

И.А. Разенков, Ю.М. Андреев, Н.А. Шефер

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ ЛАЗЕРНЫХ ЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Описана компьютерная программа «GF1» для инженерных расчетов лазерных локационных систем. Программа позволяет рассчитывать геометрическую функцию лидара с произвольной геометрией приемопередатчика и оценивать потенциальные возможности лидаров. В качестве примера показаны результаты тестирования итальянского ИК ДПР лидара [5].

При разработке лазерных локаторов (лидаров), предназначенных для определения различных параметров атмосферы [1], возникает потребность быстро и качественно просчитать возможные варианты создаваемой системы. Разработчику лидара всегда желательно иметь удобный инструмент для работы, и в данном случае это компьютерная программа для проведения инженерных расчетов. Авторы статьи, сталкиваясь с подобными проблемами в работе и полагая, что потраченное на создание программы время в дальнейшем позволит его экономить, приступили к поэтапному созданию программного обеспечения для расчета лидаров.

Любой лидар должен создаваться для решения какой-либо конкретной задачи и удовлетворять определенным требованиям, поэтому в первую очередь необходимо уметь рассчитывать геометрическую схему приемопередатчика лидара и оценивать его потенциальные возможности [2]. С нашей точки зрения, полный инженерный расчет лидара должен состоять из двух основных этапов. На первом этапе вырабатывается как бы структура лидара – схема построения, внешний вид, габариты и его принципиальные возможности. На втором этапе должны проектироваться отдельные узлы системы, основные характеристики которых уже определены на первом этапе.

Программа, которую мы назвали «GF1», предназначена только для проведения первого этапа инженерного расчета. Написана она на языке высокого уровня «Turbo Pascal» фирмы «Borland» для IBM совместимых компьютеров. «GF1» на начальном этапе ее создания была предназначена только для расчета геометрической функции лазерного локатора [2]. Позже возникла идея дополнения и расширения «GF1» на предмет расчета потенциальных характеристик инфракрасного (ИК) лидара дифференциального поглощения и рассеяния (ДПР) и других типов лидаров (аэрозольного для видимой области спектра; лидара, работающего на принципе спонтанного комбинационного рассеяния (СКР) и др.).

Блок-схема программы «GF1» приведена на рис. 1. Заметим, что рис. 1 отражает лишь основные моменты программы. Программа имеет удобный для пользователя интерфейс. Задание любых параметров производится пользователем. Параметры лидара делятся на две группы – геометрические и энергетические, и предварительно задается тип лидара.

Первая группа параметров включает в себя тип схемы приемопередающей части лидара (коаксиальная или биаксиальная); тип пучка лазера (равномерный или гауссов); диаметр и расходимость пучка; диаметр и фокус приемного телескопа, размер апертурной диафрагмы, положение диафрагмы относительно фокуса; расстояние между оптическими осями передатчика и приемника; угол схождения оптических осей передатчика и приемника; радиус затеняющего тела для зеркальных приемных телескопов. Энергетические параметры лидара включают в себя энергию лазерного импульса; длительность импульса; чувствительность, постоянную времени, величину шума и квантовую эффективность фотодетектора; ширину полосы и пропускание приемной системы.

Атмосферные параметры предполагают задание коэффициента аэрозольного ослабления; коэффициента обратного аэрозольного рассеяния; коэффициента поглощения на длине волны лазера.

ра; дифференциального коэффициента поглощения исследуемого газа (ДПР лидар), сечение рассеяния излучения; неопределенность коэффициента обратного рассеяния; яркость фона неба.

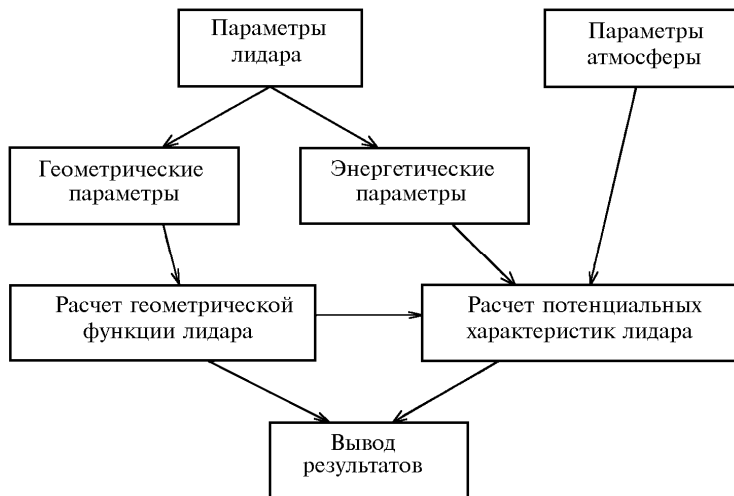


Рис. 1. Блок-схема программы «GF1» для расчета лазерных локационных систем

Расчет геометрической функции производится согласно алгоритму, изложенному в [2]. Расчет потенциальных характеристик делается в основном согласно монографии [3]. В качестве параметра, по которому могут сравниваться между собой лидарные системы, выбран так называемый модифицированный параметр [3], учитывающий площадь приемного телескопа, чувствительность фотодетектора и другие основные параметры лидара. Расчет потенциальных характеристик лидара включает в себя модифицированный параметр системы; мощность лидарного эхосигнала(ов); максимальную дальность обнаружения; чувствительность системы в целом; мощность фоновой засветки; мощность шумов лидарного сигнала; минимальную детектируемую мощность; необходимую точность системы регистрации.

Требуемая точность системы регистрации определяется разрядностью m аналого-цифрового преобразователя (АЦП), которая определяется как логарифм по основанию 2 от отношения максимального значения мощности лидарного эхосигнала $P_{\text{макс}}$ к мощности шума $P_{\text{шум}}$ по формуле $m = \log_2(P_{\text{макс}}/P_{\text{шум}}) + 1$. Добавление единицы учитывает собственный шум АЦП, обычно не превышающий шум младшего разряда.

В качестве примера использования программы «GF1» приведем результаты расчетов для лидара, описанного в [5, 6]. Это итальянский ИК ДПР лидар [5] на основе двух импульсных CO₂-лазеров, предназначенный для определения концентрации какого-либо атмосферного газа. В работе [6] приведены результаты зондирования паров воды с помощью этого лидара. Ниже приведены его характеристики [5].

Параметры ИК ДПР лидара [5]

Передатчик		Приемник (телескоп Ньютона)	
Длина волны, мкм	9÷11	Диаметр телескопа, см	39
Энергия импульса, Дж	1÷4	Фокусное расстояние, см	100
Пучок	гуссов	Поле зрения полное, мрад	1
Расходимость полная, мрад	1		
Регистрация		Детектор (HgCdTe)	
Разрядность АЦП, бит	12	Размер площадки, мм ²	1×1
Частота дискретизации, МГц	10	Обнаружительная способность, см·Гц ^{1/2} ·Вт	2 · 10 ¹⁰

На рис. 2 изображены реальные эхосигналы, взятые из статьи [6]. Сигналы соответствуют линиям излучения CO₂-лазера 10R20 (ON) 10R18 (OFF). Относительная скорость понижения уровней сигналов с расстоянием позволяет судить о концентрации исследуемого газа. Дифференциальный коэффициент поглощения парами воды при этом составлял $7,1 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1} \cdot \text{атм}^{-1}$.

Температура воздуха равнялась 18°C, относительная влажность 72%, что соответствовало концентрации молекул воды 13200 ppm.

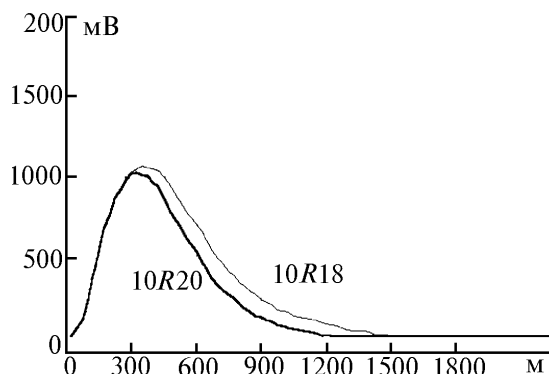


Рис. 2. Лидарные эхосигналы для линий излучения CO₂-лазера 10R20 (ON) и 10R18 (OFF), полученные по горизонтальной трассе 20 октября 1989 г. в 10:00 при температуре воздуха 18°C и относительной влажности 72%. Данные работы [5]

На рис. 3, 4 изображены результаты расчета, проведенного с помощью «GF1». Рис. 3, 4 представляют две копии изображений экрана дисплея компьютера при работе программы «GF1». На рис. 3 приведены геометрические параметры лидара и соответствующая им геометрическая функция лидара. На рис. 4 приведены энергетические параметры лидара [5] и лидарные эхосигналы ON (10R20) на частоте излучения, совпадающей с линией поглощения парами воды, и сигнала OFF (10R18) на частоте вне линий поглощения парами воды. Отметим, что сравнение сигналов, приведенных на рис. 2 и 4 указывает на их сходство. Кроме того, различие сигналов ON и OFF на рис. 4, больше, чем на рис. 2. Это объясняется тем, что на рис. 2 показаны осциллограммы сигналов, причем, вероятно, были установлены произвольные коэффициенты усиления для сравнения между собой спадающих частей сигналов ON и OFF.

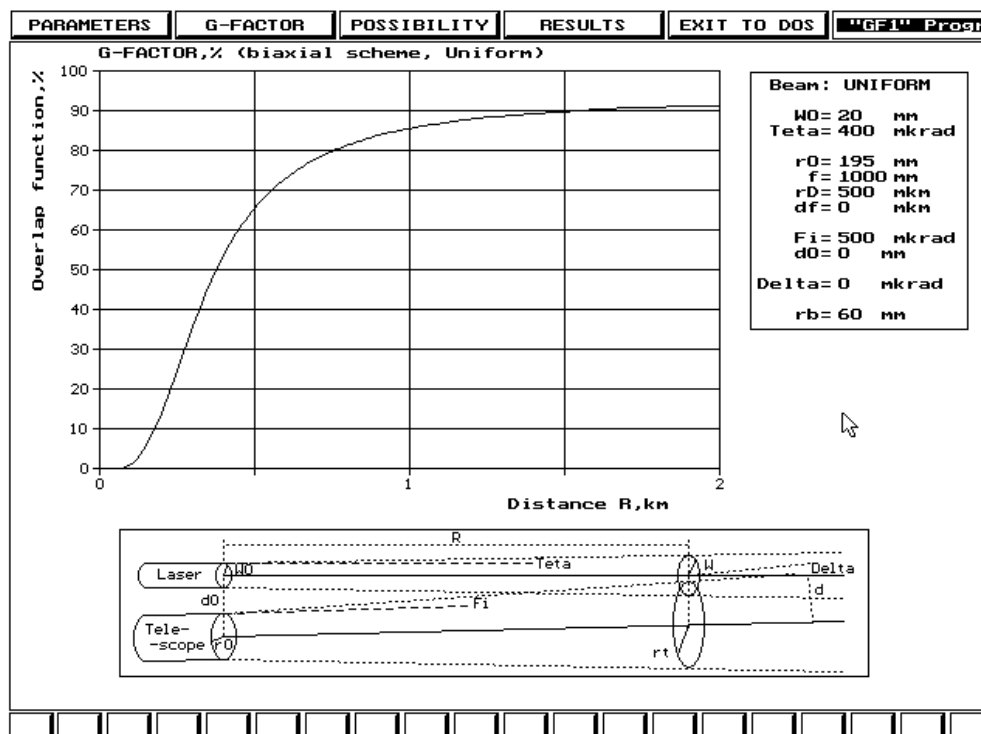


Рис. 3. Результаты расчетов по программе «GF1». Геометрические параметры и геометрическая функция лидара

Расчет потенциальных возможностей производился для пространственного разрешения, равного 50 м, по аналогии с результатом в [6]. При этом было получено, что минимальная концентрация паров воды, которую лидар способен зафиксировать на удалении 1 км, составляет 640 ppm. Минимальная дистанция, на которой концентрация в 13200 ppm может быть определена данным лидаром, составила 200 м. А погрешность оценивания этой концентрации для дистанции 1 км и 20 импульсов усреднения составила 13%. Проведенное с помощью программы «GF1» тестирование лидара [5] показало, что возможности данного лидара реализованы почти в полной мере. Величина модифицированного параметра системы [5] имела значение $1,6 \cdot 10^{21} \text{ см}^3/\text{Дж}$.

В [4] предложено использовать три обобщенных параметра, характеризующих возможности лидара при работе в условиях помех, а в качестве характеристики процесса измерения вводится «частота возобновления сведений». На наш взгляд, подход, изложенный в [4], заслуживает особого внимания, и мы планируем включить расчет этих обобщенных параметров в следующие версии программы «GF1».

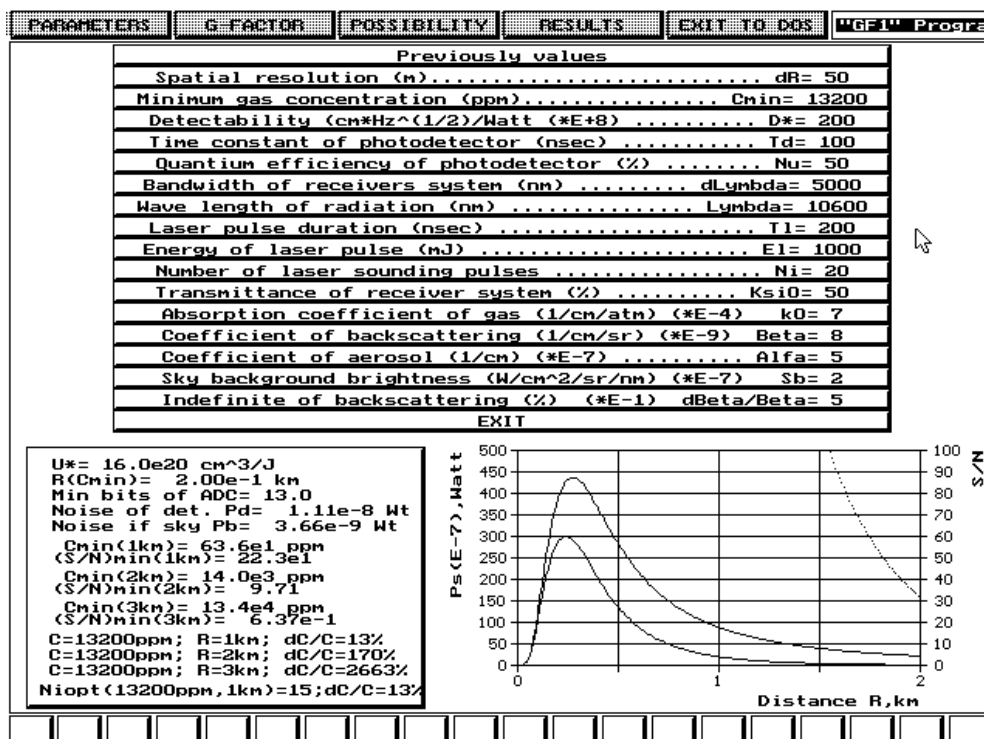


Рис. 4. Энергетические параметры и эхосигналы ИК ДПР лидара, описанного в работе [5]

1. Лазерный контроль атмосферы//Под ред. Э.Д. Хинкли, М.: Мир, 1979. 416 с.
2. Halldorsson T., Langerholm J. //Appl. Opt. 1978. V. 17. P. 240.
3. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. М.: Мир, 1987. 550 с.
4. Кауль Б. В. /Оптика атмосферы и океана. 1989. Т. 2. N 2. С. 211–215.
5. Barbini R., Colao F. et al. /15-th international Laser Radar Conference (NASA). Tomsk, 1990. P. 101–104.
6. Barbini R., Colao F., Palucci A., Ribezzo S. /15-th international Laser Radar Conference (NASA). Tomsk, 1990. P. 156–159.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
29 декабря 1995 г.

I. A. Razenkov, Ju. M. Andreyev, N. A. Shefer. **Software for Lidar Systems Engineering.**

The computer program «GF1» designed for lidar systems engineering is described. It allows the computation of the geometric function of the lidar with any geometry of the receiver-transmitter and the estimation of the lidar potentiality. The results of the italian IR DAS lidar testing are presented for illustration.