную область светового потока, рассеивают свет, часть которого собирается объективом приемной системы и через ее полевую диафрагму направляется на приемную площадку фотоприемника. Полевые диафрагмы осветителя и приемника позволяют выделить область счетного объема, в пределах которого происходит анализ размеров аэрозольных частиц и подсчет их количеств.

В момент прохождения каждой аэрозольной частицы через счетный объем ОЭД на выходе фотоприемника появляются импульсные электрические сигналы, амплитуда которых несет информацию о размерах частиц. Далее эти аналоговые сигналы усиливаются и преобразуются в пятиразрядный цифровой код и поступают в блок обработки информации, который производит амплитудный анализ импульсов на 18-ти каналах и их регистрацию с учетом заданных ограничений для дискриминации по длительности.

Микропроцессор производит инициализацию всех функциональных узлов спектрометра и обработку поступающей информации. Результаты измерений микропроцессора выводятся на индикацию, а также, по желанию оператора, через соответствующие устройства сопряжения выводятся на печать и персональный компьютер (ПК). Информация управления может поступать в

микропроцессор как с клавиатуры БОУ, так и из ПК через устройство сопряжения. Функциональная блок-схема спектрометра показана на рис. 5.

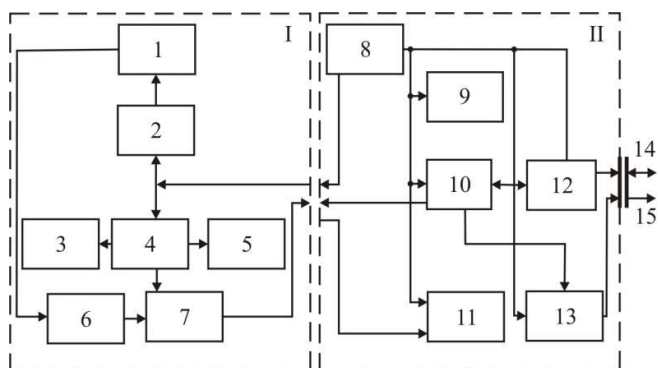


Рис. 5. Функциональная блок-схема спектрометра “Масник-А”:  
 I - ОЭД; 1-ФЭУ-79; 2 - блок питания ФЭУ-79; 3 - лампа накаливания; 4 - блок питания микронагнетателя; 5 - микронагнетатель; 6 - предусилитель ФЭУ-79; 7 - блок компараторов; II-БОУ; 8 - блок питания; 9 - клавиатура и индикация; 10 – микропроцессор; 11 - блок обработки информации; 12 - устройство сопряжения с РС; 13 - устройство сопряжения с термопечатающим устройством (ТПУ); 14 - выход к РС; 15 - выход к ТПУ

Перед проведением натурных измерений в атмосфере проводится оптическая градуировка спектрометра по стандартным частицам полистирольного латекса [14].

Преимуществом разработанного нами аэрозольного спектрометра, по сравнению с эксплуатируемыми в настоящее время аналогичными приборами [9], является возможность изменения (при эксплуатации прибора) размеров полевых диафрагм осветителя и фотометра, что, в свою очередь, приводит к изменению геометрических размеров рабочего объема (или счетного объема, см. рис. 3) и, как следствие, значительному расширению диапазона измеряемых счетных концентраций аэрозольных частиц из окружающего пространства, а также конструктивному исполнению спектрометра “Масник-А” в двух блоках, эксплуатация которых обеспечивает безопасность обслуживающего оператора от возможного вредного воздействия окружающего аэрозоля.

**7. Метрологические характеристики многоканального аэрозольного спектрометра “Масник-А”.** Метрологическая аттестация многоканального аэрозольного спектрометра “Масник-А” проводилась согласно специально разработанной программе АЕЛ2.851.002ПМА [15]. При аттестации определены метрологические характеристики прибора, представленные в табл. 3.

Таблица 3

## Метрологические параметры аппаратуры "Масник-А"

| Наименование метрологических характеристик и единицы измерения   | Допустимые отклонения |
|--|-----------------------|
| Относительная погрешность воспроизводимости градуировочной характеристики прибора при регистрации монодисперсных эталонных частиц аэрозоля, не более | ±15%                  |
| Относительная погрешность измерения размеров аэрозольных частиц в диапазоне размеров от 0,4 до 40 мкм (по радиусу), не более                         | ±20%                  |

Перечень всех средств, условий, а также порядок и описание измерительной установки для проведения метрологической аттестации изложены в [15].

Относительная погрешность воспроизводимости градуировочной характеристики прибора определяется по формуле

$$\delta_g = \frac{d_u - d_0}{d_0} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где  $d_0$  - номинальный размер применяемых эталонных частиц аэрозоля;  $d_u$  – измеренные значения частиц, мкм. Отклонение воспроизводимости градуировочной характеристики прибора оказалось в пределах ±15%.

Для оценки относительной погрешности измерения размеров аэрозольных частиц были выполнены все операции, изложенные в [14], и для частиц размером 0,5 мкм.

Согласно формуле (3) определена относительная погрешность измерения размеров аэрозольных частиц, которая оказалась в пределах ±20%.

При изменении температуры окружающей среды от -40 до 40 °С дополнительная погрешность измерения размеров аэрозольных частиц не превышает 20% от относительной погрешности измерений.

Отметим, что на вышеописанные оптико-электронные системы нами оформлены три патента на изобретения.

**Заключение.** Разработанные оптико-электронные системы предоставляют возможность для проведения дистанционных исследований физико-экологических параметров атмосферы и ИК источников, а также аэрозольной составляющей в окружающем пространстве.

Результаты экспериментальных исследований метрологических характеристик разработанных приборов подтверждают высокую точность измерений.

Разработанный метод воздушного ИК мониторинга может широко применяться при дистанционном экологическом контроле лесных массивов и магистральных трубопроводов природного газа.

Мобильный вариант комплекса созданных измерительных приборов может успешно применяться для оперативной оценки физико-экологического состояния окружающей атмосферы, а также дистанционных исследований тепловых объектов.

Разработанная методика измерений и соответствующая аппаратура обеспечивают проведение оперативного дистанционного спектрального анализа выбрасываемых в атмосферу горячих промышленных газовых образований.

### Литература

1. Полевой оптико-метеорологический пост-автомат /**Р.С. Асатрян, С.Р. Асатрян, Г.Г. Геворкян** и др. // ПТЭ.- 2003.- №4.- С.125-126.
2. Руководство по практике наблюдения за дальностью видимости на ВПП и передача сообщений о ней// Международная организация гражданской авиации. Измерители прямого рассеяния. – Док. 9328 - AN/908.- Изд. 2-е.- 2000.- С.49-53.
3. **Асатрян Р.С.** Разработка и изготовление полевого оптико-метеорологического поста-автомата (“ПОМПА”): Отчет НИОКР (заключ.) п/я -А-1376, №0928-ДСП.- Ереван, 1987.-113с.
4. Установка оптической калибровки измерителя прозрачности атмосферы /**Р.С. Асатрян, С.Р. Асатрян, Г.Г. Геворкян** и др. // ПТЭ.- 2004.- №6.- С.132-133.
5. Universal Infrared Spectrial Radiometer /**R.S. Asatryan, R.A. Epremian, H.G. Gevorkyan**, et al // Intern. Journal of IR and MM Waves.-2003.-V.24, №6.-P.1035-1046.
6. IR Spectral Method of Monitoring the Industrial Gas Ejections in Atmospere /**R.S. Asatryan, Yu.A. Abrahamyan, H.G. Gevorkyan**, et al // Dubai Intern. Confer. on Atmospheric Pollufion, 21-24 febr. 2004.- Dubai, UAE, 2004.- P. 134-139.
7. Patent Internationally U. S. Pat. 3476914. Dual Channel Radiometer.- 1998.
8. Кольцевые перестраиваемые оптические фильтры для области спектра от 1,8 до 5,6 мкм.- ОСТ-5683-84.
9. **Шмаргунов В.П., Полькин В.В.** Счетчик аэрозольных частиц на базе АЗ-5 // ПТЭ.- 2007.- № 2.- С. 165.
10. **Асатрян Р.С.** Разработка и изготовление ИК спектрорадиометра “Клин”: Отчет НИОКР (заключ.) п/я- А-1376: № 4115-ДСП.- Ереван, 1987.- 143с.
11. **Asatryan R.S., Khachatryan N.R., Karayan H.S.** On the Method of Distant Infrared Monitoring of Forest Spaces and Ctas Main Pipelines // American Research Journal of Agriculture.- April 2015.- Vol.1, issue 2.- P 1-6.
12. **Шилин Б.В., Молодчинин И.А.** Контроль состояния окружающей среды тепловой аэрозольной.- М.: Недра, 1992.- 128 с.
13. Многоканальный аэрозольный спектрометр /**Р.С. Асатрян, С.Р. Асатрян, Л.А. Вардумян** и др. // ПТЭ.- 2004.- № 4.- С. 166-167.
14. **Асатрян Р.С., Сидоренко В.И.** Оптическая градуировка аэрозольного спектрометра // Тез. докл. III Республ. научн-техн. конф. “Новые достижения в области приборостроения”.- Ереван, 1987.- С.29.

15. **Асатрян Р.С.** Разработка и изготовление аэрозольного спектрометра “Альтернатива”:  
Отчет НИОКР (заключ.) п/я- А-1376: № 1228-ДСП.- Ереван, 1986.- 128с.

*Поступила в редакцию 25.10.2017.  
Принята к опубликованию 13.12.2017.*

**ՄՊԵԿՏՐԻ ՏԵՍԱՆԵԼԻ ԵՎ ԻՆՖՐԱԿԱՐՄԻՐ ՏԻՐՈՒՅԹՆԵՐՈՒՄ ՄԹՆՈՒՆՏԻ ԵՎ  
ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԱՂԲՅՈՒՐՆԵՐԻ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՕՊՏԻԿԱ-ԷԼԵԿՏՐՈՆԱՅԻՆ  
ՉԱՓՈՒՄՆԵՐԻ ՉԱՓԱԲԱՆԱԿԱՆ ԱՊԱՀՈՎՈՒՄԸ**

**Ռ.Ս. Ասատրյան, Հ.Ս. Կարայան, Ն.Ռ. Խաչատրյան**

Ներկայացված են երկրի մթնոլորտի ֆիզիկա-քիմիական պարամետրերի, ինչպես նաև անտառային զանգվածների օդային մոնիթորինգի (նախնական փուլում հրդեհների օջախների հայտնաբերման) նպատակով բնապահպանական նշանակությամբ օպտո-էլեկտրոնային սարքերի մշակման և պատրաստման գիտահետազոտական և փորձակոնստրուկտորական աշխատանքների արդյունքները: Քննարկված են մթնոլորտի թափանցիկության, գազաաերոզոլային աղտոտման պարամետրերի, սպեկտրի տեսանելի և ինֆրակարմիր տիրույթներում ջերմային ճառագայթման աղբյուրների, ինչպես նաև մթնոլորտ գազային ջերմային արտանետումների օպտո-էլեկտրոնային չափումների չափաբանական ապահովման հարցերը: Ներկայացված են շրջակա մթնոլորտի վերաբերյալ հետազոտությունները: Ուսումնասիրվել են մթնոլորտում գազաաերոզոլային աղտոտման հեռահար մոնիթորինգի չափաբանական ապահովման պայմանները: Մշակված սարքերի (մթնոլորտի թափանցիկության օպտո-էլեկտրոնային չափիչ՝ «Դաշտային օպտո-չափագիտական ավտոմատ-կայան (ԴՕՉԱԿ)» անվանումով, ունիվերսալ ինֆրակարմիր սպեկտրային ռադիոչափ (ՄՔ-Ա)՝ մթնոլորտային ջերմային օբյեկտների սպեկտրային և ռադիոչափական հետազոտությունների համար, աերոզոլային բազմափուլ սպեկտրաչափ՝ «Մասնիկ-Ա»՝ արհեստական և բնական հեղուկ և պինդ մասնիկների աերոզոլային գոյացումների կոնցենտրացիաների և ըստ չափերի բաշխման՝ լաբորատոր և դաշտային պայմաններում չափման համար) փորձարարական հետազոտությունների արդյունքները հաստատում են չափումների բարձր համապատասխանությունը:

Ստեղծված չափիչ սարքերի համալիրի շարժական տարբերակը կարող է հաջողությամբ կիրառվել շրջակա մթնոլորտի ֆիզիկա-քիմիական պարամետրերի վիճակի օպերատիվ գնահատման, ինչպես նաև ջերմային օբյեկտների հեռահար ուսումնասիրման համար: Մշակված մեթոդիկան և համապատասխան սարքավորումներն ապահովում են մթնոլորտ արտանետված արդյունաբերական գազային ջերմային գոյացությունների հեռահար օպերատիվ սպեկտրային վերլուծությունը:

**Առանցքային բաներ.** մթնոլորտի թափանցիկություն, հեղուկ և պինդ աերոզոլային գոյացություններ, ինֆրակարմիր հեռահար մոնիթորինգ, հրդեհի օջախներ, գազային արտանետումներ մթնոլորտ:

## **METROLOGICAL PROVISION OF OPTICAL-ELECTRONIC MEASUREMENTS OF THE ATMOSPHERE AND HEAT SOURCE PARAMETERS IN THE VISIBLE AND INFRARED AREAS OF THE SPECTRUM**

**R.S. Asatryan, H.S. Karayan, N.R. Khachatryan**

The results of scientific-research and experimental-designing activities for developing and producing optical-electronic ecological-purpose devices to investigate the main physical and ecological parameters of atmosphere, as well as the air monitoring of forest areas are presented (for the purpose of detecting the fire seats at early stages of their development) and the natural gas mains. Issues on the metrological provision of optical-electronic measurements of the atmosphere transparency, the gas-aerosol pollution parameters, the sources of heat radiation in the visible and infrared areas of the spectrum, as well as hot gaseous emissions into the atmosphere are discussed. Investigations to develop methods for measuring the parameters of the gas-aerosol component in the environment are carried out. Conditions for the distant monitoring of the gas-aerosol pollutions in the atmosphere are studied. The results of the experimental investigations of the metrological characteristics of the developed devices (the optical-electronic meter of the atmosphere transparency called “Field optical-metrological post-automat (FOMPA); the universal infrared spectral radiometer “UIS-A”” for carrying out spectral and radiometric investigations of the heat object atmosphere parameters; the multichannel aerosol spectrometer “Masnik-A” for measuring the concentrations and distributing by the sizes of liquid and solid particles of aerosol formations of natural and artificial origin in laboratory and field conditions) confirm the high accuracy of measurements.

The mobile version of the complex of the created measuring devices can be successfully applied for the quick estimation of the physical and ecological state of the environment, as well as the distant investigations of thermal objects. The developed method, and the adequate equipment allow to conduct an operative distant spectral analysis of hot industrial gasous formations emitted into the atmosphere.

**Keywords:** atmosphere transparency, liquid and solid aerosol formations, distant infrared monitoring, fire seats, gaseous emissions into the atmosphere.