

**МНОГОВОЛНОВОЙ ЛИДАР ДЛЯ
определения методом лазерного
зондирования концентрации и размеров
частиц, выбрасываемых цементными и
металлургическими заводами и другими
предприятиями**

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Метод измерения	Некогерентное обратное рассеяние
Измеряемые вещества	Частицы пыли промышленного происхождения, аэрозоль, облака
Диапазон измерений	2 – 12 км
Разрешение по вертикали	15 м (типично - 150 м)
ИЗЛУЧАТЕЛЬ	
Лазер	LS-2137
Длины волн	1064, 532, 355 нм
Энергия импульса	
– на длине волны 1064 нм	550 мДж
– на длине волны 532 нм	300 мДж
– на длине волны 355 нм	120 мДж
Частота повторения импульсов	от 1 до 10 Гц
Длительность импульса лазерного излучения по уровню 0,5	не более 15-17 нс
Диаметр пучка лазерного излучения по уровню 0,9	не более 8 мм
Угловая расходимость лазерного луча по уровню 0,5	не более 2 угл. мин
Электропитание	Однофазное 220 В, 50 Гц, 10 А
Потребляемая лазером мощность	не более 1000 Вт
ПРИЕМНИК	
Диаметр главного зеркала телескопа	600 мм
Поле зрения телескопа	2,1 – 10 угл. мин
Число приемных каналов	2 – 4
Полоса пропускания интерференционных фильтров по уровню 0,5:	
– на длине волны 1064 нм	4 нм
– на длине волны 532 нм	2,0 нм; 3,0 нм
– на длине волны 387 нм	3,9 нм
– на длине волны 355 нм	5,0 нм
Режим обработки сигналов	Аналоговый
Фотоприемники	Лавинный фотодиод , ФЭУ-100 (3 шт.)
АЦП	Два 30 МГц / 12 бит, двухканальные
ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО	

1. НАЗНАЧЕНИЕ

Назначение прибора

МНОГОВОЛНОВОЙ МОБИЛЬНЫЙ ЛИДАР предназначен для оперативного дистанционного анализа характеристик атмосферного аэрозоля и облачных образований в атмосфере с помощью лазера, работающего на длинах волн 1064, 532 и 355 нм.

Данный аппаратный комплекс представляет собой многоволновой лидар, установленный в транспортном средстве (в фургоне автотракторного прицепа).

На Рис. 1 показан его внешний вид.



Рис. 1. **МНОГОВОЛНОВОЙ МОБИЛЬНЫЙ ЛИДАР**: 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.

Области применения

Лидары подобного типа уже много лет используются в России и за рубежом для мониторинга загрязнений в атмосфере.

Данный лидар используется для контроля за выбросами цементных заводов в белгородской области. Возможно также его использование для контроля за аэрозольными выбросами металлургических предприятий, разрезов, других промышленных предприятий. Возможен также контроль за возгоранием пожвров в городах и индустриальных районах.

2. УКАЗАНИЯ МЕР БЕЗОПАСНОСТИ



2.1. Чем опасно излучение лазера



2.2. Общие правила безопасности

ЛЮБЫЕ ОПЕРАЦИИ ПО НАСТРОЙКЕ, РАБОТЕ И ОБСЛУЖИВАНИЮ ЛИДАРА БЕЗ СОБЛЮДЕНИЯ УКАЗАННЫХ ЗДЕСЬ ПРАВИЛ МОГУТ ПРИВЕСТИ К СЕРЬЕЗНОМУ ОБЛУЧЕНИЮ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ!

ЛАЗЕР, являющийся одним из основных элементов конструкции МНОГОВОЛНОВОГО ЛИДАРА, относится к 3 классу опасности в соответствии с ГОСТ 12.1.040-83.

ИСХОДЯЩЕЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ УГРОЗУ ОБЛУЧЕНИЯ ГЛАЗ ПРЯМЫМ, ЗЕРКАЛЬНО ОТРАЖЕННЫМ, А ТАКЖЕ И ДИФFUЗНО ОТРАЖЕННЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ НА РАССТОЯНИИ 10 СМ ОТ РАССЕИВАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ.

ДЛЯ КОЖИ ОПАСНО ОБЛУЧЕНИЕ ПРЯМЫМ И ЗЕРКАЛЬНО ОТРАЖЕННЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ.

Уровни лазерного излучения на рабочих местах не должны превышать предельно допустимых уровней лазерного излучения, регламентируемых «Санитарными нормами и правилами устройства и эксплуатации лазеров» (№ 2392-81).

Предельно допустимые уровни приведены ниже:

- для первичных биологических эффектов..... $H = 1,1 \times 10^{-6}$ Дж/см²
- для вторичных биологических эффектов..... $H = 1,3 \times 10^{-7}$ Дж/см²
- для кожи $H = 1,2 \times 10^{-5}$ Дж/см².

Ниже перечислены общие правила безопасности, которыми должен руководствоваться каждый работающий с МНОГОВОЛНОВЫМ ЛИДАРОМ.

- 1) Работа с лидаром допускается только в четко обозначенном помещении с ограниченным допуском.
- 2) Во время работы лидара следует установить соответствующие предупреждающие знаки, видимые всем. Все входы в помещение должны быть закрыты.
- 3) Техобслуживание лидара осуществляется только квалифицированным персоналом. При отсутствии такового лидар должен быть полностью выключен.
- 4) Рабочая область лидара должна быть хорошо освещена, чтобы зрачки глаз работающего персонала были сужены для уменьшения поступающего в глаз количества света и снижения опасности облучения.
- 5) В помещении, в котором зажигается лазер лидара, не должно быть никаких летучих легко воспламеняющихся веществ.
- 6) Позади области мишени следует установить жаропрочное покрытие, а окружающие области покрыть рассеивающим материалом для поглощения любой рассеянной радиации, которая может появиться.
- 7) Любая возможность появления на пути лазерного луча людей, транспортных средств и самолетов должна быть исключена.
- 8) ЗАПРЕЩАЕТСЯ РАБОТАТЬ С ЛИДАРОМ В ОДИНОЧКУ. Работа разрешается только в присутствии по крайней мере двух квалифицированных сотрудников.

2.3. Оптическая безопасность



9) Запрещается оставлять работающий лидар без обслуживающего персонала.

1) Основной заботой должна быть безопасность глаз.

ПРЯМОЙ КОНТАКТ ГЛАЗА С ЛУЧОМ ЛАЗЕРА МОЖЕТ ВЫЗВАТЬ ДОЛГОВРЕМЕННОЕ ИЛИ ДАЖЕ НЕОБРАТИМОЕ ПОВРЕЖДЕНИЕ ГЛАЗА!

СЕРЬЕЗНОЕ ПОВРЕЖДЕНИЕ ГЛАЗ МОЖЕТ ПРОИЗОЙТИ ПРИ ЗЕРКАЛЬНОМ ОТРАЖЕНИИ ЛУЧА ЛАЗЕРА ОТ ПОЛИРОВАННЫХ БЛЕСТЯЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.

ДЛЯ ЗАЩИТЫ ГЛАЗ ОТ ЭНЕРГИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СЛЕДУЕТ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ЗАЩИТНЫЕ ОЧКИ С ДОСТАТОЧНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТЬЮ В СООТВЕТСТВУЮЩЕМ ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН (СО СВЕТОФИЛЬТАМИ СЗС-22 И ОС).

КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ РАБОТАТЬ С ВКЛЮЧЕННЫМ ЛИДАРОМ БЕЗ ЗАЩИТНЫХ ОЧКОВ !!!

2) Запрещается смотреть прямо на луч лазера или на его отражение. Если включен источник питания, визуальная настройка таких источников света не должна производиться, так как существует постоянная опасность для глаз.

3) Весь дополнительный персонал должен находиться вне рабочей области. Следует удалить из рабочей области все блестящие отражающие поверхности (включая кольца и перстни, браслеты часов, металлические ручки и карандаши и т.д.) и все контейнеры с горячими веществами.

4) Для защиты персонала от случайного поражения излучением необходимо экранировать луч лазера, а также зеркально отраженные лучи экранами, крышками, а также использовать индивидуальные средства защиты - защитные очки.

2.4. Электрическая безопасность

1) Обслуживающий персонал должен быть аттестован на знание «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей и правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», а также «Санитарными нормами и правилами устройства и эксплуатации лазеров».

Квалификационная группа по электробезопасности – III.

2) При работе с лидаром необходимо строго руководствоваться «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей».

3) Лазерный блок и блоки системы питания и охлаждения лазера снабжены специальными разъемами для заземления приборов в соответствии с требованиями безопасности.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ РАБОТАТЬ С ЛИДАРОМ БЕЗ ЗАЗЕМЛЕНИЯ!

4) Устройство лидара гарантирует защиту персонала от электрошока и поражения лазерным излучением при условии соблюдения правил безопасности.

5) Для предотвращения несчастных случаев от поражения электрическим током следует следить, чтобы перед выполнением любых работ по обслуживанию или ремонту все конденсаторы были полностью разряжены, а источники питания выключены.



2.5. Дополнительные правила безопасности

Электрoшок в результате удара током при разряде конденсатора или от источника тока может вызвать серьезное повреждение здоровья и даже смерть.

- 6) Следует помнить о наличии **ПОВЫШЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ** в цепях управления и электропитания при включенном источнике питания лазера.
- 7) При открывании крышки блока излучателя лазера должен срабатывать блок безопасности, автоматически отключающий источник питания лазера.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ РАБОТАТЬ С ОТКРЫТОЙ КРЫШКОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЯ ПРИ ВКЛЮЧЕННОМ ИСТОЧНИКЕ ПИТАНИЯ.

- 8) Запрещается разборка электрооптического затвора.
- 9) При работе с лидаром персонал должен находиться на защитном изоляционном покрытии.
- 1) Сопротивление изоляции между высоковольтными контактами лазера, а также относительно корпуса лазера не должно быть меньше 100 МОм.
- 2) Температура поверхности корпуса лазера во время работы лазера не должна превышать 313К (40°C).
- 3) Линзы, призмы, кюветы и другие оптические элементы, установленные по ходу лазерного луча, должны быть снабжены блендами с матовой поверхностью для снижения рассеивания излучения.
- 4) Поверхности внутренних конструкций и оборудования должны быть матовыми с коэффициентом отражения не более 0,4. Уровень лазерного излучения на рабочих поверхностях не должен превышать максимально допустимых уровней излучения лазера в соответствии с принятыми *Санитарными нормами*.
- 5) Оптические системы наблюдения должны обеспечивать ослабление излучения до безопасного уровня.
- 6) Все автоколлимационные трубы и другие приспособления для визуальной юстировки должны быть снабжены вмонтированными защитными фильтрами с полосой поглощения основной длины волны (1064 нм) и длин волн оптических гармоник (532 и 355 нм). Указанные фильтры подбираются по ГОСТ 9411-81.

Примечание: Подробные инструкции по безопасности при работе с лазером см. также в документе «*Лазер LS-2137*».



3. СТРУКТУРА И ПРИНЦИП РАБОТЫ ЛИДАРА

3.1. Структура лидара

МНОГОВОЛНОВОЙ МОБИЛЬНЫЙ ЛИДАР состоит из следующих отдельных функциональных блоков (систем):

- **системы приемо-передающей (СПП)** (см. фото на Рис. 3 и схематическое изображение на Рис. 4). СПП, в свою очередь, состоит из следующих основных элементов:
 - лазерного блока с лазерным излучателем LH-2137;
 - приемного телескопа;
 - анализатора;
- **системы питания и охлаждения (СПО)**, в которую входят:
 - блок питания лазера PS-2225M с пультом управления RS-5;
 - система охлаждения лазера CP-1125;
 - высоковольтные (ВВ) источники питания ФЭУ;
 - низковольтный (НВ) источник питания термоэлектрического холодильника ФЭУ-83 (источник питания ТХ);
 - система водяного охлаждения термоэлектрического холодильника ФЭУ-83 (система охлаждения ТХ);
- **системы регистрации и обработки сигналов**, состоящей из:
 - персонального компьютера PC с программным обеспечением для выполнения измерений и обработки данных;
 - двух двухканальных плат АЦП, установленных в слот компьютера.
- **транспортного средства** (специального фургона, установленного на автотракторный прицеп) с системой для открывания и сдвига крыши и подъема лидара.

Примечания:

1. ВВ источники питания и источник питания ТХ входят в состав электронного блока СПП (ЭлБл СПП), см. ниже.
2. Компьютер в поставку прибора не входит.

Конструктивно элементы СПП и СПО смонтированы в единый блок, установленный на альт-азимутальном поворотном устройстве с приводом по углу места и азимуту.

Блок-схема МНОГОВОЛНОВОГО ЛИДАРА показана на Рис. 2.

Система приемо-передающая:

- 1 – лазерный блок
- 2 – приемный телескоп
- 3 – анализатор

Система питания и охлаждения:

- 5 – блок питания лазера
- 6 – система охлаждения лазера
- 7 – источники питания ФЭУ и ТХ (элементы ЭлБл СПП)
- 8 – система охлаждения ТХ

Система регистрации и обработки данных

- 9 – АЦП (2 шт.)
- 10 – компьютер (PC)

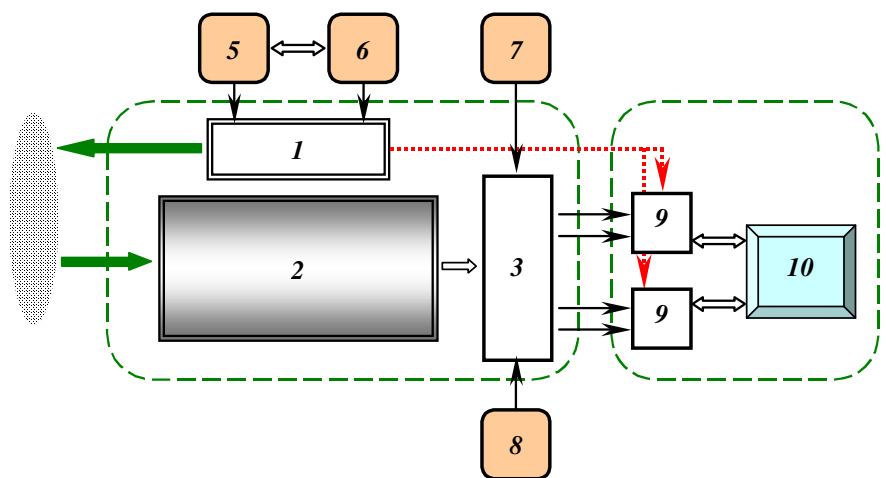


Рис. 2. МНОГОВОЛНОВОЙ ЛИДАР: Блок-схема.

Основные элементы СПП и СПО лидара показаны на Рис. 3 (фото) и Рис. 4 (схематическое изображение).

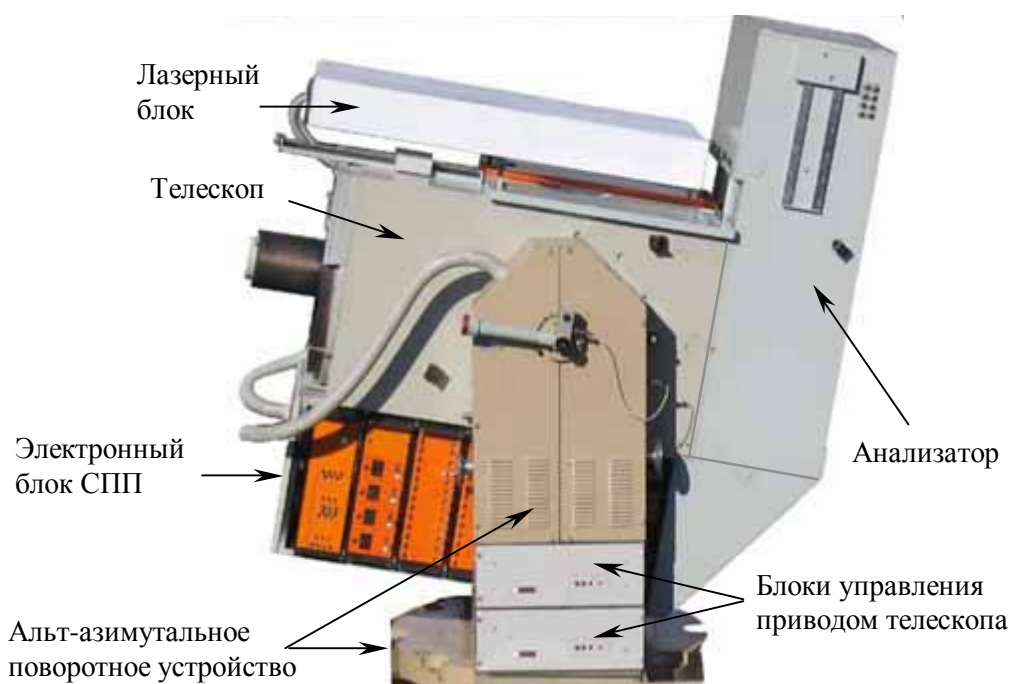


Рис. 3. **МНОГОВОЛНОВОЙ ЛИДАР**: Система приемо-передающая (СПП).

Приемный телескоп

Альт-азимутальное поворотное устройство (см. Рис. 3) состоит из вилочной стойки 8 и платформы 9 (см. Рис. 4).

Корпус объектива приемного телескопа 5 закрепляется внутри вилочной стойки с помощью цапф. В полости вилочной стойки (с правой стороны) размещено поворотное устройство, позволяющее телескопу поворачиваться в вертикальном направлении. Для этого используется штурвал 10. Шкала 13 служит для индикации угла места.

Вилочная стойка установлена на круглой платформе, нижняя часть которой неподвижна, а верхняя часть вращается на подшипниках в горизонтальном направлении от 0 до 360° с помощью штурвалов 11 и 12.

Помимо штурвалов, управление поворотом телескопа может осуществляться дистанционно с пульта, контролирующего работу шаговых двигателей привода телескопа через два блока управления, смонтированных в вилочной стойке справа (по углу места (поз. 15) и по азимуту (поз. 16)).

Зрительная труба 6 приемного телескопа установлена на правой боковой поверхности вилочной стойки.

Защитное стекло телескопа закрывается крышкой 7 с цилиндрическим выступом, в котором находится узел юстировки вторичного зеркала телескопа.

Лазерный блок

На верхней плоскости корпуса телескопа монтируется подвижная плита 2, на которую, в свою очередь, устанавливается лазерный блок 1. Луч лазера выходит в атмосферу через окна 3, закрытые защитными стеклами с крышками. Юстировка лазерного блока для направления луча лазера вдоль оптической оси телескопа производится юстировочным винтом 4 лазерного блока и регулировочными винтами плиты 2.

Анализатор

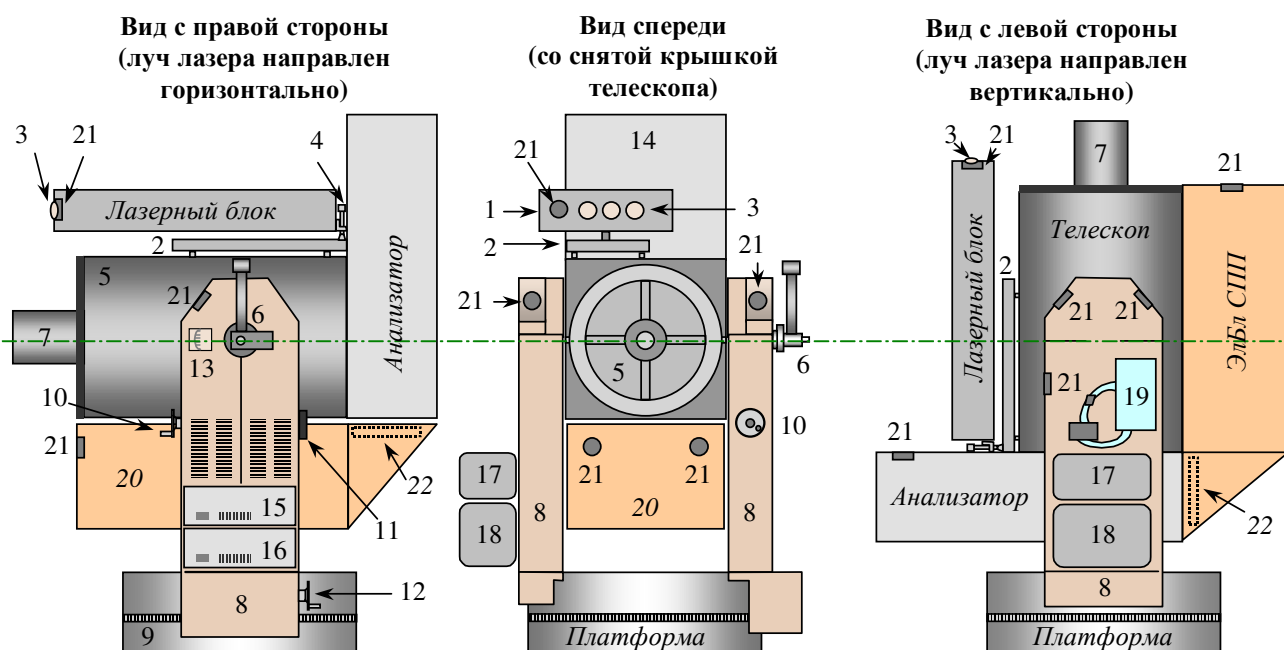
К заднему торцу корпуса телескопа жестко прикрепляется анализатор (поз. 14), в котором установлены оптические элементы анализатора, фотоприемники (ФЭУ), шаговые двигатели и низковольтный блок питания усилителей ФЭУ.

Система питания и охлаждения

На левой боковой поверхности вилочной стойки укреплены система охлаждения и блок питания лазера (поз. 17 и 18). Выше внутри стойки расположена система водяного охлаждения ТХ (поз. 19), состоящая из бачка с водой, насоса и датчика протока воды.

На нижней плоскости корпуса телескопа смонтирован электронный блок СПП (ЭлБл СПП, поз. 20), элементами которого являются ВВ источники питания ФЭУ и источник питания ТХ.

Кабели питания, сигнальные кабели и шланги водяного охлаждения проходят через 3 гибких металлических рукава (не показаны на Рис. 4), соединяющих входные и выходные окна 21 различных элементов приемно-передающей системы лидара.



- 1 – лазерный блок
- 2 – подвижная плита для юстировки лазера
- 3 – окна для выхода лазерного луча
- 4 – юстировочный винт лазерного блока
- 5 – приемный телескоп
- 6 – зрительная труба
- 7 – узел юстировки вторичного зеркала телескопа
- 8 – вилочная стойка альт-азимутального устройства
- 9 – платформа альт-азимутального устройства
- 10 – штурвал для поворота телескопа в вертикальной плоскости
- 11, 12 – штурвалы для поворота телескопа в горизонтальной плоскости
- 13 – шкала индикатора угла места
- 14 – анализатор
- 15 – блок управления приводом телескопа по углу места
- 16 – блок управления приводом телескопа по азимуту
- 17 – блок питания лазера
- 18 – система охлаждения лазера
- 19 – система охлаждения ТХ
- 20 – электронный блок СПП (ВВ источники питания ФЭУ и источник питания ТХ)
- 21 – окна для входа/выхода металлических рукавов с кабелями питания, сигнальными кабелями и шлангами водяного охлаждения
- 22 – распределительный щит ЭлБл СПП

Рис. 4. **МНОГОВОЛНОВОЙ ЛИДАР:** Основные компоненты системы приемо-передающей и системы питания и охлаждения (виды спереди и сбоку).

3.2. Принцип работы лидара

Примечание: Кроме указанных источников питания, в состав ЭлБл СПП входят блок управления СПП (контроллер) и блоки, которые в поставляемом варианте лидара не используются (блок отсечек и 2 блока управления шаговыми двигателями анализатора с помощью компьютера). Подробное описание ЭлБл СПП дано в документе «СПП».

Ниже приводится краткое описание принципа работы МНОВОВОЛНОВОГО МОБИЛЬНОГО ЛИДАРА.

Лазерная головка испускает короткие импульсы излучения на длинах волн 1064, 532 и 355 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 по длинам волн или поляризациям в зависимости от выбранного типа измерений. В мнововолновом режиме измерений задействованы четыре параллельных канала измерений, в которых регистрируются сигналы обратного аэрозольного и молекулярного рассеяния на длинах волн излучения лазера 1064, 532 и 355 нм, а также сигнал обратного комбинационного (рамановского) рассеяния на атмосферном азоте на длине волны 387 нм. При поляризационных измерениях измеряются две поляризационных компоненты сигнала обратного рассеяния на длине волны 532 нм. Одна из компонент имеет поляризацию параллельную, а другая – перпендикулярную направлению поляризации лазерного излучения, направляемого в атмосферу.

Световые сигналы в каждом из работающих каналов поступают на фотумножители (ФЭУ), служащие детекторами излучения. Для питания ФЭУ используются ВВ источники питания, а для питания усилителей ФЭУ и термоэлектрического холодильника - НВ источники питания.

На выходе ФЭУ сигналы усиливаются и поступают в два двухканальных аналого-цифровых преобразователя (АЦП), установленных в слот компьютера. АЦП преобразуют аналоговые сигналы ФЭУ в цифровую форму и передают их в память РС для сохранения и дальнейшей обработки.