



## ЛИДАР. НА ПУТИ К ЦИФРОВОМУ ПРИБОРУ

В.Привалов, д.ф. – м.н., Санкт-Петербургский  
государственный политехнический университет,  
www.spbstu.ru

Дистанционное лазерное зондирование  
осуществляют с помощью лидаров.

Точность измерений – это всегда качество  
и безопасность. Пока лидары имеют большую  
погрешность измерений. В статье рассмотрены  
инструментальные методы ее снижения.

**П**очти тридцать лет отделяют нас от момента  
издания первых книг, посвященных лазер-  
ному дистанционному зондированию окру-  
жающей среды [1, 2]. Позднее, с развитием лидарной  
техники, появились новые работы [3, 4], отражаю-  
щие новые результаты. Создавалось впечатление,  
что все достоинства и недостатки лидарных техно-  
логий зондирования достаточно хорошо изучены.  
Но возникли новые подходы к выводу лидарного  
уравнения [5, 6], и следует ожидать, что они приве-  
дут нас к новым, более усовершенствованным лида-  
рам. Рассмотрим схемы работы некоторых из них.

Конструкция разработанного мобильного  
лидарного комплекса для дистанционного кон-  
троля атмосферы [7] представляет собой плат-  
форму, на которой установлены элементы изме-  
рительной системы: твердотельный лазер, два  
ТЕА (Transversely Excited Atmospheric) CO<sub>2</sub>-лазера,  
телескоп, двухкоординатный зеркальный сканер,  
оптические системы передачи излучения, при-  
емная спектральная система. Там же помещена  
система синхронизации, блок сопряжения, состо-  
ящий из блока управления приводами и блока  
сбора информации от датчиков, вычислительно-  
управляющий комплекс. Твердотельный лазер  
выполнен в виде двухканального перестраивае-  
мого излучателя на основе Ti:Sapphire с блоками  
Nd-излучателей. Каждый ТЕА CO<sub>2</sub>-лазер снабжен  
парой идентичных, оптически соединенных  
между собой CO<sub>2</sub>-лазеров (гетеродинным и инжек-  
ционным). При этом оптическая система пере-  
дачи излучения каждого канала двухканального  
гетеродинного лидара состоит из двух частей.  
Комплекс обладает большими возможностями,  
но довольно громоздок.

## LIDAR. ON THE WAY TO DIGITAL DEVICE

V. Privalov, Doctor of Science (Phys. and Mathemat.)  
Saint-Peterburg State Polytechnical University, www.  
spbstu.ru

Lidar is the instrument with the help of which  
the remote laser probing is performed. Quality  
and safety of human vital activities depend on  
the value of measurement error. Unfortunately,  
so far the lidar measurements have large error  
and the search of methods of its reduction is  
continued.

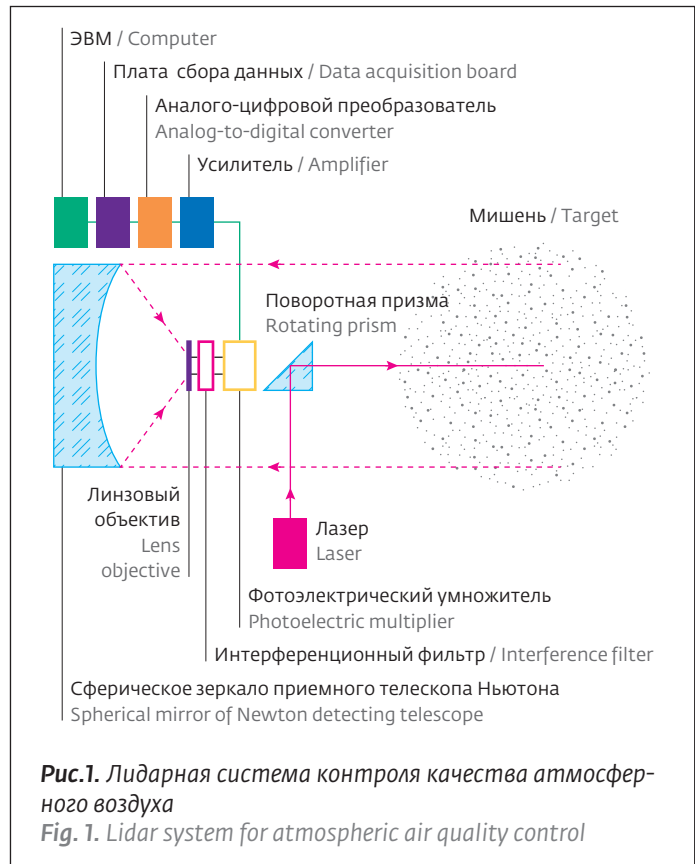
**A**lmost 30 years separate us from the occurrence  
of the first books devoted to the laser remote  
probing of environment [1, 2]. Later, reviews  
and books which cover the development of lidar  
equipment have occurred, for example [3, 4]. It seemed  
that the advantages and disadvantages of lidar probing  
technologies were well known. But new approaches to  
the formulation of lidar equation [5, 6] are planned and  
it should lead us to the creation of improved lidars. Let us  
consider several of them.

The mobile lidar complex for the remote control  
of atmosphere has been developed [7]. It contains the  
platform and following components installed on it: solid-  
state laser, two TEA (Transversely Excited Atmospheric)  
CO<sub>2</sub> lasers, telescope, two-coordinate mirror scanner,  
optical systems of radiation transmission, detecting  
spectral system; synchronization system, interface  
unit which includes: drive control unit and unit of  
accumulation of the data received from sensors, control  
computing unit, solid-state laser is executed by two-  
channel adjusting to Ti: Sapphire with the units of Nd  
emitters; every TEA CO<sub>2</sub>-laser is equipped with the pair of  
identical, optically interconnected CO<sub>2</sub>-lasers (heterodyne  
and injection), exit connected with the entrance of TEA  
CO<sub>2</sub>-laser which jointly form two-channel heterodyne  
lidar and the optical system of radiation transmission of  
every channel of two-channel heterodyne lidar consists  
of: connected with the exit of TEA CO<sub>2</sub>-laser, first part of  
the optical path which is connected with the optical key-  
modulator, second part of optical path, bottom part of  
telescopic radiation beam expander, half of telescope and  
scanner lens. The complex has great capabilities but it is  
quite bulky. In many cases the part of tasks can be solved  
by simpler device which is suggested by authors [8].

Simplification of the construction of lidar system  
for atmospheric air quality control is performed at the

В ряде случаев часть практических задач можно выполнить более простым устройством, которое предложено авторами [8]. Упрощение конструкции лидарной системы контроля качества атмосферного воздуха осуществлено за счет использования принципа комбинационного рассеяния света. Это позволяет использовать только один лазер для определения степени загрязнения атмосферного воздуха молекулами предельных углеводородов в атмосфере над промышленной зоной. Лидарная система состоит из платформы с установленными на ней твердотельным лазерным излучателем на алюмоиттриевом гранате с неодимом, работающим в режиме третьей гармоники на длине волны 355 нм, оптической системы передачи лазерного излучения, приемного телескопа, блока сбора информации и вычислительно-управляющего комплекса.

Оптическая система передачи лазерного излучения дополнительно содержит преломляющую призму, направляющую лазерное излучение в исследуемую область пространства. Приемный телескоп выполнен в виде телескопа типа Ньютона со сферическим зеркалом и линзовым объективом. Блок сбора информации содержит интерференционный светофильтр для выделения участка спектра комбинационного рассеяния света исследуемыми молекулами с линиями молекул углеводородов, фотоэлектрический умножитель, масштабный усилитель, аналого-цифровой преобразователь и плату сбора данных.



**Рис.1.** Лидарная система контроля качества атмосферного воздуха  
**Fig. 1.** Lidar system for atmospheric air quality control

expense of use of the principle of combination light scattering which allows using only one laser for the determination of the degree of atmospheric air pollution with the molecules of saturated hydrocarbons in the atmosphere above the industrial zone. The lidar system for atmospheric air quality control is constructed on the



Основными загрязняющими веществами над промышленным предприятием являются молекулы предельных углеводородов. Поэтому целесообразно использовать сложное оборудование для многокомпонентного анализа воздушного пространства над исследуемой областью, а достаточно использовать простую в исполнении лидарную систему для определения степени загрязнения атмосферного воздуха только молекулами предельных углеводородов.

Принцип лазерного дистанционного зондирования методом комбинационного рассеяния света известен. Он заключается в регистрации лазерного излучения, комбинационно рассеянного молекулами предельных углеводородов, с частотным сдвигом, характерным именно для этих молекул и определяемым спектром их колебаний. При этом учитывают лишь та доля рассеянного излучения, которая направлена в противоположную относительно зондирующего излучения сторону.

Лидарная система контроля качества атмосферного воздуха, оптическая схема которой представлена на рис.1, работает следующим образом. Импульс твердотельного лазерного излучателя на алюмоиттриевом гранате с неодимом, работающего в режиме третьей гармоники на длине волны 355 нм, направляется в исследуемую область пространства (мишень) над промышленной зоной. Часть лазерного излучения используется для создания опорного сигнала, который задает начало отсчета времени, а его амплитуда – энергию лазерного импульса. Рассеянное назад излучение комбинационного рассеяния света исследуемыми молекулами собирается телескопом типа Ньютона, фокусируется через линзовый объектив, проходя сквозь интерференционный светофильтр на фотокатод фотоумножителя. Импульс напряжения с ФЭУ подается на вход масштабного усилителя, затем при помощи аналого-цифрового преобразователя, через плату сбора данных, сигнал поступает в ЭВМ, где информация обрабатывается стандартным программным обеспечением и формируется сигнал для передачи его по каналам связи (Internet, wi-fi и т.д.).

Для сопоставления достоверности измерений были рассчитаны оценки мощности регистрируемого излучения комбинационного рассеяния света молекулами предельных углеводородов по лидарному уравнению для комбинационного рассеяния света исследуемыми молекулами.

Полученные результаты подтверждают, что для заданной концентрации зондируемых атомов  $N_a$

на основе принципа комбинационного рассеяния света. Лидарная система состоит из платформы с установленным на ней твердотельным лазерным излучателем на иттрий-алюминий-гранате с неодимом, работающим в режиме третьей гармоники на длине волны 355 нм, оптической системе лазерной радиации, обнаруживающей телескоп, блок для накопления и управления данными.

Оптическая система лазерной радиации дополнительно содержит рефрактивный призм, направляющий лазерную радиацию в исследуемую область. Обнаруживающий телескоп выполнен в виде телескопа Ньютона с сферическим зеркалом и линзовым объективом, а блок для накопления данных содержит интерференционный светофильтр для выбора области комбинационного рассеяния света молекулами предельных углеводородов, фотоэлектрический умножитель, усилитель сигнала, аналого-цифровой преобразователь и блок для сбора данных.

Молекулы насыщенных углеводородов относятся к основным загрязнителям атмосферы над промышленным предприятием. Поэтому, нецелесообразно использовать сложное оборудование для многокомпонентного анализа воздуха над исследуемой областью, а достаточно использовать простую в исполнении лидарную систему, позволяющую определять степень загрязнения атмосферы молекулами насыщенных углеводородов.

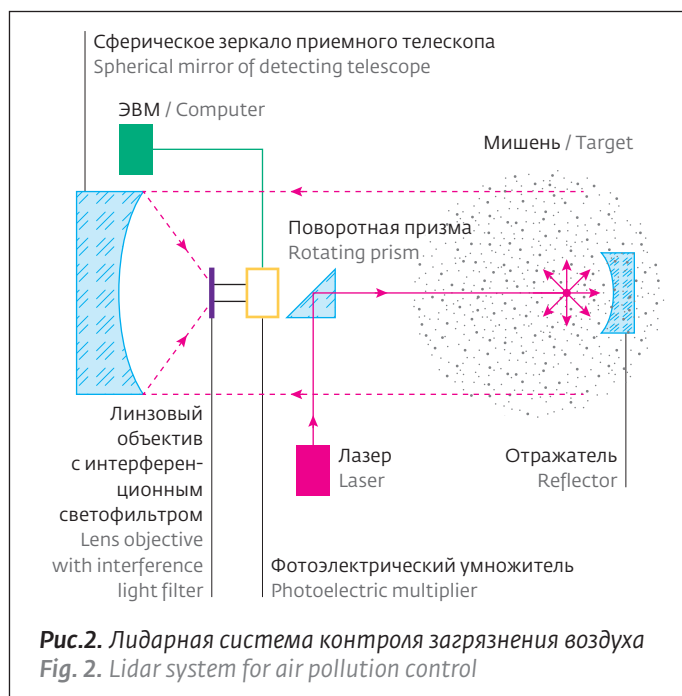
Принцип лазерного дистанционного зондирования методом комбинационного рассеяния света известен. Он заключается в регистрации лазерного излучения, комбинационно рассеянного молекулами предельных углеводородов, с частотным сдвигом, характерным именно для этих молекул и определяемым спектром их колебаний. При этом учитывают лишь та доля рассеянного излучения, которая направлена в противоположную относительно зондирующего излучения сторону.

Лидарная система контроля качества атмосферного воздуха, оптическая схема которой представлена на рис.1, работает следующим образом. Импульс твердотельного лазерного излучателя на алюмоиттриевом гранате с неодимом, работающего в режиме третьей гармоники на длине волны 355 нм, направляется в исследуемую область пространства (мишень) над промышленной зоной. Часть лазерного излучения используется для создания опорного сигнала, который задает начало отсчета времени, а его амплитуда – энергию лазерного импульса. Рассеянное назад излучение комбинационного рассеяния света исследуемыми молекулами собирается телескопом типа Ньютона, фокусируется через линзовый объектив, проходя сквозь интерференционный светофильтр на фотокатод фотоумножителя. Импульс напряжения с ФЭУ подается на вход масштабного усилителя, затем при помощи аналого-цифрового преобразователя, через плату сбора данных, сигнал поступает в ЭВМ, где информация обрабатывается стандартным программным обеспечением и формируется сигнал для передачи его по каналам связи (Internet, wi-fi и т.д.).

и энергии комбинационного рассеяния, равной энергии десяти фотонов, оптимальной для обнаружения предельных углеводородов на расстояниях до 6 км является длина волны лазерного излучения  $\lambda_L = 355$  нм. Если энергия лазерного импульса достигает 1 мДж, то такая величина позволяет проводить измерения в минимально возможное время.

По всей трассе зондирования с увеличением расстояния от 0,01 до 2 км время измерения увеличивается примерно на четыре порядка. Если за установленный период с расстояния  $R=2,0$  км, при заданном числе импульсов, посылаемых в атмосферу, ФЭУ регистрирует больше, чем десять фотонов, можно говорить о превышении на этом расстоянии концентрации молекул над заданным уровнем. Кроме того, полученные значения времени измерения удовлетворяют требованию по быстродействию лидара. Метод обеспечивает высокую точность измерений в средах, где в качестве источников загрязнений выступают молекулы предельных углеводородов.

Лидар в режиме секторного обзора, который обеспечивается за счет поворота платформы, устанавливаемой в промышленной зоне на доминирующем по высоте строении. Лидарная система контроля качества атмосферного воздуха предназначена для



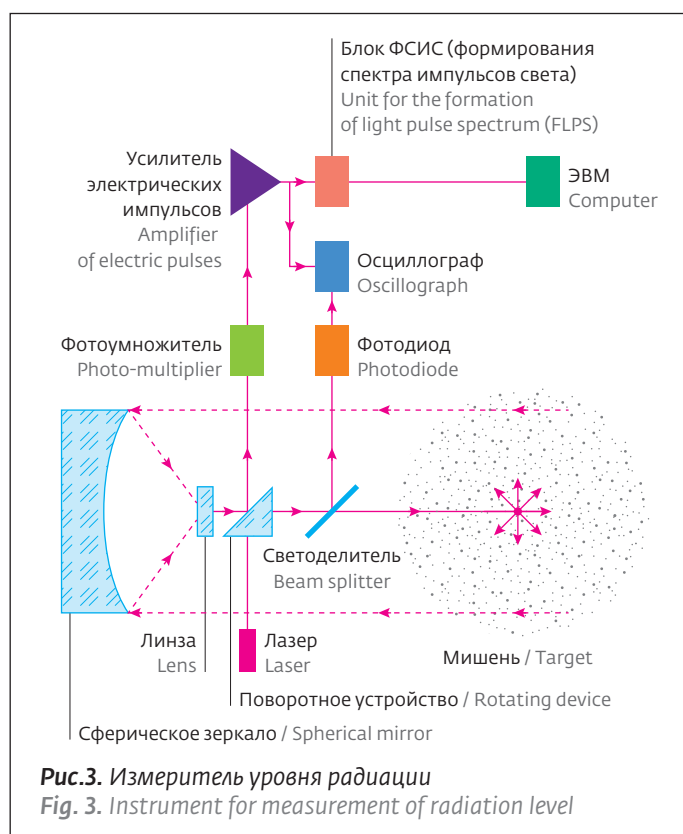
In order to check the accuracy of measurements, estimations of power of the registered radiation of combination light scattering by the molecules of saturated hydrocarbons were performed on the basis

непрерывного контроля содержания газообразных предельных углеводородов в исследуемой области пространства. В случае обнаружения аварийного выброса или превышения уровня предельнодопустимых концентраций в режиме реального времени происходит обработка результатов в вычислительно-управляющем комплексе, и сигнал передается по каналам связи.

Лидарная система контроля качества атмосферного воздуха позволяет проводить дистанционный мониторинг загрязнения воздуха путем измерения энергии импульса, отраженного от загрязнений (мишени). Однако, при малых загрязнениях и больших расстояниях до мишени энергия импульса уменьшается в  $10^3$ - $10^9$  раз, становясь соизмеримой с шумами электронных приборов. В результате полезный сигнал может быть неразличим на фоне этих шумов. Таким образом, недостатком лидарной системы контроля качества атмосферного воздуха является низкая чувствительность к малым загрязнениям. Следует учесть, что она будет и дальше падать с ростом расстояния до мишени.

Этот недостаток исправляет другая лидарная система контроля загрязнения воздуха [9] (рис.2). Алгоритм ее функционирования следующий. Импульс лазерного излучения из лазера поворотной призмой направляется в сторону области загрязнения (мишени). Основная часть излучения достигает мишени и рассеивается ею, формируя информацию об уровне загрязнения.

Определение уровня загрязнения воздуха происходит более точно, поскольку итоговый сигнал формируется двумя потоками излучения вместо одного, как было у авторов работы [8]. Поток от отражателя на порядок и более превышает рассеянное назад мишенью излучение. Поэтому чувствительность предлагаемой системы заметно превышает чувствительность системы авторов работы [8]. В частном случае реализации, если контролируемая область пространства с загрязнениями представляет собой промышленный объект (атомная станция, нефтеперерабатывающий или цементный заводы и т.п. производства), то отражатель устанавливают непосредственно на этом объекте, например на вентиляционной трубе. Тогда выходящий из трубы поток является мишенью. При направлении импульса лазерного излучения на срез трубы обратно рассеивается загрязнениями весьма малая часть излучения. Если отражатель устанавливают на пути рассеянного загрязнениями лазерного излучения так, чтобы большая часть отраженного излучения



of the lidar equation of combination light scattering by studied molecules.

Obtained results prove that for the set concentration of probed atoms  $N_a$  and energy of combination scattering which is equal to the energy of 10 photons, the laser radiation wave length  $\lambda_L = 335$  nm, which allows performing measurements during the minimum period of time with the laser pulse energy of 1 mJ, is the optimal variant for the detection of saturated hydrocarbons at the distances up to 6 km.

In the whole probing route with the increase of distance from 0.01 to 2 km, the measurement time increases approximately by 4 orders. If during the set time from the distance of  $R=2.0$  km with the set number of pulses, which are transmitted to the atmosphere, the photoelectric multiplier registers more than 10 photons and we can speak about exceeding of molecules concentrations at this distance above the set level. Besides, obtained values of measurement time meet the requirement for the lidar operation speed.

The method provides high accuracy of measurements in the media where molecules of saturated hydrocarbons are the sources of pollution.

Lidar in the mode of sector scanning which is provided at the expense of platform rotation is installed in the industrial zone on the structure which is dominant by height. The lidar system for



направлялось в приемный телескоп, то достигающий приемного телескопа рассеянный поток лазерного излучения многократно возрастает, обеспечивая более высокую чувствительность лидарной системы.

Возможен и другой случай реализации предлагаемого технического решения. Отражатель устанавливается на летательном аппарате (включая беспилотный). Последний зависает над наиболее опасной зоной контролируемого пространства, поворотная призма направляет излучение лазера на отражатель, а последний направляет значительную часть рассеянного лазерного излучения в приемный телескоп, обеспечивая более высокую чувствительность лидарной системы. Чем больше площадь отражателя, тем больше и поток рассеянного лазерного излучения, направленного в приемный телескоп. Рост площади отражателя в приведенных примерах ограничивается прочностью соединения отражателя с вентиляционной трубой или подъемной силой летательного аппарата, а также возможностью сохранять способность к направлению излучения в приемный телескоп при порывах ветра и других атмосферных явлениях. Оптимальная форма отражателя – параболоид, в фокусе которого находится мишень.

atmospheric air quality control is intended for the continuous control of content of gaseous saturated hydrocarbons in the studied space area. In case of detection of accidental release or exceeding of the level of maximum permissible concentrations, processing of the results in control computing unit and signal transmission by communication channels take place in real-time mode.

The lidar system for atmospheric air quality control allows performing the remote monitoring of air pollution via the measurement of energy of the pulse reflected from pollutants (target). However, in case of low degree of pollution and long distances to the target, the pulse energy decreases by  $10^3$ - $10^9$  times and becomes commensurable with the noises of electronic devices. As a result, the useful signal might not be recognized in these noises. Thus, the disadvantage of the lidar system for atmospheric air quality control includes the low sensitivity to the small levels of pollution which decreases with the increase of distance to the target.

The specified disadvantage can be corrected by the other lidar system for air pollution control [9]. The lidar system for air pollution control (Fig.2) operates in the following manner. Pulse of laser radiation from the laser is directed towards the pollution area (target) by the rotating prism. The major part of radiation reaches the



В отдельных случаях допустимо использовать плоский или уголкового отражатели. Отражатель может быть снабжен селективными отражающими покрытиями, соответствующими длинам волн рассеянного излучения.

Эффективность предлагаемой модели можно продемонстрировать. Источником излучения служит лазер на алюмоиттриевом гранате с неодимом со средней мощностью излучения второй гармоники излучения (длина волны 0,532 мкм) 1 Вт. Мишенью являются пары йода-131 над радиоактивным объектом. Объект отстоит на расстоянии 1 км от лидарной системы. Мощность излучения, рассеянного обратно в приемный телескоп без отражателя обычно составляет 1-10 мкВт и менее. При установке отражателя диаметром 0,5 м у среза вентиляционной трубы мощность вернувшегося рассеянного излучения увеличивается на несколько порядков и достигает 1-10 мВт в зависимости от погодных условий и расстояния от излучающего лазера, что позволяет определить степень повышения загрязнений от ПДК с повышенной чувствительностью.

Рассмотрим еще одно решение [10]. Его задачей является дистанционный мониторинг радиоактивного загрязнения радиационно-опасных предприятий за счет измерения спектра частот импульса, отраженного от мишени. Сущность предлагаемого решения иллюстрируется рис.3, на котором изображена функциональная схема измерителя. Измеритель уровня радиации [10] работает следующим образом. Импульс лазерного излучения из лазера поворотным устройством направляется в сторону мишени. Малая часть излучения по пути к мишени светодетелем отводится на фотодиод, формирующий электрический синхронизирующий импульс, поступающий на вход осциллографа. Основная часть излучения достигает мишени и рассеивается ею, формируя информацию об уровне радиации. Рассеянное излучение достигает сферического зеркала, отражается и собирается линзой через отражающую поверхность поворотного устройства в фотоумножителе, формирующем электрический импульс, усиливаемый усилителем. Сигнал с последнего поступает на два параллельных входа: блока ФСИС и осциллографа. Сигнал с усилителя в осциллографе преобразуется в сигнал дальности до мишени. Блок ФСИС выделяет спектр частот электрического импульса и подает его на вход ЭВМ для определения уровня радиации по параметрам спектра. Например, в качестве блока ФСИС могут быть использованы

target and is scattered by it generating information on the level of pollution.

Determination of air pollution level is performed more accurately because the final signal is formed by two radiation fluxes, instead of one flux as it was executed by the authors [8]. Flux from the reflector exceeds the radiation backscattered by the target by one order or more. Therefore, the sensitivity of the suggested system is noticeably higher than the sensitivity of the system of authors [8]. In the particular case of implementation, if the industrial facility (nuclear power station, petroleum refinery, cement plant etc.) refers to the controlled space area with pollutants, the reflector is installed directly at this site, for example, on ventilation pipe. Then, the flux coming out of the pipe is the target. In case if the laser radiation pulse is directed towards the pipe shear, very small portion of radiation is backscattered. If the reflector is installed on the way of the laser radiation scattered by pollutants so that the larger portion of reflected radiation is directed into the detection telescope, then the scattered flux of laser radiation which reaches the detecting telescope 1 grows by many times providing higher sensitivity of the lidar system. Other case of implementation of suggested technical solution can be offered. The reflector is installed on the aircraft (including unmanned aircraft). The aircraft hovers above the most hazardous zone of the controlled space, rotating prism directs the laser radiation on the reflector and it directs the considerable portion of scattered laser radiation into the detecting telescope providing higher sensitivity of lidar system. The larger area of the reflector, the larger flux of scattered laser radiation directed into the detecting telescope. Growth of area of the reflector in the specified examples is limited by the strength of connection of the reflector with ventilation pipe or aircraft lifting force and potential to retain the ability of radiation direction into the detecting telescope in case of wind blasts and other atmospheric phenomena. Optimal shape of the reflector is paraboloid; the target is located in its focus. Flat reflector or corner reflector are acceptable in certain cases. The reflector can be equipped with the selective reflective coatings for the relevant scattering radiation wave lengths.

Efficiency of the suggested model can be demonstrated on the basis of the following example. Laser based on yttrium-aluminum garnet with neodymium and average radiation power of the second harmonic (wave length 0,532  $\mu\text{m}$ ) of 1 W serves as the radiation source. Pairs of iodine-131 above the radioactive object are the target. The object is located at the distance of 1 km from the lidar system. The power of radiation backscattered into the detecting telescope without reflector is usually 1-10  $\mu\text{W}$  or less. In case of installation of the reflector



промышленные анализаторы спектра С4-25 или С4-8.

Измеритель уровня радиации позволяет выявлять даже малые загрязнения над радиационно-опасными предприятиями на большом от них расстоянии путем измерений спектра частот импульса, отраженного от мишени, а не по энергии импульса. Известно, что энергия импульса на эталонном уровне измеряется сегодня с погрешностью в четвертом знаке, а частота – в четырнадцатом знаке. Следовательно, учет спектра частот импульса повышает чувствительность измерителя уровня радиации на несколько порядков.

Определение уровня радиации по параметрам спектра можно осуществлять, например, следующим образом. Опытным путем градуируют измеритель уровня радиации по сигналу, отраженному от источника, уровень радиации которого хорошо известен – например, в зависимости от расстояния до источника либо в зависимости от уровня радиации по источнику с переменным уровнем радиации. Градуировка осуществляется по изменению спектра частот импульса, а частота в настоящее время измеряется на десять порядков точнее, чем энергия импульса. Имея градуировочную кривую,

with the diameter of 0.5 m near the shear of ventilation pipe, the power of backscattered radiation increases by several orders and reaches 1-10 mW depending on weather conditions and distance from the radiating laser, which allows determining the degree of pollution exceeding from maximum permissible concentrations with larger sensitivity.

Let us consider one more solution [10]. Its task consists in the remote monitoring of radioactive pollution of radiation-hazardous enterprises at the expense of measurement of frequency spectrum of the pulse reflected from the target. The essential conception of suggested solution is illustrated in Fig.3 which also contains the functional diagram of measuring instrument.

Instrument for the radiation level measurement [10] functions in the following manner. Pulse of laser radiation is directed towards the target from the laser by the rotating device. Small portion of radiation is drawn to the photodiode by the beam splitter-3 on the way to the target; this photodiode forms electrical synchronizing pulse which arrives on the entrance of oscillograph. The major portion of radiation reaches the target and is scattered by it generating the information on radiation level. Scattered radiation



определяют уровень радиации неизвестной мишени при достаточно малых амплитудах рассеянного назад сигнала. В работе [11] предложен анализатор спектра сигналов оптического диапазона. Есть основания считать, что использование его в составе измерителя уровня радиации позволит увеличить эффективность работы измерителя.

Это означает, что появляется возможность дистанционного мониторинга удаленных радиационно-опасных объектов даже в случае малых концентраций радиации. Прибор из аналогового превращается в цифровой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зуев В.Е., Кауль Б.В., Самохвалов И.В., Кирков К.И., Цанев В.И. Лазерное зондирование промышленных аэрозолей. – Новосибирск: Наука, 1986.
2. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. – М.: Мир, 1987.
3. Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Параметры лидаров для дистанционного зондирования газовых молекул и аэрозоля в атмосфере: Учебное пособие. – СПб: Изд-во БГТУ "ВОЕНМЕХ", 2001.
4. Привалов В.Е., Фотади А.Э., Шеманин В.Г. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы. – СПб.: Лань, 2013.
5. Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Уравнение лазерного зондирования для реального аэрозольного лидара. – Фотоника, 2013, т. 38, № 2, с. 72–78.
6. Привалов В.Е., Шеманин В.Г. Лидарное уравнение с учетом конечной ширины линии генерации лазера. – Известия ВУЗов. Сер Физика, 2014, т. 57, № 8, с. 49–58.
7. Патент РФ № 43657. Мобильный лидарный комплекс для дистанционного контроля состояния атмосферы/ Борейшо А.С., Мошков В.Л., Тарасова Т.Е. и др.
8. Патент 101836 РФ. Лидарная система контроля качества атмосферного воздуха/ Аблязов Э.К., Шеманин В.Г.
9. Патент 113846 РФ. Лидарная система контроля загрязнений воздуха/ Привалов В.Е.
10. Патент 110549 РФ. Измеритель уровня радиации/ Привалов В.Е.
11. Патент 86734 РФ. Параллельный анализатор спектра сигналов оптического диапазона/ Архипов И.Н., Ваганов М.А., Кулаков С.В. и др.

reaches the spherical mirror, is reflected and converged by the lens through the reflecting surface of rotating device in photo-multiplier forming the electrical pulse which is intensified by the amplifier. From the amplifier signal arrives to two parallel entrances: unit for the formation of light pulse spectrum (FLPS) and oscillograph. Signal from the amplifier in the oscillograph is transformed into the signal of range to the target. The unit for FLPS selects the spectrum of frequencies of electric pulse and transfers it to the entrance of the computer in order to determine the radiation level on the basis of spectrum parameters. For example, on-stream spectrum analyzers C4-25 or C4-8 can be used in the capacity of the unit for FLPS.

Instrument for the measurement of radiation level allows detecting even small degrees of pollution above the radiation-hazardous enterprises at long distance via the measurements of frequency spectrum of the pulse reflected from the target and not on the basis of pulse energy. It is known that the pulse energy at reference level is currently measured with the fourth place accuracy and frequency – with the fourteenth place accuracy. Therefore, registration of pulse frequency spectrum increases the sensitivity of radiation measuring instrument by several orders.

Determination of radiation level by the spectrum parameters can be performed, for example, in the following manner. By test, the instrument for measurement of radiation level is calibrated by the signal reflected from the source radiation, level of which is well known. For example, depending on the distance from the source or depending on the radiation level by the source with variable radiation level. Calibration is performed on the basis of variation of pulse frequency spectrum and currently the frequency is measured with the accuracy which is by ten orders better than the pulse energy. Having the calibration curve, the radiation level of unknown target is measured at quite small amplitudes of backscattered signal. In the paper [11] analyzers of the spectrum of optical range signals are offered. The weight of evidence suggests that their use in the structure of radiation level measuring instrument will make it possible to improve the efficiency of measuring device operation.

As a result of application of the suggested radiation level measuring instrument, the capability of remote monitoring of distant radiation-hazardous objects with low radiation levels emerges. Instrument is transformed from the analog device into the digital one.

