

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УТВЕРЖДАЮ  
Главный государственный  
санитарный врач

\_\_\_\_\_ М.И. Римжа

« 28 декабря » \_\_\_\_\_  
2005 г.

Регистрационный №113-1005

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОПТИЧЕСКОГО ТРАССОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ  
КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА ТрИО-1

Инструкция по применению

*Учреждения-разработчики:* Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ, ГУ «Республиканский научно-практический центр гигиены»

*Авторы:* кандидат физико-математических наук А.Н. Красовский, кандидат физико-математических наук Л.М. Болотко, кандидат физико-математических наук В.И. Покаташкин, доктор медицинских наук, профессор С.М. Соколов, кандидат медицинских наук Т.Е. Науменко, кандидат биологических наук Т.Д. Гриценко, А.Е. Пшегорода, Л.Н. Смирнов, доктор медицинских наук, профессор В.П. Филонов

## Раздел I. Техническое описание измерителя

### Глава 1. Введение

Техническое описание и инструкция по эксплуатации предназначены для изучения принципа действия оптического трассового измерителя концентрации приземного озона ТрИО-1 (далее – измеритель), правильной его эксплуатации и содержат описание его устройства и принципа действия, технические характеристики, сведения необходимые для наладки измерителя и поддержания его в работоспособном состоянии.

Изготовитель по согласованию с Пользователем может вносить конструктивные изменения, не ухудшающие метрологические характеристики измерителя.

### Глава 2. Назначение

Оптический трассовый измеритель концентрации приземного озона является стационарной установкой лабораторного типа, предназначенной для определения среднего значения концентрации озона ( $O_3$ ) на протяжении рабочей трассы измерителя в приземном слое атмосферы.

Измеритель может эксплуатироваться в следующих условиях:

1. Температура окружающего воздуха от 283 до 313 К (от +10 до +40°C) (за исключением температуры возвратного зеркала);
2. Относительная влажность до 95% при температуре 30°C;
3. Атмосферное давление  $750 \pm 30$  мм. рт. ст.;
4. Напряжение питающей сети  $220 \pm 22$  В частотой  $50 \pm 0,5$  Гц.

### Глава 3. Технические характеристики

1. Измеритель позволяет производить периодические измерения средней концентрации озона на «рабочей» трассе прибора.
2. Диапазон измеряемых концентраций не менее 10-200 ppb (ppb – количество молекул озона на миллиард молекул воздуха).
3. Абсолютная погрешность измерения не более 5 ppb
4. Время одного измерения составляет не более 5 мин.
5. Время выхода измерителя на рабочий режим определяется временем стабилизации параметров источника зондирующего УФ излучения (лампы накаливания типа КГМ) и составляет 10 мин.
6. Измеритель допускает непрерывную работу в течение 8 часов.
7. Мощность, потребляемая измерителем от сети переменного тока, не превышает 250 Вт.
8. Масса измерителя не более 210 кг.

### Глава 4. Состав измерителя

1. Источник УФ излучения, формирующий световой пучок для зондирования «рабочей» трассы (Рис.2, поз. 1).

2. Система зеркал, формирующая «нулевую» трассу (Рис.2, поз. 3,4,6)
3. Система зеркал, формирующая «рабочую» трассу (Рис.2, поз. 2,5,7).
4. Двойной дифракционный монохроматор МДР-6 (Рис. 2, поз.8, Рис.3, поз. 8).
5. Интерференционный светофильтр и рассеиватель (Рис.2, поз.9).
6. Блок управления монохроматором (Рис.3, поз.1).
7. Блок микропроцессора (Рис.3, поз.2).
8. Персональная электронно-вычислительная машина (Рис.3, поз.3).
9. Блок регистрации оптических сигналов (Рис.3, поз. 4) .
10. Стабилизатор напряжения полупроводниковый СНП-40 (Рис.3, поз.5).
11. Высоковольтный источник питания HVPS-320 (Рис.3, поз.6).
12. Блок подвижного зеркала (Рис.3, поз.7)
13. Стойка измерителя, монтажная плита, оптические рельсы, рейтеры.

## Глава 5. Устройство, работа и наладка измерителя

### 5.1. Принцип действия измерителя

Принцип действия измерителя основан на явлении поглощения оптического излучения веществом (закон Бугера-Ламберта-Бера). Озон имеет несколько полос поглощения в ультрафиолетовой (далее - УФ), видимой и ближней инфракрасной областях спектра. Эти полосы различаются по интенсивности и ширине. Важнейшей является полоса Хартли, которая располагается в УФ области спектра между 200 и 300 нм (Рис.1 кривая 3). Форма полосы соответствует контуру Гаусса с небольшой структурой в максимуме. Сечение поглощения в максимуме полосы ( $\lambda=255,5$  нм) порядка  $10^{-17}$  см<sup>2</sup>. В измерителе реализован принцип спектрофотометрирования, в котором для учета параметров зондирующего излучения, не связанных с наличием поглощающей среды (озона), использована «нулевая» трасса, расположенная в непосредственной близости от источника зондирующего УФ излучения. Изменения в спектре зондирующего излучения на «рабочей» трассе относительно спектра того же излучения «нулевой» трассы несут в себе информацию о рассеянии и поглощении зондирующего излучения. Степень молекулярного рассеяния зондирующего излучения в атмосфере для определенных условий и трассы известной протяженности может быть учтена с достаточно малой погрешностью. Относительные изменения в интенсивности спектра «рабочей» трассы в области поглощения озона при отсутствии других поглотителей позволяют вычислить его среднюю концентрацию на протяжении трассы зондирования. Спектральное положение длин волн на которых определяется изменение сигнала «рабочей» трассы относительно «нулевой» и вычисляется концентрация озона определяется отсутствием рассеянного солнечного излучения и несущественным влиянием или полным отсутствием поглощения на этих длинах волн других газов.

## 5.2. Принцип системы измерения концентрации приземного озона

### Выражения для регистрируемых сигналов

$$I_{0l} = I_l g_0 R_l g_l, \quad (1)$$

$$I_{ll} = I_l g_l \exp(-t_l) R_l g_l, \quad (2)$$

где индексы 0,  $l$  обозначают результат измерений сигнала от излучения, прошедшего короткую "нулевую" трассу, не содержащую озона, и трассу длиной  $l$  соответственно;

$I_\lambda$  - спектральная интенсивность излучения источника на длине волны  $\lambda$ ;

$R_\lambda$  - коэффициент отражения зеркала на длине волны  $\lambda$ ;

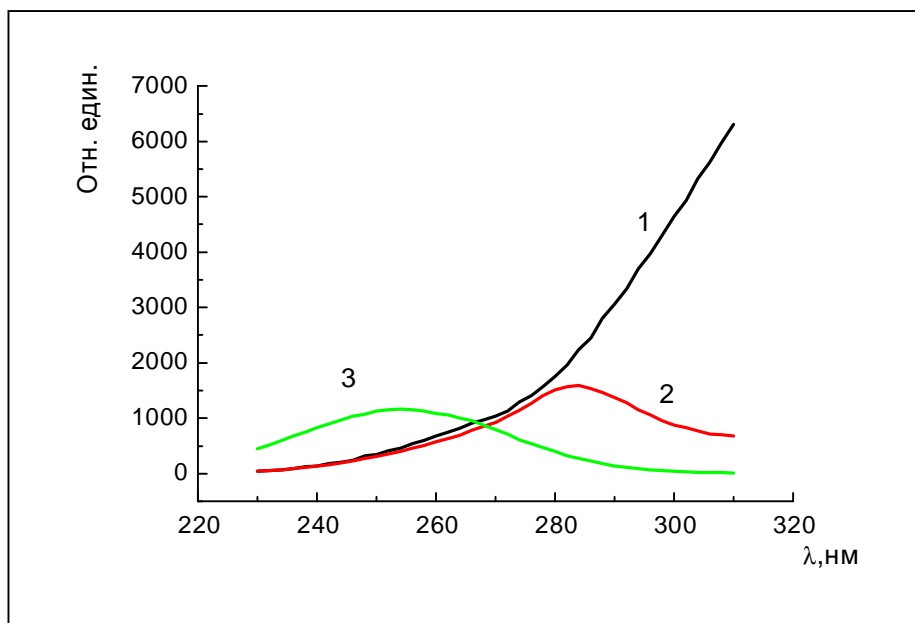


Рис.1. 1-спектр зондирующего излучения лампы КГМ,  
2-спектр излучения лампы, поступающий на фотоприемник  
после интерференционного фильтра,  
3-полоса поглощения озона.

$\gamma_\lambda$  - спектральная чувствительность регистратора;

$\tau_\lambda$  - оптическая толщина трассы на длине волны  $\lambda$ ;

$g_0, g_l$  - геометрические факторы, характеризующие ослабление излучения при прохождении "нулевой" трассы и трассы длиной  $l$  соответственно. Эти факторы зависят от геометрии пучка излучения источника, размеров отражающего зеркала, длины трассы, размеров входного зрачка регистратора и т.п. Важно, что параметры  $g_0, g_l$  не зависят от длины волны.

Оптическая толщина пути

$$\tau_{\lambda} = \sigma_{\lambda} n l + \beta_{\lambda} l, \quad (3)$$

где  $\sigma_{\lambda}$  - сечение поглощения излучения с длиной волны  $\lambda$  озонном;  $\beta_{\lambda}$  - объемный коэффициент ослабления излучения вследствие молекулярного рассеяния;  $n$  - концентрация озона.

Логарифм отношения сигналов (1), (2)

$$\ln(I_{I1} / I_{O1}) = \ln(g_l / g_0) - t_l. \quad (4)$$

Соответственно разность  $D$  логарифмов сигналов, измеренных на двух длинах волн, равна

$$D = \ln(I_{I1} / I_{O1}) - \ln(I_{I2} / I_{O2}) = t_{I2} - t_{I1} = \Delta t, \quad (5)$$

откуда с учетом (3) находим

$$n = \frac{1}{l \Delta \sigma} (D - l \Delta \beta), \quad (6)$$

где

$$\Delta \sigma = \sigma_{\lambda 2} - \sigma_{\lambda 1}, \quad \Delta \beta = \beta_{\lambda 2} - \beta_{\lambda 1}. \quad (7)$$

Как видно, в окончательное выражение для концентрации озона (6) спектральная чувствительность системы регистрации, коэффициенты отражения зеркал и геометрические факторы не входят. Согласно (6), относительная погрешность определения концентрации озона

$$\frac{\delta n}{n} = \frac{1}{\Delta T} \left\{ \delta D - l \Delta \beta \left[ \frac{\delta(\Delta \beta)}{\Delta \beta} + \frac{\delta l}{l} \right] \right\} - \frac{\delta l}{l} - \frac{\delta(\Delta \sigma)}{\Delta \sigma}, \quad (8)$$

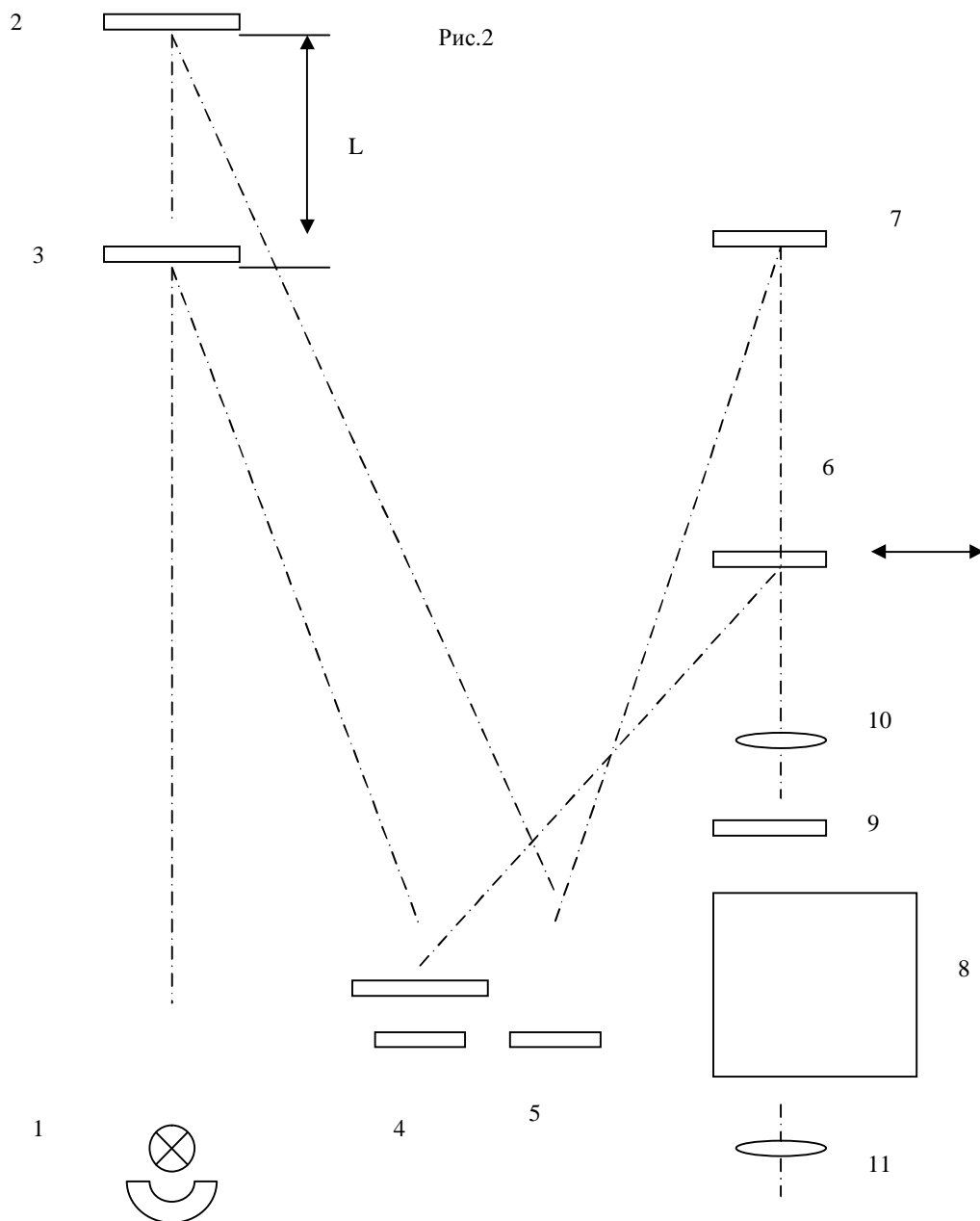
где обозначено

$$\Delta T = n l \Delta \sigma. \quad (9)$$

Основной вклад в погрешность измерения концентрации озона вносит первый член в фигурных скобках в (8).

### 5.3. Оптическая схема измерителя

На рис. 2 показана принципиальная оптическая схема измерителя. Схема состоит из двух частей. Одна часть оптической схемы предназначена для регистрации сигналов «нулевой» трассы, другая для регистрации сигналов поступающих с «рабочей» трассы измерителя.



Принципиальная оптическая схема измерителя (Рис.2)

1. Источник зондирующего излучения.
2. Возвратное зеркало «рабочей» трассы.
3. Возвратное зеркало «нулевой» трассы.
4. Поворотное зеркала «нулевой» трасс.
5. Поворотное зеркало «рабочей» трассы.
6. Подвижное поворотное зеркало «нулевой» трассы.
7. Поворотное зеркало «рабочей» трассы.
8. Монохроматор МДР-6.
9. Интерференционный фильтр и кварцевый рассеиватель.

10. Фокусирующая кварцевая линза освещения щели монохроматора.

11. Фокусирующая кварцевая линза освещения фотоприемника.

«Нулевая» трасса состоит из следующих элементов: источник зондирующего излучения 1 - лампа КГМ с рефлектором, формирующим оптический пучок; возвратное зеркало 3, имеющее небольшие геометрические размеры; поворотное зеркало 4 с сетчатыми ослабителями; подвижное зеркало 6; фокусирующая кварцевая линза 10; интерференционный светофильтр с кварцевым рассеивателем – 9; двойной монохроматор МДР-6 – 8, фокусирующая кварцевая линза 11. «Рабочая» трасса измерителя формируется следующими элементами: источник зондирующего излучения 1; возвратное зеркало 2; поворотное зеркало 5; поворотное зеркало 7; фокусирующая кварцевая линза 10; интерференционный светофильтр с кварцевым рассеивателем – 9; двойной монохроматор МДР-6 – 8, фокусирующая кварцевая линза 11.

### 5.3.1. «Нулевая» трасса (Рис.2)

Источник зондирующего УФ излучения.

Источник зондирующего УФ излучения состоит из наполненной парами брома лампы накаливания КГМ (номинальное напряжение питания лампы - 24 В) и рефлектора, формирующего слабо расходящийся световой пучок. Температура горения лампы достигает 3000°С, что приводит к смещению спектра излучения лампы в коротковолновую сторону вплоть до 210 нм (Рис.1, кривая 1). Рефлектор имеет внешнее алюминиевое покрытие с высоким коэффициентом отражения в УФ области спектра. Источник зондирующего излучения помещен в защитный кожух.

Система поворотных зеркал «нулевой» трассы.

Зеркала 3,4,6 (Рис.2) формируют так называемую «нулевую» трассу, расположенную в непосредственной близости от источника зондирующего излучения в зоне предполагаемого отсутствия озона. «Нулевая» трасса предназначена для определения соотношения между интенсивностями сигналов спектра зондирующего излучения на выбранных длинах волн, хотя бы одна из которых попадает в полосу поглощения озона. Подвижное зеркало 6 устанавливается в вертикальное рабочее положение при регистрации сигналов «нулевой» трассы. Зеркало перемещается с помощью шагового двигателя управляемого микропроцессором. В держателе перед поворотным зеркалом 4 установлены нейтральные сетчатые ослабители, предназначенные для выравнивания по интенсивности сигналов «нулевой» и «рабочей» трасс при наладке измерителя.

Узел освещения входной щели монохроматора.

Для согласования зеркального объектива монохроматора с падающим световым пучком после подвижного зеркала 6 установлена длиннофокусная кварцевая линза 10. Для выравнивания сигналов, регистрируемых фотоприемным устройством в разных спектральных областях, перед входной

щелью монохроматора установлен интерференционный светофильтр. Спектральное распределение интенсивностей в оптическом сигнале после прохождения интерференционного светофильтра соответствует кривой 2 на рис.1. Кварцевый рассеиватель предназначен для формирования одинаковых индикатрис рассеяния падающего излучения при освещении входной щели монохроматора от сигналов «нулевой» и «рабочей» трасс.

Монохроматор двойной МДР-6.

Монохроматор двойной МДР-6, предназначен для выбора и сканирования участка спектра зондирующего излучения, необходимого для определения концентрации приземного озона. Диапазон работы монохроматора составляет 185-1000 нм, фокусное расстояние зеркального объектива – 300 мм, относительное отверстие – 1:6. В монохроматоре установлены дифракционные решетки 1200 штр/мм с максимумом концентрации энергии – 300 нм, рабочий порядок – первый. Обратная линейная дисперсия составляет – 1,3 нм/мм. Предел раскрытия щели 0-4 мм, точность отсчета – 0,01 мм. Сканирование монохроматора осуществляется с помощью выносного блока управления. Монохроматор МДР-6 при работе в составе измерителя должен иметь следующее положение ручек настройки: степень раскрытия входной, промежуточной и выходной щелей должна составлять 2,2 мм; выходная щель первого монохроматора в положении «0»; ручка, находящаяся под входной щелью монохроматора, в положении «Открыто»; ручка на боковой стенке корпуса монохроматора в положении «П». Для исключения засветки фотоприемника задвижки дифракционных решеток монохроматора, находящиеся в верхней части корпуса, должны быть закрыты.

Зондирующее излучение прошедшее монохроматор с помощью фокусирующей кварцевой линзы 11 собирается на фотокатоде приемника

### 5.3.2. «Рабочая» трасса (Рис.2)

Зондирующее излучение лампы КГМ (см. 5.3.1.) попадает на возвратное зеркало 2 установленное на расстоянии равном половине длины «рабочей» трассы  $L=1/2$ . Высота расположения возвратного зеркала над уровнем земли составляет  $3\text{ м} \leq h \leq 10\text{ м}$ . Благодаря возвратному зеркалу 2 размеры трассы при сохранении общей длины оптического пути уменьшены в два раза, а регистрирующая система располагается рядом с источником зондирующего излучения, что дает возможность сформировать «нулевую» трассу.

Зеркало 6 «нулевой» трассы при зондировании рабочей трассы выводится автоматически.

Для прибора ТрИО-1 №2 возвратное зеркало установлено в специальном кожухе. Задняя крышка кожуха открывается, что обеспечивает доступ к юстировочным элементам возвратного зеркала. Зондирующее излучение, отраженное от зеркала 2, направляется на поворотное зеркала 5, а затем на зеркало 7. Как и зеркало 6 «нулевой» трассы, зеркало 7 направляет свет через узел освещения входной щели на входную щель монохроматора МДР-6. С



### Электрическая блок-схема измерителя (Рис.3)

1. Блок управления монохроматором МДР-6.
2. Блок микропроцессора.
3. Персональная ЭВМ.
4. Узел фотоприемного устройства.
5. Блок питания лампы зондирующего излучения.
6. Высоковольтный источник питания.
7. Узел подвижного зеркала «нулевой» трассы.
8. Монохроматор МДР-6.

Связь ПЭВМ с периферийными устройствами выполняет блок микропроцессора (Рис.3, поз.2). В блок микропроцессора поступают и оцифровываются электрические сигналы с прецизионного преобразователя «ток-напряжение», выполненного на микросхеме AD820, являющегося согласующим устройством между фотоприемником (ФЭУ-106) и 24-разрядным АЦП AD7714. В качестве фотоприемного устройства использован ФЭУ-106 (Рис.3, поз.4), имеющий сурьмяно-калиево-натриево-цезиевый фотокатод. Спектральный диапазон чувствительности ФЭУ-106 – 170-830 нм. Область максимальной спектральной чувствительности - 400-440 нм. Фотокатод обладает высокой чувствительностью – 200 мка/лм. Темновой ток фотокатода  $\leq 2,5 \cdot 10^{-8}$  А.

Питание ФЭУ-106 осуществляется высоковольтным источником питания HVPS-320 (Рис.3, поз.6). Высоковольтный источник имеет следующие основные технические характеристики: выходное напряжение до 2500 вольт (шаг 1 вольт), ток нагрузки до 3 мА, нестабильность выходного напряжения 0,05%, пульсации выходного напряжения 20 мВ, защита от короткого замыкания.

Монохроматор МДР-6 (Рис.3, поз.8) управляется посредством штатного блока управления (Рис.3, поз.1), состоящего из силового источника питания шагового двигателя и платы формирующей управляющие импульсы. Плата формирователя управляется блоком микропроцессора.

Подвижное зеркало «нулевой» трассы (Рис.2, поз.6; Рис.3, поз.7) управляется непосредственно от блока микропроцессора, в котором установлен силовой источник питания шагового двигателя, формируются управляющие сигналы, определяемые режимом выполняемой программы.

#### 5.5. Наладка измерителя

Измеритель представляет собой сложный прибор, предназначенный для определения концентрации приземного озона посредством измерения интенсивности зондирующего УФ излучения лампы на «нулевой» и «рабочей» трассе прибора в выбранных точках спектрального интервала попадающего в полосу поглощения озона с последующим вычислением концентрации приземного озона на «рабочей» трассе измерителя в соответствии с методикой (см. 5.2) его измерения.

Первичная подготовка измерителя к работе после его установки заключается в «провешивании» и юстировке оптической «рабочей» трассы прибора, записи на ПЭВМ рабочего участка спектра зондирующего излучения лампы КГМ, прошедшего «рабочую» трассу, в юстировке «нулевой» трассы измерителя, записи на ПЭВМ того же участка спектра зондирующего излучения лампы КГМ, прошедшего «нулевую» трассу, в сравнительном анализе по интенсивности полученных спектров, в апробации автоматической программы измерения концентрации приземного озона.

Операции юстировки «нулевой» и «рабочей» трасс могут выполняться также при возникновении ряда неисправностей в работе измерителя (см. Инструкция по эксплуатации, разд. «Типичные неисправности и методы их устранения»).

«Провешивание» и юстировка «рабочей» трассы может выполняться двумя способами. При первом, упрощенном способе, все работы выполняются в сумеречное или темное время суток. Последовательность наладки измерителя следующая:

1. Открыть заднюю стенку защитного кожуха возвратного зеркала 2.
2. Поворотное зеркало 6 (Рис.2) должно стоять во внерабочем положении. Включить источник зондирующего излучения на номинальную мощность (напряжение питания лампы КГМ - 24 вольта) (см. Инструкция по эксплуатации, разд. Подготовка измерителя к работе).
3. С помощью юстировочных винтов поворотного столика, на котором закреплен источник зондирующего излучения, добиться максимальной яркости освещения возвратного зеркала.
4. С помощью юстировочных винтов, размещенных на зеркалодержателе возвратного зеркала 2, добиться максимальной яркости освещения поворотного зеркала 5.
5. С помощью юстировочных винтов на зеркалодержателе зеркала 5 направить параллельный пучок света на поворотное зеркало 7.
6. Снять интерференционный фильтр и рассеиватель 9 с оптического рельса измерителя. Убедиться в соосности фокусирующей линзы 10 и входной щели монохроматора 8. При необходимости переместить линзу с помощью юстировочного винта.
7. С помощью юстировочных винтов на зеркалодержателе поворотного зеркала 7 направить световой пучок через фокусирующую линзу 10 в центр входной щели монохроматора. Установить интерференционный фильтр и рассеиватель 9 на место, перпендикулярно предполагаемой оптической оси монохроматора. Предполагаемая оптическая ось должна быть перпендикулярна входной щели монохроматора, проходить через ее середину, середину линзы 10 и середину поворотного зеркала 7.
8. Включить измеритель полностью. Установить режим записи спектра зондирующего излучения лампы на «рабочей» трассе (см. Инструкция по эксплуатации, разд. «Подготовка измерителя к работе», «Порядок работы»).

Во время записи спектра клавишей Р-лат. (пауза) остановить сканирование спектра (место остановки не имеет значения). В правом нижнем углу монитора ПЭВМ высветится текущее значение интенсивности регистрируемого спектра.

9. Снять защитный кожух источника зондирующего излучения. Освободив два крепежных винта и незначительно перемещая вперед и назад относительно рефлектора лампу КГМ добиться максимального показания регистрируемой интенсивности лампы на экране монитора. При этом следить за состоянием светового пятна в месте расположения возвратного зеркала 3 «нулевой» трассы. Пятно должно быть равномерным, без структуры (светлых и темных пятен, колец). Контролировать световое пятно необходимо при пониженном (10-15 вольт) напряжении питания на лампе КГМ. Для выхода из режима контроля текущей интенсивности спектра нажать клавишу «Esc». Спектр допишется до конца.

10. Повторить запись спектра, убедиться в его достаточной интенсивности (см. ниже). При необходимости повторить пункты 1-11.

11. Установить возвратное зеркало 3 «нулевой» трассы так, чтобы вертикальная ось зеркала совпадала с вертикальной осью светового пятна света лампы зондирующего излучения в плоскости расположения зеркала 3, а верхняя грань зеркала была приблизительно на 1 см ниже центра светового пятна.

12. Ручку, находящуюся под входной щелью монохроматора, перевести в положение условного знака «Закрыто» (перекрыта входная щель монохроматора). Дальнейшую юстировку до установки сетчатых ослабителей перед зеркалом 4 проводить, во избежании пересветки ФЭУ, при перекрытой входной щели монохроматора. Снять сетчатые нейтральные ослабители, установленные перед поворотным зеркалом 4. Используя юстировочные приспособления на зеркалодержателе возвратного зеркала 3 равномерно осветить поворотное зеркало 4.

13. Установить поворотное зеркало 6 в режиме записи спектра в рабочее положение (Alt-F2-2-Enter). С помощью юстировочных винтов зеркала 4 равномерно осветить зеркало 6 параллельным световым пучком.

14. Снять с оптического рельса интерференционный фильтр и рассеиватель 9. Используя юстировочные винты зеркала 6 повторить пункт 8 настоящего описания. Положение фокусирующей линзы не менять. При необходимости, скорректировать положение зеркала 6 и его освещение, юстируя зеркало 4.

15. Включить измеритель полностью. Установить режим записи спектра зондирующего излучения лампы на «нулевой» трассе (см. Инструкция по эксплуатации, разд. «Подготовка измерителя к работе», «Порядок работы»). Во время записи спектра клавишей Р-лат. (пауза) остановить сканирование спектра (место остановки не имеет значения). В правом нижнем углу монитора высветится текущее значение интенсивности регистрируемого спектра.

16. Установить в держатель зеркала 4 сетчатые нейтральные ослабители. Открыть щель монохроматора установкой ручки под входной щелью монохроматора в положение «Открыто».

17. Записать в соответствии с «Инструкцией по эксплуатации» спектр зондирующего излучения прошедшего «нулевую» трассу. При необходимости изменить набор сетчатых нейтральных ослабителей так, чтобы интенсивность «нулевого» спектра отличалась от интенсивности спектра на «рабочей» трассе не более чем на  $\pm 10\div 15\%$ .

18. Запустить автоматическую программу измерения концентрации приземного озона.

Второй более трудоемкий вариант наладки измерителя предполагает проведение работ по пунктам 1-19 в дневное время. При этом степень освещенности возвратного зеркала 2 оценивается наблюдателем субъективно. Аналогично освещается зеркало 5. Для упрощения процесса юстировки окна в месте нахождения измерителя, кроме отверстий в щите для прохождения зондирующего излучения, должны быть закрыты темными шторами. Весь процесс юстировки «рабочей» трассы необходимо проводить, постоянно контролируя на экране монитора интенсивность сигнала зондирующего излучения.

В результате юстировки «рабочей» трассы интенсивность сигнала в максимуме спектра рабочего диапазона (240-296 нм) должна быть не менее 2000000 отсчетов при заданном рабочем напряжении ФЭУ (1850 вольт).

#### 5.6. Программа управления работой прибора

Озонометр ТРИО-1 работает под управлением специально разработанной программы, рабочие параметры которой определены во вспомогательных файлах Wave.txt и Pairs.txt, размещенных в том же каталоге, что и программа. Первый файл содержит следующую информацию:

1. число рабочих длин волн, на которых осуществляется регистрация сигналов на рабочей и опорной трассах (до 9);
2. список рабочих длин волн в нанометрах, соответствующих им сечений поглощения озоном в единицах  $\text{см}^2$ , коэффициентов молекулярного рассеяния в единицах  $\text{см}^{-1}$ , параметры коррекции сигналов для учета различия в спектральных характеристиках элементов обеих трасс;
3. интервал времени между измерениями в серии в минутах;
4. максимально допустимый интервал времени между измерениями сигналов на опорной трассе в минутах;
5. длина трассы в сантиметрах;
6. число измерений сигнала на каждой длине волны;
7. критерий стабильности лампы в единицах оптической толщины (см. ниже);
8. другая вспомогательная информация, не являющаяся необходимой для работы программы измерений.

Пример файла Wave.txt приводится ниже.

```

6
260.0 .1110E-16 .272E-05 -.23168E-01
264.0 .1006E-16 .255E-05 -.19377E-01
268.0 .8750E-17 .239E-05 -.28900E-01
280.0 .4000E-17 .197E-05 -.34599E-01
285.0 .2470E-17 .183E-05 -.26495E-01
295.0 .7700E-18 .161E-05 .00000E+00
2    Интервал времени между измерениями в серии в минутах
30   Интервал времени между измерениями в комнате в минутах
11500 Длина трассы в сантиметрах
40   Число измерений сигнала на каждой длине волны
0.006 Критерий стабильности лампы
2904t2.ttx

```

Пример файла Pairs.txt приведен ниже

```

2    Число проходов в серии
6    Число пар длин волн
2    4    Состав пар (номера длин волн, образующих пару)
2    5
2    6
3    4
3    5
3    6

```

Как видно из приведенных данных, первая рабочая длина волны (260 нм) не используется ни в одной из перечисленных пар.

Результаты измерений концентрации приземного озона оформляются в виде протокола, который выводится на дисплей компьютера и сохраняется в специальном файле тестового формата. Имя файла формируется автоматически в виде NYUM.txt, где N – порядковый номер прибора в виде буквы латинского алфавита (A, B, C, D и т.д.), YY – последние 2 цифры года, M - месяц в виде буквы латинского алфавита (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L). Например, B05H.txt – файл протокола работы прибора №2 за август 2005 года. Таким образом, файл протокола содержит данные о результатах измерений, проведенных в течение одного месяца. Ниже приведена часть файла B05H.txt с результатами измерений 31.08.2005. Обратите внимание, что каждое включение программы измерений вызывает формирование шапки протокола за текущую дату. В приведенном случае работа программы была прервана в 10 часов 43 минуты по Гринвичу и возобновлена через 12 минут. В протоколе указывается время по Гринвичу начала каждой серии измерений, измеренная концентрация озона в различных единицах и информация о нестабильности источника зондирующего излучения в течение интервала времени между измерениями сигналов на опорной трассе (если такая нестабильность имеет место).

Оптический трассовый измеритель концентрации приземного озона  
ТрИО-1

Дата 31: 8:2005

Время Концентрация, Концентрация, Концентрация,

	ppb	1/см**3	мкг/м**3		
6:30	12.4	3.4E+0011	25	Lamp	14.256702
6:39	18.3	4.9E+0011	37	Lamp	0.047390
6:48	17.0	4.6E+0011	34		
6:52	18.2	4.9E+0011	36		
7:01	22.6	6.1E+0011	45		
7:05	20.7	5.6E+0011	41		
7:09	22.2	6.0E+0011	44		
7:13	21.7	5.9E+0011	43		
7:17	21.0	5.7E+0011	42		
7:20	25.9	7.0E+0011	52		
7:24	22.0	5.9E+0011	44		
7:33	20.4	5.5E+0011	41		
7:37	21.4	5.8E+0011	43		
7:41	25.5	6.9E+0011	51		
7:44	24.4	6.6E+0011	49		
7:48	20.9	5.6E+0011	42		
7:52	22.5	6.1E+0011	45		
7:56	24.5	6.6E+0011	49		
8:05	23.4	6.3E+0011	47		
8:08	22.6	6.1E+0011	45		
8:12	26.8	7.2E+0011	54		
8:16	24.4	6.6E+0011	49		
8:20	30.1	8.1E+0011	60		
8:24	25.7	6.9E+0011	51		
8:27	25.2	6.8E+0011	50		
8:36	21.1	5.7E+0011	42	Lamp	-0.009099
8:40	29.0	7.8E+0011	58	Lamp	-0.009099
8:49	24.4	6.6E+0011	49		
8:53	22.7	6.1E+0011	45		
8:57	25.8	7.0E+0011	52		
9:00	26.2	7.1E+0011	52		
9:04	21.7	5.8E+0011	43		
9:08	25.6	6.9E+0011	51		
9:12	27.4	7.4E+0011	55		
9:21	25.3	6.8E+0011	51		
9:24	26.1	7.0E+0011	52		
9:28	30.4	8.2E+0011	61		
9:32	24.3	6.6E+0011	49		

9:36	23.1	6.3E+0011	46
9:40	25.9	7.0E+0011	52
9:43	29.9	8.1E+0011	60
9:52	34.2	9.2E+0011	68
9:56	31.3	8.5E+0011	63
10:00	30.1	8.1E+0011	60
10:04	31.2	8.4E+0011	62
10:07	35.7	9.6E+0011	71
10:11	32.3	8.7E+0011	65
10:15	35.9	9.7E+0011	72
10:24	33.3	9.0E+0011	67
10:28	35.7	9.6E+0011	71
10:31	35.2	9.5E+0011	70
10:35	36.7	9.9E+0011	73
10:39	38.3	1.0E+0012	77
10:43	33.5	9.0E+0011	67

Оптический трассовый измеритель концентрации приземного озона  
ТрИО-1

Дата 31: 8:2005

Время Концентрация, Концентрация, Концентрация,

	ppb	1/см**3	мкг/м**3		
10:55	31.5	8.5E+0011	63	Lamp	14.297962
11:06	30.7	8.3E+0011	61		
11:16	31.8	8.6E+0011	64	Lamp	-0.015300
11:26	29.6	8.0E+0011	59	Lamp	0.009785
11:35	29.1	7.8E+0011	58		
11:40	31.5	8.5E+0011	63		
11:44	30.0	8.1E+0011	60		
11:48	31.6	8.5E+0011	63		
11:53	31.1	8.4E+0011	62		
11:57	29.1	7.9E+0011	58		
12:06	27.1	7.3E+0011	54		
12:11	29.4	7.9E+0011	59		
12:15	30.3	8.2E+0011	61		
12:19	32.4	8.7E+0011	65		
12:23	24.6	6.6E+0011	49		
12:28	24.4	6.6E+0011	49		
12:38	30.9	8.3E+0011	62		
12:42	28.7	7.8E+0011	57		
12:46	29.3	7.9E+0011	59		
12:50	27.7	7.5E+0011	55		
12:55	27.7	7.5E+0011	55		
12:59	27.2	7.3E+0011	54		

13:08 23.1 6.2E+0011 46

Помимо файла протокола формируется и сохраняется в рабочем каталоге программы вспомогательный файл с тем же именем и расширением «.all». Этот файл содержит детальную информацию обо всех измеренных сигналах и используется для анализа работоспособности прибора разработчиками. В случае появления неисправностей, информация, сохраненная в данном файле, позволяет выявить причину неполадок.

#### 5.7. Контроль выхода источника излучения на рабочий режим и контроль стабильности источника в ходе работы

Программа содержит переменные SOLD, TOLD и TINT, в которых хранятся: значение последнего измерения на опорной трассе (комната) сигнала на самой короткой рабочей длине волны; соответствующее время проведения измерения; оценка интервала времени, в течение которого обеспечивается достаточная стабильность источника излучения.

Значения этих переменных используются для определения времени разогрева источника в начале работы и для контроля стабильности источника в ходе измерений (первые два параметра).

Выход на рабочий режим. При включении программы переменной SOLD присваивается начальное значение 1, переменной TINT - 0. Переменная TOLD получает значение несколько меньшее TNEW. Далее, после измерения сигнала SNEW на опорной трассе на первой рабочей длине волны в момент времени TNEW рассчитывается величина

$$X = \ln\{(snew - baser)/(sold - baser)\},$$

где baser – вклад «электронной подставки» в измеряемые сигналы. После этого переменным SOLD, TOLD и TALL присваиваются новые значения:

$$sold = snew, \quad told = tnew,$$

и рассчитывается интервал времени стабильности источника

$$tint = K(tnew - told)/(2X),$$

где K – критерий стабильности источника, заданный в параметрах файла Wave.txt.

Величина X фактически представляет собой оценку вклада в ошибку определения оптической толщины трассы за счет изменения интенсивности свечения источника в течение интервала времени tnew-told (в предположении линейного тренда интенсивности). Эту величину (после пересчета к концентрации озона) следует сравнивать с допустимой абсолютной погрешностью измерений, скажем,  $\pm 1$  ppb (около 2% для обычно наблюдаемых в середине дня концентраций озона). Если  $X > K$  в протокол вместе с данными о законченной серии измерений концентрации озона выводится значение X. Это означает, что предыдущие результаты измерений имеют пониженную точность из-за заметного дрейфа источника.

Очевидно, что при первом измерении SNEW критерий не выполняется, время TINT мало, и процедура измерений на опорной трассе и расчета времени стабильности повторяется после проведения одной серии измерений. По мере того, как сигнал источника стабилизируется время TINT растет, и частота измерения опорных сигналов снижается. Программа следит, чтобы интервал времени между измерениями на опорной трассе не превышал величину TR, заданную в исходных параметрах.

Предлагаемый алгоритм осуществляет также контроль стабильности источника в ходе измерений. Если при очередном расчете величины X она получает значение, большее K, это означает, что за время TINT, определенное ранее, сигналы источника заметно изменились. Расчет TINT по новым данным дает меньшее значение, которое используется в дальнейшей работе озонометра, а в протокол вносятся соответствующие сообщения.

## Раздел II. Инструкция по эксплуатации

### Глава 6. Меры безопасности

Трассовый измеритель концентрации приземного озона является источником повышенной опасности. В измерителе используется переменное напряжение 220 В. Питание ФЭУ осуществляется постоянным напряжением до 2500 В. Интенсивность зондирующего излучения лампы КГМ высока в области жесткого ультрафиолета.

При эксплуатации измерителя должны быть соблюдены следующие требования безопасности:

1. работа с измерителем может проводиться неэлектротехническим персоналом знакомым с правилами электробезопасности (группа по электробезопасности не ниже I);
2. стойка измерителя и персональная ЭВМ должны быть надежно заземлены;
3. обслуживающему персоналу избегать прямого и зеркально отраженного света лампы зондирующего излучения;
4. наладочные (кроме юстировочных работ с оптической системой измерителя) и ремонтные работы должны производиться специалистами после полного отключения системы от питающей электросети;
5. работа с персональной ЭВМ, входящей в состав измерителя, должна проводиться в соответствии с требованиями инструкции по охране труда при работе на компьютерах;
6. наладочные работы, выполняемые с возвратным зеркалом находящемся на специальной опоре (3,5 м над поверхностью земли), должны выполняться в соответствии с инструкцией по охране труда при выполнении работ на высоте. Работы могут выполняться с приставной лестницы или стремянки под непосредственным руководством начальника (мастер, бригадир и т.п.) лицами не моложе 18 лет прошедшими соответствующие медицинские осмотры, инструктажи и изучившие необходимые инструкции. Лестницы и

стремянки должны быть испытаны и отвечать необходимым требованиям. При установке возвратного зеркала на другие конструктивные элементы (сооружения, здания и т.п.) необходимо выполнять соответствующие требования техники безопасности.

#### Глава 7. Подготовка измерителя к работе

В состав измерителя входит персональный компьютер. К работе с измерителем должен допускаться персонал, имеющий практические навыки работы с ПЭВМ.

1. Вставить вилку сетевого шнура измерителя в электрическую розетку ~220 в.
2. Тумблером «Сеть» на передней панели СНП-40 включить блок питания источника зондирующего излучения. Левую ручку «Регулировка напряжения» источника питания очень плавно вращать вправо до упора.
3. Перевести тумблеры «Высоковольтный источник питания», «Микропроцессорный блок», «Блок управления монохроматором» в положение «Вкл».
4. После высвечивания на световом табло высоковольтного источника питания значения установленного высокого напряжения подать нажатием красной кнопки высокое напряжение на ФЭУ. При необходимости корректировку высокого напряжения осуществлять нажатием клавиш «больше», «меньше», находящихся под световым табло.
5. Включить ПЭВМ.
6. Открыть окно и установить щит с отверстиями для вывода и ввода зондирующего излучения.

#### Глава 8. Порядок работы

Управление измерителем осуществляется с клавиатуры ПЭВМ.

##### 8.1. Запустить программу SOZON, а в ней подпрограмму TraceC.

При высвечивании на экране надписи «Установить исходную длину волны?» нажать клавишу «Y». На индикаторе длин волн монохроматора МДР-6 должно установиться значение 196,05 нм.

Проверка работоспособности измерителя проводится путем записи спектров излучения лампы зондирующего излучения на «нулевой» и «рабочей» трассах. Для записи спектров проделать следующие операции:

1. Проконтролировать в правом верхнем углу экрана монитора установку частоты фильтра – 50 гц, число суммирований –1.
2. Установить количество пропусков в регистрируемых спектрах «Alt-F6»-29-«Enter».
3. Установить диапазон сканирования и записи спектров 240-300 нм: «F9»-240-«Enter»-300-«Enter».
4. Для записи спектра «нулевой» трассы установить подвижное зеркало в рабочее (вертикальное) положение: «Alt-F2»-2-«Enter».

5. Записать спектр «нулевой» трассы: «F1».

6. Для сохранения записанного спектра записать полученный спектр в файл с присвоением имени: «F2»-имя-«Enter». Пример имени: 1005R1 – 1005 - 10 мая, R - Room (комната), 1 - первый спектр.

После записи спектра «нулевой» трассы вернуть подвижное зеркало в исходное положение: «Alt-F2»-1-«Enter».

7. Записать спектр «рабочей» трассы: «F1».

8. Для сохранения спектра записать полученный спектр в файл с присвоением имени: «F2» - имя - «Enter». Пример имени: 1005T1 – 1005 - 10 мая, T - Trace (трасса), 1 - первый спектр.

9. Выйти из программы записи спектров TraceC: «Esc».

8.2. Запустить автоматическую программу измерения концентрации приземного озона.

8.3. На мониторе появится «Протокол» измерений концентрации приземного озона. После появления заставки «Протокол» начинается серия из нескольких измерений концентрации озона с высвечиванием на экране монитора среднего значения по серии. Концентрация озона отображается в «ppb», «1/см<sup>3</sup>» и «µГ/м<sup>3</sup>». Следующая серия измерений автоматически проводится через интервал времени, определенный во входных параметрах программы (см. разд. «Рабочая программа»).

Одновременно с выводом на монитор информации о средней концентрации озона записываются те же данные в текстовый файл протокола, который находится в той же директории что и рабочая программа. Название файла генерируется автоматически при смене месяца и имеет вид «NXXM.txt». Здесь N – номер прибора в виде буквы латинского алфавита (пример: для прибора ТрИО-1 №1 этот символ – А); XX - две последние цифры года; M – буква латинского алфавита, порядковый номер которой равен номеру текущего месяца (A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,L). Например, «A04F.txt» означает файл с данными измерения для Измерителя №1 за июнь месяц 2004 г. Данная система кодировки файлов с данными измерений является стандартом в Национальном научно-исследовательском центре мониторинга озоносферы. Просмотр информации текстового файла производится с помощью любого текстового редактора (например: ДОС навигатор, Windows commander (нажатием клавиш F3) и др.). Копирование, удаление и перенос в другую директорию файла с данными измерений производится в соответствии с правилами пользования ПЭВМ. Помимо файла с результатами измерений автоматически формируется файл с более детальными данными измерений (с тем именем и расширением «.all»), который используется Изготовителем для контроля качества работы Измерителя.

8.4. По окончании времени работы измерителя выход из программы Tracel6 (Tracel7) осуществляется нажатием клавиши «Esc» при активном окне протокола работы. Перед выходом из программы осуществляется установка измерителя на первую рабочую длину волны.

## 8.5. Выйти из программы SOZON.

### Глава 9. Порядок выключения измерителя

Произвести выключение измерителя в следующей последовательности:

1. Нажатием красной кнопки на блоке высоковольтного источника питания снять высокое напряжение с ФЭУ.
2. Перевести тумблеры «Высоковольтный источник питания», «Микропроцессорный блок», «Блок управления монохроматором» в положение «Выкл».
3. Вращением влево левой ручки «Регулировка напряжения» на блоке СНП-40 плавно снять напряжение питания лампы КГМ.
4. Тумблером «Сеть» выключить блок СНП-40.
5. Выключить ПЭВМ, согласно инструкции по работе с персональными вычислительными машинами.
6. Вынуть вилку шнура питания измерителя из электрической розетки.

### Глава 10. Техническое обслуживание

1. Техническое обслуживание измерителя производится при полном отключении напряжения питания.
2. Для сохранения метрологических характеристик измерителя необходимо содержать составные части, узлы и оптические компоненты в чистоте. Когда измеритель не работает, рекомендуется поворотные зеркала 3,6,7 накрывать полиэтиленовыми чехлами.
3. Профилактические мероприятия по уходу за узлами и оптическими компонентами измерителя в зависимости от их периодичности подразделяются на ежедневные и еженедельные.
4. Ежедневные профилактические мероприятия предусматривают:
  - внешний осмотр и при необходимости (наличие пыли) чистку наружных поверхностей зеркал, линзы, интерференционного фильтра оптической системы измерителя кисточкой (беличьей или колонковой). Кисточка поставляется изготовителем;
5. Еженедельное техническое обслуживание выполняется по п.4 с добавлением следующих операций:
  - внешний осмотр всей системы;
  - проверка кабелей на отсутствие механических повреждений;
  - протирка металлических поверхностей увлажненной бязевой тканью;
  - один раз в месяц необходимо с помощью беличьей кисточки очистить от пыли рефлектор источника зондирующего излучения.
6. Замена лампы КГМ.  
Источник зондирующего УФ излучения лампа КГМ имеет ограниченный срок службы.

После выхода из строя лампы КГМ произвести следующие операции по ее замене:

- снять защитный кожух системы осветителя, освободив четыре крепежных винта;
- не касаясь поверхности рефлектора вынуть лампу из посадочных гнезд;
- освободить новую лампу КГМ от картонной упаковки, держась за полиэтиленовый упаковочный мешочек, касаться колбы лампы запрещается;
- держа лампу за колбу через упаковочный полиэтиленовый мешочек вставить лампу без усилия в посадочные гнезда до упора;
- освободить лампу от упаковочного полиэтиленового мешочка;
- установить и закрепить четырьмя винтами защитный кожух системы осветителя.

### Глава 11. Характерные неисправности и методы их устранения

Измеритель является сложным устройством, включающим в себя оптические узлы, электронные блоки различной степени сложности, механические подвижные и неподвижные узлы и блоки, ПЭВМ. Определение неисправных предохранителей и их замена производится при полном отключении измерителя от электрической сети. Включение измерителя после устранения неисправностей должно производиться после установки защитных боковых стенок стойки измерителя и при наличии защитного заземления.

1. Все ремонтные работы, связанные с неисправностью ПЭВМ осуществляются по гарантийному талону к ПЭВМ, а в дальнейшем через соответствующие ремонтные организации.

2. При подаче напряжения питания (24 вольта на индикаторе напряжения СНП-40) на лампу КГМ лампа не светится – заменить лампу (визуально определяется обрыв спирали лампы) в соответствии с пунктом 6 раздела «Техническое обслуживание».

3. При включении источника СНП-40 не загорается лампочка «Сеть», не работают вентиляторы охлаждения – освободить левую боковую стенку стойки измерителя поворотом на 90° крепежных винтов, расположенных в верхней части стенки. Отклонить и снять с нижних фиксаторов боковую стенку стойки измерителя. Определить с помощью омметра неисправный предохранитель в верхнем блоке источника питания СНП-40. Заменить предохранитель.

4. При включении источника СНП-40 лампочка «Сеть» горит, не регулируется выходное напряжение – произвести ремонт источника в специализированных мастерских.

5. При включении высоковольтного источника питания HVPS-320 не загорается световое табло выходного напряжения, не светятся индикаторы сети и выходного напряжения – произвести ремонт высоковольтного источника в специализированных мастерских.

6. При выполнении пункта 3.1 раздела 3 «Порядок работы» (установка исходной длины волны монохроматора) декадный указатель установки длин волн монохроматора не вращается, исходная длина волны не устанавливается -

в соответствии с пунктом 3 настоящего раздела снять боковую стенку стойки измерителя и заменить на блоке управления монохроматором неисправный предохранитель.

7. То же, что в пункте 6, предохранитель исправен – произвести ремонт блока управления монохроматором вместе с монохроматором у изготовителя.

8. При запуске программы TraceS на экране монитора вместо надписи «Установить исходную длину волны?» появляется надпись «Внешнее устройство не готово» - в соответствии с пунктом 3 настоящего раздела снять боковую стенку стойки измерителя, если индикаторный диод блока микропроцессора не светится – заменить неисправный предохранитель на блоке микропроцессора, если индикаторный диод светится – произвести ремонт блока микропроцессора у изготовителя.

9. При выполнении раздела 3.1 пункт 4 подвижное зеркало не устанавливается в вертикальное положение - произвести ремонт блока микропроцессора у изготовителя.

10. При выполнении раздела 3.1 пункт 5 на мониторе вместо спектра лампы на «нулевой» трассе записывается очень слабый по интенсивности спектр или шумовая полоса системы регистрации (при выполнении раздела 3.1 пункт 8 – спектр нормальный) – нарушена юстировка системы зеркал «нулевой» трассы, произвести юстировку зеркал 3,4,6 в соответствии с техническим описанием.

11. При выполнении раздела 3.1 пункт 8 на мониторе вместо спектра лампы на «рабочей» трассе записывается очень слабый по интенсивности спектр или шумовая полоса системы регистрации (при выполнении раздела 3.1 пункт 5 – спектр нормальный) – нарушена юстировка системы зеркал «рабочей» трассы, произвести юстировку зеркал 2,5,7 в соответствии с техническим описанием.

12. При выполнении раздела 3.1 пунктов 5,8 на мониторе наблюдается очень слабый спектр лампы или пишется шумовая полоса системы регистрации – нарушена юстировка зеркал 3,4,6 и зеркал 2,5,7, изменено положение осветителя относительно оптической оси зеркал «нулевой» и «рабочей» трасс – произвести юстировку измерителя в соответствии с техническим описанием.

## Содержание

## Раздел I. Техническое описание измерителя

Глава 1. Введение .....	2
Глава 2. Назначение .....	2
Глава 3. Технические характеристики .....	2
Глава 4. Состав измерителя .....	2
Глава 5. Устройство, работа и наладка измерителя .....	3
5.1. Принцип действия измерителя .....	3
5.2. Принцип измерения концентрации приземного озона .....	4
5.3. Оптическая схема измерителя .....	5
5.3.1. «Нулевая» трасса .....	7
5.3.2. «Рабочая» трасса .....	8
5.4. Электрическая схема измерителя .....	9
5.5. Наладка измерителя .....	10
5.6. Программа управления работой прибора .....	13
5.7. Контроль выхода источника излучения на рабочий режим и контроль стабильности источника во время работы .....	17

## Раздел II. Инструкция по эксплуатации

Глава 6. Меры безопасности .....	18
Глава 7. Подготовка измерителя к работе .....	19
Глава 8. Порядок работы .....	19
Глава 9. Порядок выключения измерителя .....	21
Глава 10. Техническое обслуживание .....	21
Глава 11. Характерные неисправности и методы их устранения .....	22