

## АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

УДК 551.501

С.Н. Волков, Б.В. Кауль, В.А. Шапранов, Д.И. Шелефонтьук

### НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ВЫДЕЛЕНИЯ УЗКИХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЛАЗЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

Рассмотрены некоторые вопросы применения световодной оптики для выделения узких спектральных интервалов в лазерном зондировании атмосферы, а также вопросы согласования спектральных устройств с приемным устройством лидара, описаны конструктивные особенности спектральных устройств, применяемых на Сибирской лидарной станции для канала комбинационного рассеяния.

Применение световодной оптики для целей лазерного зондирования заставило по новому взглянуть на классическое использование конструкций селективирующей аппаратуры для выделения узких спектральных интервалов в оптическом диапазоне. В ряде случаев, например в аэрозольном зондировании, требуется выделить только один спектральный интервал, и тогда с успехом используются конструкции в составе с интерференционным фильтром. Для одновременного выделения нескольких спектральных интервалов чаще используются монохроматор либо, для выделения отдельных спектральных линий, интерферометр Фабри–Перо. Удачный пример применения световодной технологии в лидарном зондировании можно найти в [1].

Вопросы, связанные с использованием световодов, сводятся, во-первых, к оптимальному согласованию через световодный тракт антенны лидара и спектрального прибора и, во-вторых, к конструктивным особенностям последнего, представляемым световодной оптикой и позволяющим эффективно использовать световые потоки для канала комбинационного рассеяния [2]. Согласование световодного тракта с приемной антенной лидара и спектральной аппаратурой сводится к выполнению следующих условий:

$$d \geq \varphi * F; \quad (1)$$

$$L / 2 \tilde{F} \lesssim \sqrt{n_1^2 - n_2^2}; \quad (2)$$

$$\Delta W = d / f; \quad (3)$$

$$A / 2 \tilde{f} \gtrsim \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (4)$$

где  $d$  – диаметр световода;  $\varphi$  – полная угловая расходимость лазерного пучка;  $F$  и  $L$  – соответственно фокусное расстояние и диаметр приемной антенны;  $f$  и  $A$  – соответственно фокусное расстояние и рабочий диаметр (апертура) объектива монохроматора;  $\Delta W$  – угловая ширина спектральной линии;  $n_1$  и  $n_2$  – соответственно показатели преломления сердечника и оболочки световода.

Выполнение условия (1) обеспечивает полный перехват попадающего на антенну однократно рассеянного излучения. Условие (2) соответствует требованию работы световода при углах захода меньше критических, так как справа стоит числовая апертура световода [3], равная синусу критического угла захода. Условие (3) определяет желаемую угловую ширину щелевой аппаратной функции [4]. Условие (4) обеспечивает полный перехват выходящего из световода излучения объективом монохроматора.

Для световодов наиболее характерные величины апертур находятся в диапазоне 0,2–1,2 мм и для относительных отверстий в диапазоне 2,5–3. Необходимо учитывать, что при передаче излу-

чения по световоду вследствие локальных неоднородностей и изгибов происходит увеличение угловой расходимости пучка до величин числовых апертур световода.

Совместное выполнение условий (1)–(4) для канала комбинационного рассеяния Сибирской лидарной станции происходит следующим образом (рис. 1).

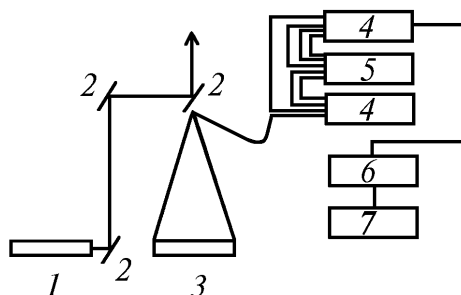


Рис. 1. Канал комбинационного рассеяния Сибирской лидарной станции: 1 – лазер; 2 – отклоняющие зеркала; 3 – зеркало; 4 – блоки двойного монохроматора; 5 – блок ФЭУ; 6 – счетчик фотоэлектронов; 7 – ЭВМ

Диаметр приемного зеркала равен 2,2 м, фокусное расстояние 10 м, относительное отверстие равно 1:5. Расходимость лазерного излучения 1 мин, поэтому размер изображения в фокальной плоскости равен 3 мм. Входной зрачок световода формируется из семи жил диаметром 1 мм, собранных в жгут диаметром 3 мм. На выходе кварцевые жилы световода расположены в линейку и образуют входную щель двойного монохроматора шириной 1 и высотой 7 мм. Относительное отверстие монохроматора 1:3, спектральное содержание входной щели 0,1 нм.

Рассмотрим некоторые конструктивные особенности двойного монохроматора, выполненного со световодной развязкой.

Двойной монохроматор предназначен для выделения нескольких спектральных интервалов: чисто вращательного спектра комбинационного рассеяния (КР) азота, упругого рассеяния на основной линии излучения лазера, линии КР влажности и подавленного фона от основной линии излучения лазера.

Монохроматор состоит из двух идентичных блоков, каждый из которых построен по автоколлимационной схеме с решеткой 1200 штр./мм, работающей в первом порядке, и обеспечивает обратную линейную дисперсию, равную 12 Р/мм. Построение монохроматора по автоколлимационной схеме позволяет уменьшить до минимума влияние aberrаций и астигматизма в плоскости изображения. На выходе первого блока монохроматора световодами, расположенными в линейки размером 1 × 7 мм, выделяются четыре спектральных участка чисто вращательного КР азота, симметрично расположенных относительно также выделяемой основной линии упругого рассеяния, и КР-линия влажности. Спектральная ширина выделяемых участков – 1,2 нм. Выходы световодов для линии упругого рассеяния и КР-линии влажности присоединены к ФЭУ, а выходы остальных четырех образуют входные щели второго блока монохроматора. С выхода второго монохроматора выделяются два спектральных участка чисто вращательного спектра, фоновая линия упругого рассеяния и световодами направляются на ФЭУ.

Световодная развязка, таким образом, позволяет упростить конструкцию монохроматора, исключить общее массивное основание и, самое главное, пространственно перенести оптические оси внутри двойного монохроматора так, чтобы выходные линии после первого монохроматора располагались во входной плоскости второго монохроматора в любой заданной последовательности. В нашем случае во втором блоке монохроматора входные световоды расположены так, чтобы происходило попарное суммирование двух входных спектральных участков в один выходной с подавлением фона на четыре порядка. Решить подобную задачу без световодной развязки практически невозможно.

Если учесть, что подавленный фон, составляющий четыре порядка от основной линии излучения лазера, образован вторичными максимумами при дифракции на решетке и проявляет себя в плоскости изображения в виде линии по высоте, равной высоте входной щели [5], то становится возможной реализация двухлучевого монохроматора, упрощающего конструкцию двойного монохроматора. В настоящее время подобный монохроматор, построенный по автоколлимационной схеме, проходит испытание на Сибирской лидарной станции. Он состоит из

одного блока с решеткой 600 штр./мм, работающей в высоком порядке. В этом монохроматоре входные и выходные плоскости изображения спектра разнесены по вертикали симметрично относительно оси монохроматора (рис. 2). Входная щель и плоскость изображения первой ступени спектрального разрешения находятся ближе к оптической оси монохроматора, входная и выходная плоскости изображения второй ступени – симметрично по краям. Выделенные спектральные участки после первой спектральной ступени световодами заведены во входную плоскость второй ступени монохроматора. Таким образом, осуществляется суммарное подавление фона от основной линии на восемь порядков.

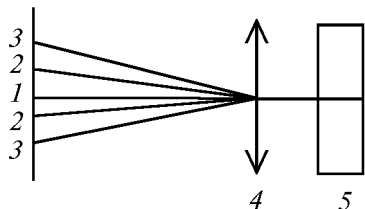


Рис. 2. Двухлучевой монохроматор: 1 – оптическая ось двухлучевого монохроматора; 2 – первая ступень спектрального разрешения; 3 – вторая ступень спектрального разрешения; 4 – линза; 5 – решетка

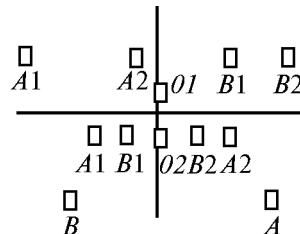


Рис. 3. Расположение щелей в плоскости изображения двухлучевого монохроматора, 01, 02 – входная и выходная щели первой ступени спектрального разрешения; A1, B1, A2, B2 – выделенные спектральные участки чисто вращательного спектра КР азота; A, B – выходные щели второй ступени спектрального разрешения

На рис. 3 показано расположение щелей в плоскости изображения двухлучевого монохроматора. После первой ступени спектрального разрешения выделяются четыре симметрично расположенных участка чисто вращательного спектра КР азота. Спектральная ширина выделяемых участков равна 0,69 нм. Взаимное расположение спектральных участков во входной плоскости второй ступени спектрального разрешения таково, что на выходе второй ступени они складываются в один. Так, входным участкам A1 и A2 соответствует выходная щель A, а спектральные интервалы B1 и B2 складываются в выходной спектральный интервал B. Спектральная ширина выходных спектральных интервалов равна 0,35 нм.

Световоды вносят дополнительные потери в оптическую схему лидара. Основные потери происходят на неоднородностях торцов световодов. В среднем коэффициент пропускания для кварцевых световодов составляет примерно 70 – 80% для видимой области спектра. Однако в условиях, когда необходимо снизить влияния вибраций, стабилизировать параметры пропускания оптического тракта лидара и уменьшить массо-габаритные величины, – выигрыш очевиден.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 93-05-9376.

1. Аршинов Ю.Ф., Бобровников С.М., Шелефонтьук Д.И. и др. // 1-й Межресп. симпозиум «Оптика атмосферы и океана» (Тезисы докл.). Часть 2. Томск. 1994. С. 26–27.
2. Волков С.Н., Кауль Б.В., Шапранов В.А., Шелефонтьук Д.И. // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. № 6. С. 608–610.
3. Красюк Б.А., Корнеев Г.И. // Оптические системы связи и световодные датчики. Вопросы технологии. М.: Радио и связь, 1985. 192 с.
4. Гарасов К.И. // Спектральные приборы. Изд. 2. Л.: Машиностроение, 1974. 368 с.
5. Малышев В.И. // Введение в экспериментальную спектроскопию. М.: Наука, 1979. 480 с.

Институт оптики атмосферы СО РАН,  
г. Томск

Поступила в редакцию  
23 марта 1995 г.

S.N. Volkov, B.V. Kaul, V.A. Shapranov, D.I. Shefontuk. **Some Problems of Narrow Spectral Intervals Separation for Purposes of Laser Sounding of Atmosphere.**

Some problems of light guides use for separation of narrow spectral ranges at laser sounding of atmosphere are treated in the paper, Matching of spectral devices to lidar receivers as well as the peculiarities of the spectral devices used at the Siberian lidar station for Raman scattering channel are examined.