

ЛИДАР ЛСА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Краткое описание

1. ВВЕДЕНИЕ

В последнее время все больше внимания уделяется улучшению экологического состояния Земли путем мониторинга окружающей среды. Большая часть существующих ранее методик по изучению состава воздуха в том или ином промышленном районе была основана на традиционных контактных способах, имеющих ряд ограничений. К примеру, мониторинг загрязнения огромных пространств проводился только в приземном слое, было невозможно определить источники выброса вредных веществ в промышленном районе и т. д.

Решить задачу дистанционного обнаружения источников выбросов вредных веществ в атмосферу позволяют лидары.

Преимущества лазерного зондирования атмосферы:

- ◆ Дистанционность лазерных измерений. Это значит, что наблюдение за выбросами предприятия может проводиться дистанционно, оперативно, без вмешательства в работу предприятия.
- ◆ Возможность определить выбранную характеристику воздушной среды на любом направлении лазерного луча и на различных высотах, что позволяет определить источники вредных выбросов.
- ◆ Хорошее пространственно-временное разрешение (детальное исследование облака загрязняющей примеси, слоя атмосферы и т. д. за короткое время). Это связано с малой длительностью импульса и высокой частотой повторения импульсов лазера. Лазерное зондирование практически мгновенно дает сведения по всей трассе измерений во много раз быстрее, чем изменяется состояние самой атмосферы.
- ◆ Возможность проведения длительных непрерывных измерений (мониторинг атмосферных загрязнений).

Аэрозольный лидар ЛСА – двухволновой лидар, который может быть использован для зондирования концентрации атмосферного аэрозоля, оценки размеров частиц и проведения мониторинга аэрозольного загрязнения в больших городах и промышленных районах.

2. НАЗНАЧЕНИЕ

Назначение прибора

ЛИДАР ЛСА (Рис. 1) предназначен для оперативного дистанционного анализа характеристик атмосферного аэрозоля с помощью лазера, работающего на длинах волн 1064 и 532 нм.



Рис. 1. ЛИДАР ЛСА: Общий вид.

Принцип действия

Принцип действия лидара основан на измерении интенсивности рассеяния лазерного излучения аэрозолем атмосферы. Лидар посылает в атмосферу короткий импульс света и принимает обратно сигнал обратного рассеяния.

Рассеяние света в атмосфере происходит как молекулами воздуха (Релеевское рассеяние), так и частицами аэрозоля. Таким образом, наличие аэрозоля в атмосфере увеличивает сигнал обратного рассеяния по сравнению с чистой атмосферой, и концентрация аэрозоля может быть определена как функция расстояния и интенсивности сигнала на фоне чистой атмосферы.

Возможные области применения аэрозольного лидара

- ◆ Оперативное обнаружение выбросов в атмосферу от промышленных предприятий; оценка интенсивности примеси и рассеяния ее в пространстве; длительный мониторинг выбросов.
- ◆ Зондирование аэрозольных слоев в атмосфере с целью определения переноса примесей на большие расстояния.
- ◆ Раннее обнаружение пожаров, особенно в лесных массивах.
- ◆ Лидар ЛСА может быть успешно использован в образовательных целях. Работая с лидаром в процессе обучения, студенты ознакомятся с основными принципами контроля качества воздуха и современными методами спектроскопии, применяемыми для измерения загрязнения воздуха.

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Общие характеристики

- ◆ Схема измерения дистанционная
- ◆ Диапазон измерений до 10 км
- ◆ Время измерения одного профиля аэрозоля не более 15 мин

Лазерный блок

- ◆ Излучатель Nd:YAG лазер LS-2131
- ◆ Рабочие длины волн 1064, 532 нм
- ◆ Энергия импульса лазера на длине волны 1064 нм до 100 мДж
- ◆ Энергия импульса лазера на длине волны 532 нм до 50 мДж
- ◆ Частота повторения импульсов не более 20 Гц
- ◆ Энергия накачки до 25 Дж
- ◆ Увеличение спектроделителя 52-35-5ХА 5^х

Приемный телескоп

- ◆ Приемник обратно рассеянной радиации телескоп типа Квази-Кассегрена
- ◆ Диаметр главного зеркала телескопа 260 мм
- ◆ Фокусное расстояние 1050 мм
- ◆ Диапазон сканирования по углу места от -10° до +90° от горизонтали
- ◆ Диапазон сканирования по азимуту от -180° до +180°

Фотоприемный блок (анализатор)

- ◆ Число приемных каналов 2 (1064 и 532 нм)
- ◆ Фотоприемники
 - канал 1064 нм: лавинный фотодиод с квантовой эффективностью фотокатода 40%
 - канал 532 нм: фотумножитель (ФЭУ-100) с квантовой эффективностью фотокатода 10%
- ◆ Полуширина пропускания интерфильтра на длине волны 1064 нм (на уровне 0,5) 3 нм
- ◆ Полуширина пропускания интерфильтра на длине волны 532 нм (на уровне 0,5) 2 нм

Система регистрации и обработки сигналов

- ◆ Режим обработки сигналов аналоговый
- ◆ Разрядность АЦП 12 бит
- ◆ Частота стробирования (выборки) 30 МГц
- ◆ Спектральное разрешение 5 м
- ◆ Число измеряемых точек 2048
- ◆ ЛИДАР ЛСА снабжен программным обеспечением для управления работой АЦП и обработки сигналов. Программа ориентирована на использование IBM PC типа Pentium.

Габаритные размеры и вес

- ◆ Приемо-передающая система (телескоп направлен горизонтально) 960×630×1160 мм
- ◆ Стойка с системами питания и охлаждения 530×530×660 мм
- ◆ Общая масса ЛИДАРА не более 180 кг

Условия эксплуатации

- ◆ ЛИДАР ЛСА предназначен для работы в лабораторных помещениях при следующих условиях:
 - температура воздуха (288–303) К (+15 ... +30)°С
 - относительная влажность воздуха при температуре 25°С и ниже (40 – 80)%
 - атмосферное давление 84–104 кПа (630–780 мм рт. ст.)

Питание

- ◆ Питание прибора осуществляется от однофазной сети переменного тока 220 В, частотой 50 Гц, 5А.
- ◆ Максимальная электрическая мощность, потребляемая прибором не более 0,75 кВт

4. СТРУКТУРА И ПРИНЦИП РАБОТЫ ЛИДАРА

4.1. Структура лидара

На схеме Рис. 2 показаны три отдельных функциональных блока (системы), из которых состоит ЛИДАР:

- ◆ **Система приемо-передающая (СПП)**, которая, в свою очередь, состоит из следующих основных элементов:
 - 1 - лазерного блока с лазерным излучателем LS-2131 – для формирования импульсов светового излучения и направления их в атмосферу;
 - 2 - телескопа - для приема обратно рассеянного излучения;
 - 3 - двухканального фотоприемного блока (анализатора) с оптическими элементами, ФЭУ и лавинным фотодиодом - для детектирования обратно рассеянного излучения.
- ◆ **Система питания и охлаждения (СПО)**, в которую входят:
 - 4 - блок питания лазера с пультом управления;
 - 5 - система охлаждения лазера;
 - 6 - высоковольтный (ВВ) источник питания фотоумножителя (ФЭУ);
 - 7 - низковольтный (НВ) источник питания усилителя ФЭУ;
 - 8 - низковольтный (НВ) источник питания модуля лавинного фотодиода.
- ◆ **Система регистрации и обработки сигналов (СРОС)**, состоящая из:
 - 9 - двухканальной платы аналого-цифрового преобразователя (АЦП) – для регистрации выходных сигналов ФЭУ и лавинного фотодиода;
 - 10 - персонального компьютера РС с программным обеспечением - для выполнения измерений и обработки данных.

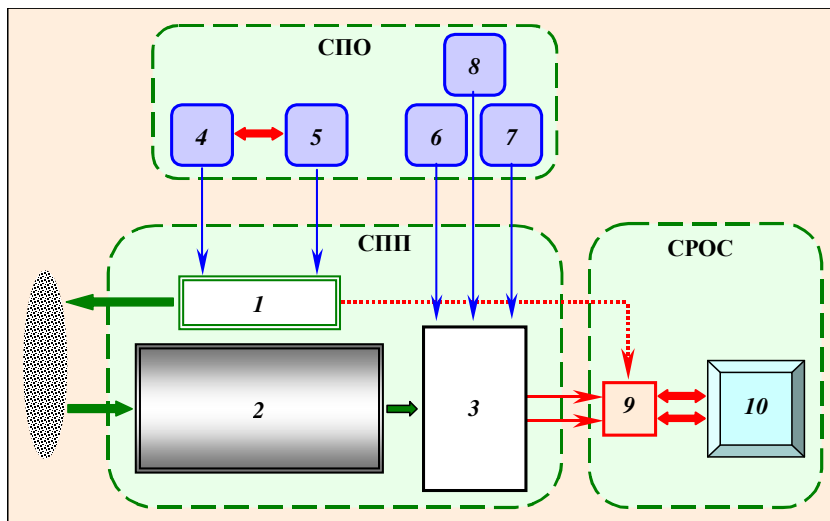


Рис. 2. ЛИДАР ЛСА:
Блок-схема.

На Рис. 3 показано схематическое изображение СПП. Все элементы СПП (лазерный блок 1, приемный телескоп 2 и анализатор 3) смонтированы в единый блок, установленный на альт-азимутальном поворотном устройстве с приводом по углу места и азимуту.

Лазерный блок установлен на верхней плоскости корпуса телескопа с помощью опор. Луч лазера выходит в атмосферу через окно 4. Кабели питания и шланги водяного охлаждения лазерной головки входят в лазерный блок через окно 5 на нижней стенке блока.

Фотоприемный блок (анализатор) смонтирован на задней стенке телескопа.

Приемный телескоп вместе с лазерным и фотоприемным блоками подвешен в вилочной стойке 6 на двух полуосях, что позволяет телескопу перемещаться в вертикальной плоскости с помощью штурвала 9.

Поворотное устройство состоит из вилочной стойки 6, основания 7 и неподвижной платформы 8. Внутри основания расположены подшипники, обеспечивающие вращение телескопа от -180 до 180°. Для этого используется штурвал 10.

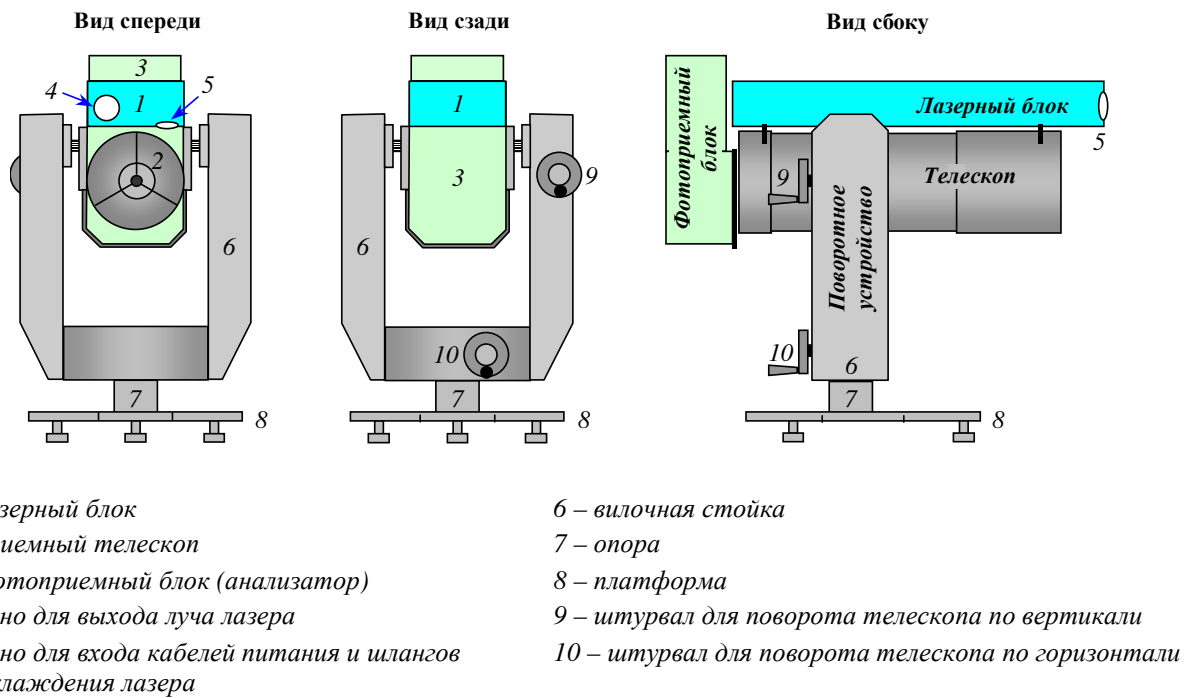


Рис. 3. ЛИДАР ЛСА: Система приемо-передающая (СПП).

4.2. Принцип работы

Лазерная головка испускает короткие импульсы излучения на длинах волн 1064 и 532 нм, которые коллимируются и узким лучом направляются в атмосферу.

Блок питания лазера обеспечивает накачку активного элемента лазера и управляет лазером. Двухконтурная автономная система охлаждения необходима для охлаждения активного элемента лазера.

Излучение лазера, рассеянное в атмосфере в обратном направлении, поступает в апертуру приемного телескопа и через диафрагму поля зрения проходит в анализатор. Здесь излучение разделяется на 2 оптических канала – 1064 и 532 нм.

Световые сигналы поступают на детекторы излучения: на лавинный фотодиод (канал 1064 нм) и на фотумножитель (ФЭУ-100, канал 532 нм). Фотодетекторы преобразуют световые сигналы в электрические (аналоговые) и усиливают их. Для питания фотодетекторов и их усилителей используются ВВ и НВ источники питания.

Далее сигналы поступают в двухканальный аналого-цифровой преобразователь (АЦП), установленный в слот компьютера. АЦП преобразуют аналоговые сигналы ФЭУ в цифровую форму и передают их в память РС для сохранения и дальнейшей обработки.

5. УСТРОЙСТВО И РАБОТА ОСНОВНЫХ БЛОКОВ ИЗДЕЛИЯ

5.1. Лазерный блок

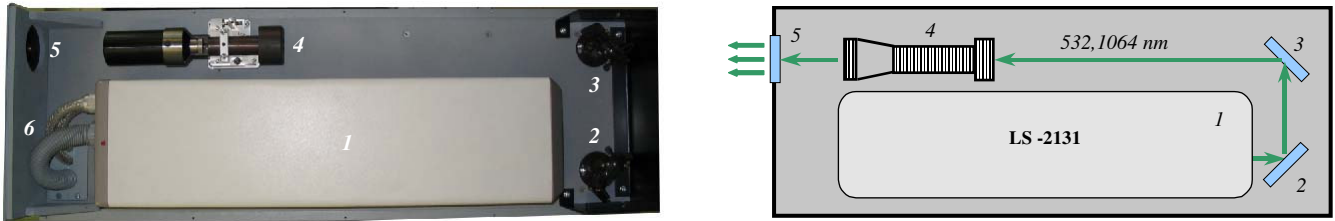
Лазерный блок сконструирован на основе коммерческого лазера LS-2137.

Лазер LS-2137 является Nd:YAG лазером, работающим в режиме модулированной добротности. Прибор предназначен для формирования коротких импульсов оптического излучения на основной частоте 1064 нм, которая частично преобразуется во вторичную гармонику (532 нм) частотным удвоителем (кристаллом ДКДР).

Основные детали и оптическая схема лазерного блока показаны на Рис. 4.

Оптическая схема. Импульс лазерного излучения на длинах волн 1064 и 532 нм отражается зеркалами 2 и 3 и направляется в коллиматор 4. Далее квазипараллельный пучок излучения лазера уходит в атмосферу через окно 5, закрытое защитным стеклом.

Ахроматический коллиматор представляет собой телескопическую систему, предназначенную для увеличения поперечного сечения и уменьшения угловой расходимости излучения лазера.



1 – лазер LS-2131
2, 3 – поворотные диэлектрические зеркала
4 – коллиматор

5 – окно для выхода луча (с защитной пластиной)
6 – рукав с кабелями питания и водяными шлангами

Рис. 4. Лазерный блок: Основные детали и оптическая схема.

Конструкция. Лазерный блок жестко закреплен на верхней плоскости телескопа с помощью специальных опор. Корпус лазерного блока выполнен из алюминиевого сплава. Его габаритные размеры 800×300×130 мм. Внутренние поверхности покрыты светопоглощающей краской. Гибкий рукав **6**, через который протянуты кабель питания, сигнальный кабель от блока питания и шланги водяного охлаждения, проходит через окно в основании корпуса и подсоединяется к лазеру **1**.

5.2. Приемный телескоп

Приемный телескоп предназначен для приема излучения, рассеянного атмосферой, и передачи ее в анализатор. Телескоп представляет собой объектив типа Квази-Кассегрена, состоящий из большого и маленького сферических зеркал, и защитного стекла.

Основные детали и оптическая схема телескопа показаны на Рис. 5.

Оптическая схема. Излучение лазера, рассеянное аэрозолями атмосферы в обратном направлении, поступает через защитное стекло **1** телескопа на главное сферическое зеркало **2** и отражается им на вторичное зеркало **3**. Вторичное зеркало предназначено для увеличения фокальной длины телескопа без увеличения его геометрических размеров. Далее излучение, отразившись от зеркала **3**, проходит через отверстие главного зеркала, предназначенное для пропускания луча в анализатор, и фокусируется в фокальной плоскости объектива телескопа, где установлена диафрагма поля зрения **4**.

Конструкция. Корпус телескопа выполнен из стали. Внутренняя поверхность покрыта светопоглощающей краской. К корпусу объектива крепятся цапфы, на которых он устанавливается в вилочную стойку альтимутального поворотного устройства.

1 – защитное стекло
2 – главное сферическое зеркало
3 – вторичное зеркало
4 – диафрагма поля зрения

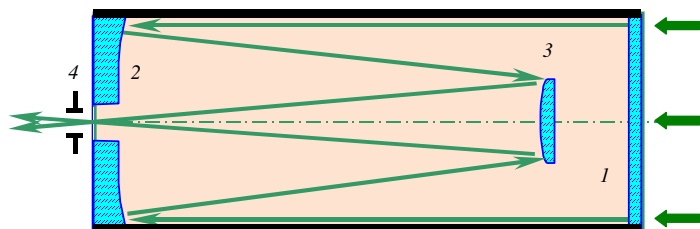


Рис. 5. Приемный телескоп: Основные детали и оптическая схема.

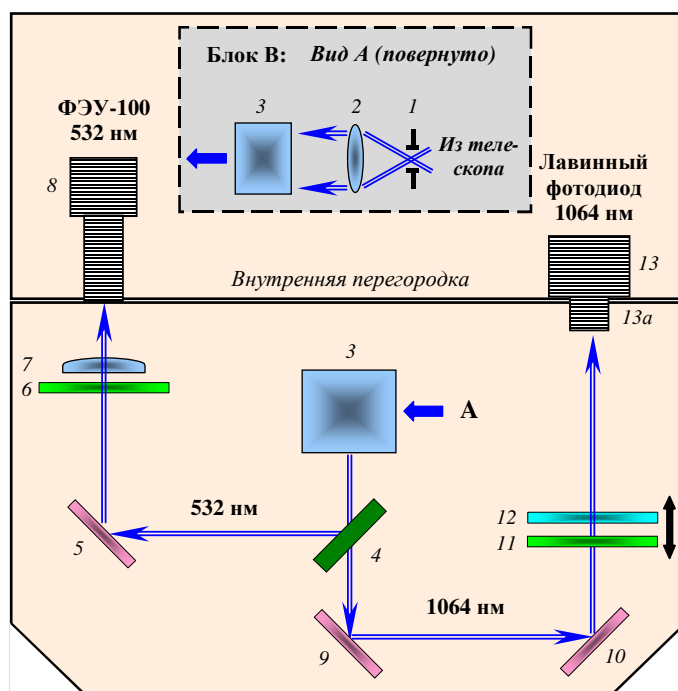
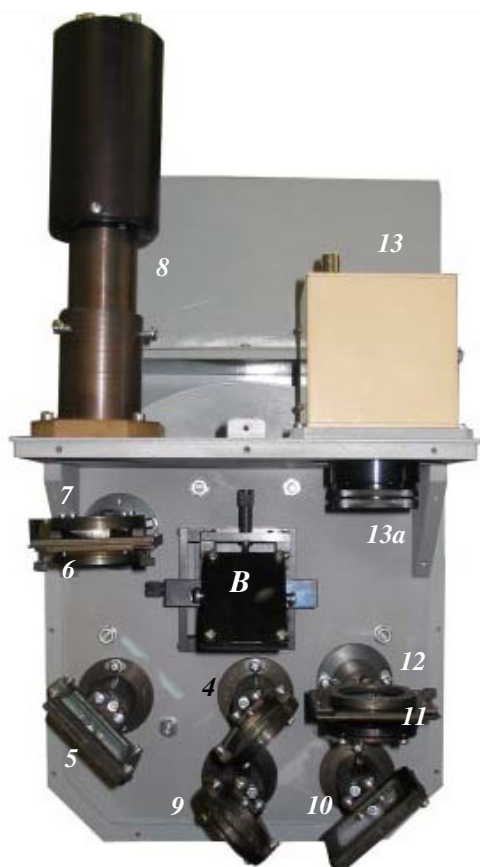
5.3. Двухканальный фотоприемный блок (анализатор)

Двухканальный анализатор предназначен для разделения отраженного атмосферой светового сигнала на отдельные компоненты и регистрации разделенных световых потоков фотодетекторами с последующей передачей информации в систему регистрации и обработки сигнала.

В анализаторе используются два типа фотодетекторов:

- ◆ **канал 532 нм - фотоумножитель ФЭУ-100**, являющийся детектором световых сигналов в УФ и видимой части спектра. ФЭУ-100 смонтирован вместе с широкополосным усилителем выходных сигналов.
- ◆ **канал 532 нм – модуль лавинного фотодиода** (модуль ЛФ), предназначенный для регистрации спектра в ближней ИФ области спектра. Модуль состоит из объектива, лавинного фотодиода Перкина-Элмера, преобразователя напряжения (ВВ блока питания лавинного фотодиода) и усилителя выходных сигналов. Все эти элементы смонтированы в небольшом металлическом корпусе.

Основные детали и оптическая схема анализатора показаны на Рис. 6.



В – блок для пропускания луча из телескопа:

1 – диафрагма поля зрения

2 – коллимирующая линза

3 – поворотное зеркало

4 – спектроделитель 532 / 1064 нм

Канал 532 нм:

5 – диэлектрическое зеркало

6 – интерфильтр

7 – фокусирующая линза

8 – ФЭУ-100

Канал 1032 нм:

9, 10 – диэлектрические зеркала

11 – интерфильтр

12 – нейтральный фильтр

13 – модуль лавинного фотодиода

13a – объектив модуля ЛФ

Рис. 6. Двухканальный анализатор: Основные детали и оптическая схема.

Оптическая схема. В плоскости входной апертуры анализатора (по оптической оси телескопа) расположена плоская пластина с набором диафрагм поля зрения, объединенная с коллимирующей линзой и поворотным зеркалом в один блок **В**. Обратная рассеянная радиация проходит из телескопа через диафрагму поля зрения **1**. Коллимирующая линза Фабри **2**, установленная за диафрагмой, формирует из света, собранного телескопом, почти параллельный луч. Этот луч поворачивается зеркалом **3** на 90° в направлении селективно отражающего спектроделителя **4**, который отражает излучение с $\lambda = 532$ нм и пропускает излучение с $\lambda = 1064$ нм, разделяя тем самым световой поток на два канала:

- ◆ **канал 532 нм** - излучение с $\lambda = 532$ нм, отразившись от диэлектрического зеркала **5**, поступает на фотокатод ФЭУ **8** через интерференционный фильтр **6** и фокусирующую линзу **7**.
- ◆ **канал 1064 нм** – поворотные диэлектрические зеркала **9** и **10** направляют излучение с $\lambda = 1064$ нм на модуль ЛФ **13** через интерференционный фильтр **11** и сменный нейтральный фильтр **12**.

Интерференционные фильтры служат для отделения сигналов обратного рассеяния от фоновой солнечной радиации. Нейтральный фильтр используется для изменения интенсивности светового сигнала, поступающего на лавинный фотодиод. Изображение главного зеркала телескопа формируется на фотокатоде ФЭУ и светочувствительной площадке лавинного фотодиода с помощью фокусирующей линзы **7** и объектива **13a** модуля ЛФ соответственно. Это обеспечивает постоянство положения пятна засветки на фотокатоде и светочувствительной площадке при изменении расстояния зондирования.

Конструкция. Анализатор жестко присоединен к заднему торцу телескопа при помощи винтов. Корпус анализатора изготовлен из алюминия. Его размеры $600 \times 260 \times 160$ мм. Внутренняя поверхность покрыта светопоглощающей краской. Все оптические элементы установлены на опорах, снабженных юстировочными винтами. Корпус разделен внутренней стенкой на два отсека со съемными крышками, что позволяет выполнять ремонтные и наладочные работы. Для смены фильтров на канале 1064 нм используется небольшое окно.

5.4. Система питания и охлаждения



Рис. 7. Лазер LS-2131 с блоком питания и системой охлаждения.

Питание и охлаждение лазера.

Для питания лазера служит блок внешнего электропитания PS –2225 (Рис. 7). Блок питания снабжен дистанционным пультом управления RC-5. Управление лазером может осуществляться также с компьютера.

Для обеспечения теплового режима лазерного источника излучения предназначена автономная двухконтурная система охлаждения CP-1115. Хладагентом внутреннего контура служит деионизированная вода, хладагентом внешнего контура является воздух.



Рис. 8. Высоковольтный источник питания ФЭУ.

Питание ФЭУ-100.

Для электропитания диодной системы ФЭУ используется высоковольтный источник питания (Рис. 8), вырабатывающий стабилизированное и регулируемое высокое напряжение. Максимум выходного напряжения – 2500 В. Блок питания снабжен дистанционным пультом управления.

Стандартный низковольтный источник питания ± 12 В служит для питания усилителя ФЭУ.



Рис. 9. Низковольтный источник питания модуля лавинного фотодиода.

Питание модуля лавинного фотодиода.

Для электропитания внутренних блоков модуля лавинного фотодиода (преобразователя напряжения и усилителя выходных сигналов) используется низковольтный источник питания (Рис. 9) с выходными напряжениями +30 В, 200 мА и ± 12 В, 100 мА.

Стойка для системы питания и охлаждения. Все элементы системы питания и охлаждения устанавливаются внутри металлической стойки (см. Рис. 1) и подключаются к сети 220 В.

5.5. Система регистрации и обработки данных

Плата АЦП. Двухканальный аналого-цифровой преобразователь АЦП предназначен для преобразования аналогового сигнала лидара в цифровой с целью его сохранения и дальнейшей обработки на компьютере. Плата АЦП вставляется в РСА слот компьютера.

Программное обеспечение. Управление процессом измерений осуществляется в интерактивном режиме с помощью «Программы для контроля измерений». Затем для анализа данных используется «Программа обработки данных». Программное обеспечение разработано для IBM PC Pentium I или аналогичных РС.