

РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ОЗОНОМЕТРА М-124 В АНТАРКТИДЕ

Л.Н.ТУРЫШЕВ, В.Я.ВЕНЧИКОВ, В.Н.ДЕНИСЕНКО, А.Н.КРАСОВСКИЙ,
А.М.ШАПАМЯНСКИЙ (Белорусский государственный университет, ГГО им. А.И.Воейкова)

Озонометр М-124 разработан более четверти века назад специалистами ГГО им. А.И.Воейкова и ЦКБ ГМП (г. Обнинск) для обновления приборной базы наземной сети контроля состояния озонового слоя на территории СССР. При его разработке был учтен опыт длительной эксплуатации первого варианта прибора – озонометра М-83. Практически все озонометрические станции бывшего СССР и его стратегических союзников были укомплектованы этими приборами (всего произведено более 200 экземпляров), и до настоящего времени они составляют значительную часть Мировой озонометрической сети.

В настоящее время часть приборов по разным причинам (из-за старения светофильтров, неисправностей фотоприемника и системы регистрации, трудностей поставки систем батарейного питания, механического износа подвижных элементов) вышли из строя или находятся на грани прекращения измерений.

Представители многих стран СНГ, а также Болгарии, Вьетнама, Кубы и других государств выражают обеспокоенность состоянием приборов, используемых на их станциях. В сложившейся ситуации представляется целесообразным восстановить сеть озонометров М-124, обеспечить их модернизацию (с учетом современных технологических возможностей и элементной базы) и обслуживание. В связи с этим специалисты белорусского Национального научно-исследовательского центра мониторинга озоносферы и НИЦ дистанционного зондирования атмосферы ГГО им. А.И.Воейкова модернизировали прибор.

Первым шагом в этой работе стал анализ возможных инструментальных источников погрешностей измерения. Основные факторы, определяющие возможности озонометра М-124, – характеристики рабочих спектральных диапазонов, выделяемых светофильтрами (значения λ_{max} , полуширина полосы пропускания и их стабильность во времени), а также стабильность и чувствительность системы регистрации оптического сигнала, определяемые параметрами фотоприемного устройства и характеристиками электронной системы регистрации.

В базовой версии озонометра М-124 используются широкополосные фильтры, реализованные на основе комбинации цветных оптических стекол на основе стекла УФС-2, часть из них используется для подавления (в сочетании с относительно низ-

кой чувствительностью фотоэлемента Ф-4 в красной области спектра) излучения в дополнительной полосе пропускания 680–780 нм [1]. Первый светофильтр имеет максимум пропускания в области длин волн 305 нм. Максимум пропускания второго светофильтра сдвинут в область 326 нм. Ширина полосы пропускания обоих фильтров $\Delta\lambda = 20$ нм. При этом степень подавления излучения в красной области спектра, обеспечиваемая комбинацией цветных стекол, недостаточна для дальнейшего повышения точности измерения.

Отметим, что при используемых характеристиках полос пропускания определенное влияние на точность измерений оказывает эффект Форбса [2], проявляющийся в изменении (увеличении) эффективной длины волны пропускания фильтра при увеличении оптической толщины исследуемой среды. Наиболее просто минимизировать этот эффект – значительно уменьшить спектральный интервал, выделяемый фильтрами. В нашем случае оптимальна комбинация цветных стекол и интерференционных фильтров.

В СССР при разработке озонометра М-124 технология не позволяла создавать дешевые фильтры нужного качества, поэтому для оснащения прибора использовались только комбинации цветных стекол. В настоящее время можно изготовить достаточно стабильные фильтры с полушириной полосы пропускания 3–5 нм при пропускании в максимуме около 40 % и максимумами пропускания в области длин волн около 305 и 318 нм. Весь набор используемых компонентов оформляется в виде герметичного моноблока с защитными кварцевыми окнами.

Переход на новые системы фильтрации потребовал незначительной доработки узлов держателей фильтров. Дополнительное повышение стабильности характеристик рабочих спектральных диапазонов достигается за счет системы активной термостабилизации внутреннего объема озонометра. Фотоэлемент Ф-4 в озонометре М-124 имеет сурьмяно-цезиевый фотокатод с полосой чувствительности 200–650 нм при относительно низкой абсолютной чувствительности около 40 мкА/Вт на длине волны 400 нм и темновом токе около $5 \cdot 10^{-11}$ А [3].

Переход на новые системы спектральной фильтрации требует значительного повышения чувствительности фотоприемника и сокращения длинноволновой границы рабочего диапазона. Оптималь-

но соответствуют этим требованиям так называемые «солнечно-слепые» фотоэлементы с цезий-теллурическим фотокатодом (более детальную информацию можно найти на сайте www.hamamatsu.com). При длинноволновой границе чувствительности около 325 нм ее абсолютные значения на рабочих длинах волн лежат в диапазоне 0,2–1,0 мА/Вт, что более чем в 10 раз превышает параметры фотоэлемента Ф-4.

В 2006 г. специалистами НИИЦ МО БГУ изготовлен экспериментальный образец озонметра М-124, в котором установлены новые системы спектральной фильтрации и фотоэлемент фирмы Hamamatsu R1228 [4]. Электронная система регистрации состоит из преобразователя ток–напряжение, реализованного на операционном усилителе AD795, и усилителя напряжения, выполненного на микросхеме К544УД1А. Выходной сигнал с усилителя регистрируется при помощи цифрового вольтметра. После изготовления экспериментального образца стали возможными натурные испытания новых систем озонметра в рамках выполнения белорусскими специалистами работ, организованных Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь составе 52-й РАЭ. Основными задачами этих испытаний были оценка стабильности систем спектральной фильтрации и эффективности системы термостабилизации, а также подбор оптимальных значений пределов усиления второго каскада.

Предельные уровни сигнала при измерениях прямого солнечного излучения в полярных условиях оценены на полевых базах Молодежная и г. Вечерняя с 17 декабря 2006 г. по 13 февраля 2007 г. Измерения на полевой базе г. Вечерняя выполнялись с 18 января по 1 февраля 2007 г. Координаты точек наблюдения и высота над уровнем моря определялись посредством выносного датчика GPS, подключаемого к персональному компьютеру. Для расширения динамического диапазона из-

мерительного тракта прибора доработан второй каскад усиления (усилитель напряжения) – установлены дополнительные резисторы обратной связи, подключаемые параллельно основному. Таким образом, стало возможно ступенчатое ослабление входного сигнала примерно в 10 раз.

Получены максимальные значения сигналов:

– по прямому солнцу – около 21 В (эквивалентное значение с учетом ослабления):

1-й фильтр $\lambda_{\text{max}} = 306$ нм – около 3,15 В;

2-й фильтр $\lambda_{\text{max}} = 317$ нм – около 21 В;

– по зениту неба:

1-й фильтр $\lambda_{\text{max}} = 306$ нм – около 400 мВ;

2-й фильтр $\lambda_{\text{max}} = 317$ нм – около 2,4 В.

С учетом погодных условий и производственной необходимости за период экспедиции в течение 37 дней выполнено 254 измерения.

За время экспедиции исследовано воздействие погодных условий антарктического лета на макетный образец модернизированного озонметра М-124 и оценена эффективность системы термостабилизации прибора в условиях открытой измерительной площадки и при периодической его установке для выполнения измерений и хранения в теплом помещении. В первом случае эффективность нагревателя недостаточна уже при температуре окружающего воздуха ниже -10 °С и скорости ветра больше 10 м/с. Для реализации постоянного режима работы необходимо примерно в 3–4 раза увеличить мощность встроенного нагревателя. При реализации второго режима работы дополнительных изменений конструкции не требуется.

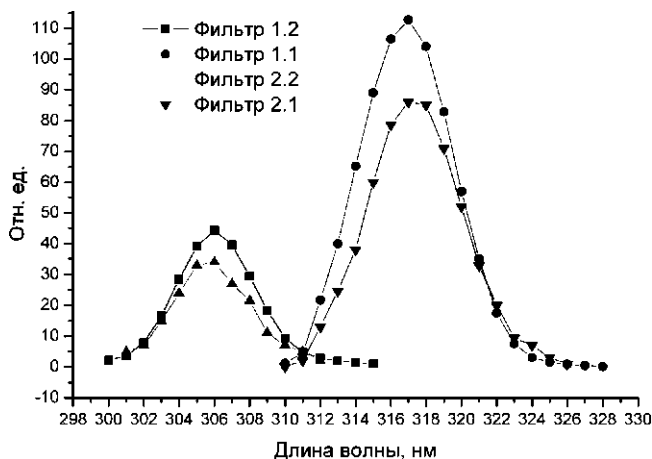
Для контроля стабильности спектральных характеристик прибора на измерительном стенде НИЦ ДЗА 2 ноября 2006 г. и 4 мая 2007 г. измерены полуширина полос пропускания и положение максимума обеих рабочих полос. В состав стенда входит источник излучения – галогенная лампа КГМ12-100, монохроматор СФ-4А (ширина щели 1,0 мм) и микроамперметр Щ-300. Полученные значения приведены на графике. По результатам сравнений в пределах погрешности измерений положения максимумов и полуширины полос пропускания не изменились.

В настоящий момент проводится тщательная калибровка прибора и построение электронной номограммы для реализации полуавтоматического режима измерения общего содержания озона с использованием встроенного микропроцессора.

Значения общего содержания озона будут рассчитаны после повторной проверки характеристик прибора и завершения его абсолютной калибровки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 9411–75. Стекло оптическое цветное. М.: Изд-во стандартов, 1976. 49 с.
2. Гушин Г.П. Исследование атмосферного озона. Л.: Гидрометеоздат, 1963. С. 48–51.
3. Кацнельсон Б.В., Ларионов А.С., Калугин А.М. Электро-вакуумные электронные и ионные приборы: справочник. М.: Энергия, 1970. С. 347, 359.



Спектральные характеристики полос пропускания системы светофильтр+фотоприемник до (1.1 и 1.2) и после (2.1 и 2.2) экспедиции