ПРОГРАММА РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ РАССЕЯННОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ВЫШЕДШЕГО ИЗ ОКНА ПОМЕЩЕНИЯ

Л.А.Глущенко, В.Ю. Матвеев, Т.П. Малинова., В.М. Тосенко, Н.И. Щербакова
НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем

Разработано программное обеспечение, позволяющее моделировать условия распространения импульсного лазерного излучения внутри помещения с учетом эффектов рассеяния как в среде распространения, так и на стенах и зеркалах помещения. В качестве основного метода расчета используется модифицированный метод Монте-Карло.

При нахождении потока излучения, выходящего из окна помещения, наиболее сложной задачей является расчет освещенности этого окна, создаваемой находящимися внутри помещения источниками.

На практике во многих расчетах принимают, что излучающие и рассеивающие поверхности достаточно точно подчиняются закону Ламберта. Для непрерывных источников поток, отраженный элементом поверхности, вследствие переотражений от других элементов вновь попадает на данный элемент, увеличивая освещенность данной поверхности. Если такие поверхности образуют замкнутую систему, световой поток, падающий на любую из этих поверхностей, можно выразить через коэффициенты диффузного отражения ρ этих поверхностей и соотношение размеров боковых граней параллелепипеда [1]. При этом считается, что внутри помещения нет рассеяния и поглощения на молекулах воздуха и взвешенных в воздухе пылинках. Для импульсных источников теория расчета [1] может быть применена только в том случае, когда длительность импульса $\tau_и$ намного превышает время его прохождения через помещение ($c\tau_и \geq L$). Это условие не выполняется для широко используемых в настоящее время наносекундных и пикосекундных лазеров.

Назначение разработанного программно-алгоритмического обеспечения заключается в оценке вероятности обнаружения рассеянного импульсного лазерного излучения, источник которого находится внутри помещения, а длительность импульсов этого излучения составляет 10…100 нс.

В настоящее время наиболее приемлемым методом расчёта световых полей является метод Монте-Карло[2], заключающийся в моделировании траекторий фотонов и событий, которые с ними могут произойти.

Метод Монте-Карло является методом прямого моделирования и может быть применен для произвольной конфигурации лазерной трассы, произвольной формы импульса и т.д. Он позволяет получать все необходимые для расчета полей освещенности характеристики. Для реальных расчетов используются модифицированные методы Монте-Карло, основанные на так называемой локальной оценке. Эти методы заложены в расчетном алгоритме программы.

1.Описание программы

Основные элементы модели обнаружения рассеянного лазерного излучения, реализованного в описываемом ниже программном обеспечении, приведены на рис.1.

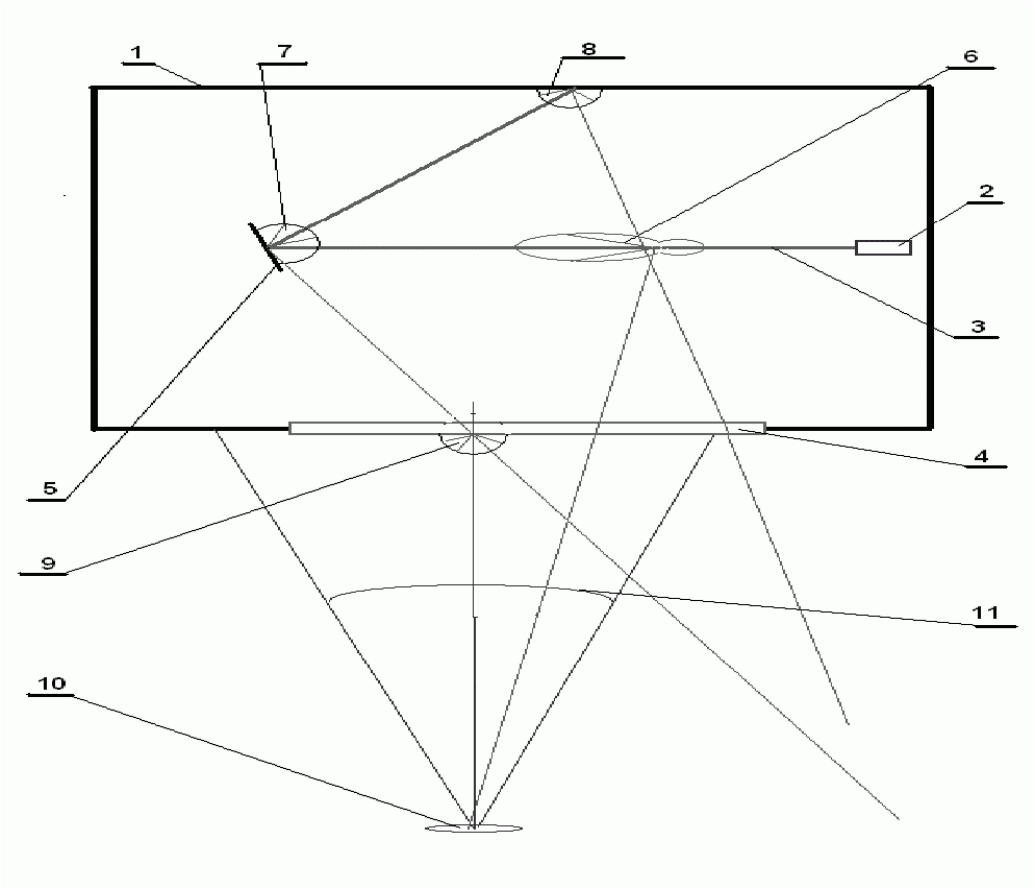

Рис.1. Основные элементы модели обнаружения рассеянного лазерного излучения: 1 - помещение, в котором находится излучатель; 2 - лазерный излучатель; 3- лазерная трасса; 4 - окно, из которого выходит рассеянное излучение; 5 - зеркало; 6 - рассеяние излучения на оптической трассе; 7 - диффузное рассеяние излучения на зеркале; 8 - диффузное рассеяние излучение на стене помещения; 9 - диффузное рассеяние излучения на стекле окна; 10 - входной зрачок обнаружителя; 11 - поле зрения оптического приемного блока обнаружителя.

Лазерный излучатель моделируется источником фотонов и характеризуется энергией излучения в импульсе и длительностью импульса. Обнаружитель лазерного излучения представляет собой оптико–электронную систему, имеющую в своем составе оптический приемный блок, усилитель и блок принятия решения.

Оптический приемный блок характеризуется эффективной площадью входного зрачка, угловым полем зрения, положением оптической оси в пространстве, чувствительностью на заданной длине волны, а также частотными свойствами, определяемыми емкостью фотоприемника и сопротивлением нагрузки.

Усилитель служит для обработки и усиления электрического сигнала ФПУ с тем, чтобы наиболее эффективно пропустить на вход блока принятия решения полезный сигнал и максимально подавить помеховую составляющую сигнала.

Блок принятия решения о наличии лазерного излучения представляет собой компаратор, на один вход которого поступает сигнал с выхода усилителя, на другой – сигнал, соответствующий порогу. Значение порога задается пользователем в виде кратности по отношению к средне-квадратическому значению тока шумов, приведенных к выходу ФПУ, либо рассчитывается в соответствии с критерием Неймана – Пирсона.

Интерфейс программы содержит главное меню, панель с кнопками быстрого вызова и заставку, иллюстрирующую условие задачи. С помощью различных разделов меню осуществляются задание и редактирование исходных данных и условий моделирования. Результаты моделирования отображаются на основном экране в виде графиков и информации в строке состояния.

Программа может работать в любых операционных системах Windows (98,2000,XP) и занимает около 900 КБ.

При выборе пункта меню «Настройки» на экране появляется окно, вид которого представлен на рис. 2. Набор вкладок в верхней части окна соответствует основным типам входных параметров. Вкладка «Параметры источника» показана на рис.2. Вкладка «Параметры среды» предназначена для задания параметров атмосферы, яркости фона и температуры окружающей среды. Вкладка «Параметры ПУ» определяет геометрические условия наблюдения окна помещения, параметры оптического приемного блока обнаружителя, характеристик фотоприемника и спектральный интервал измерения оптического сигнала.

В нижней части окна (рис.2) осуществляется визуализация объекта наблюдения, а также его вид с точки расположения обнаружителя.

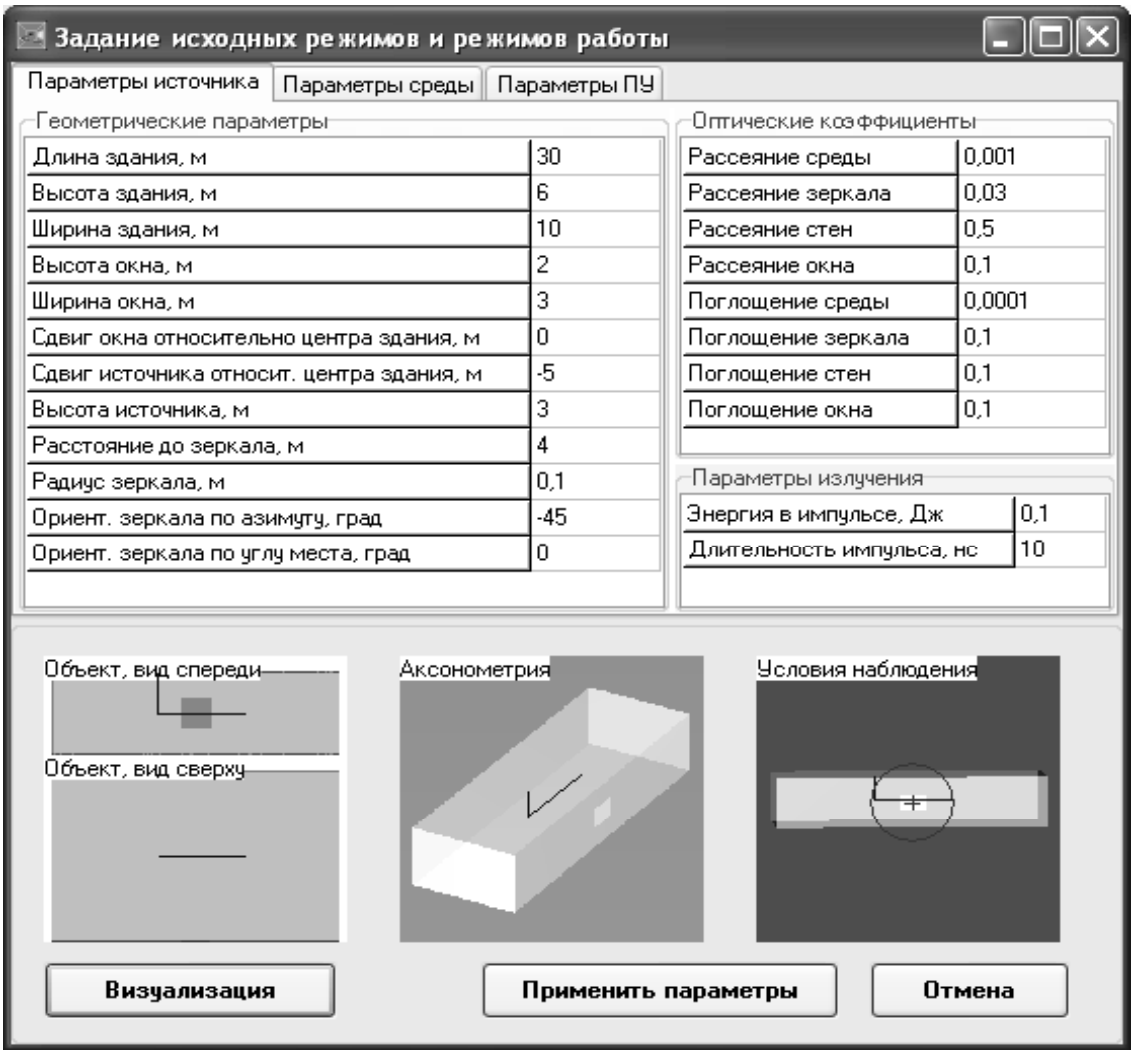

Рис.2 Вид окна редактирования исходных данных

При выборе пункта меню «Расчет» осуществляется расчет и отображение временной зависимости рассчитанных сигналов на графической диаграмме в основном окне (рис. 3). В этом режиме на экран выводятся два графика: вид сигнала ФПУ в случае, если излученный импульс является дельта-функцией и вид сигнала для реального импульса с заданной длительностью $\tau_и$.

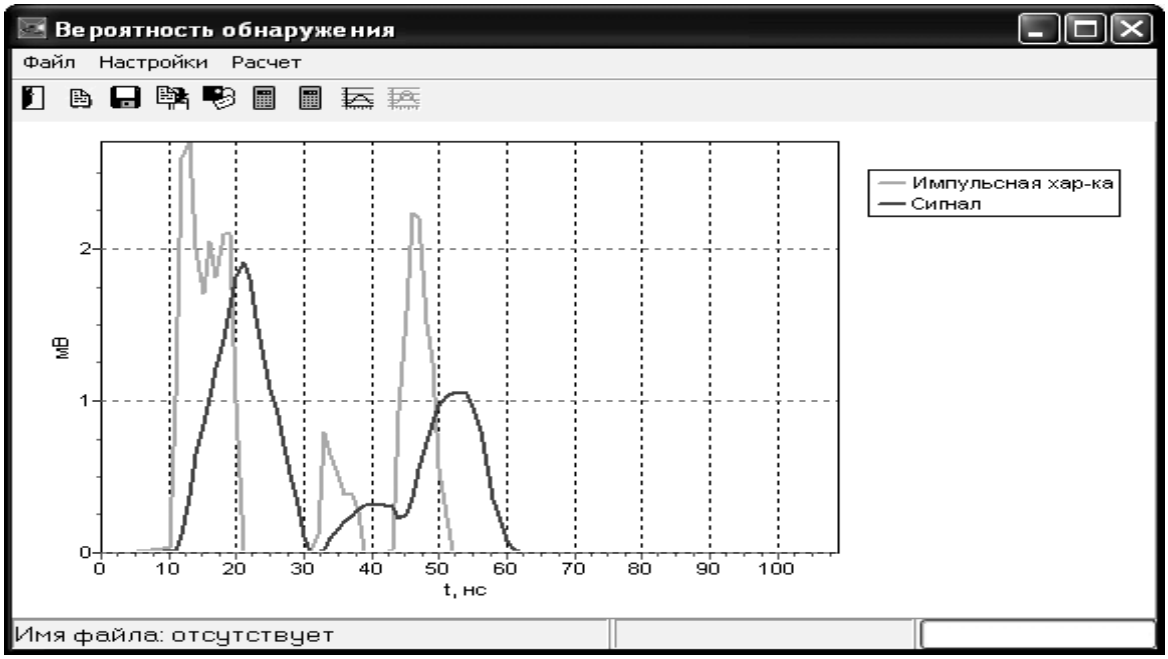

Рис. 3. Вид экрана в режиме «Расчет»

После завершения расчета сигнала, становится доступным режим «Оценка вероятности обнаружения». В этом режиме рассчитанный ранее сигнал суммируется с шумом ФПУ и проверяется факт превышения сигнала над порогом. По завершению режима в нижней строчке окна фиксируется вероятность обнаружения лазерного излучения ***P***.

2. Обсуждение результатов расчета

На рис.3 видно, что временная зависимость сигнала ФПУ имеет 3 максимума. Первый максимум обусловлен рассеянием на молекулах воздуха и взвешенных в воздухе частицах, второй - рассеянием на зеркале, третий – рассеянием на стене помещения. Полуширина максимумов определяется длительностью импульса $\tau_и$, а расстояние между максимумами – геометрическими размерами помещения, окна и расположением зеркала. При изменении входных параметров изменяется временная зависимость сигнала ФПУ на экране монитора, наглядно иллюстрируя влияние каждого параметра и позволяя подобрать необходимые для поставленной задачи значения вероятности обнаружения ***P.***

Проведено тестирование работы программы**.** Так, изменение величин коэффициентов рассеяния стен и зеркала приводит к пропорциональному изменению второго и третьего максимумов сигнала. Рассчитанная по программе методом Монте-Карло величина первого максимума, обусловленного рассеянием на молекулах и аэрозолях, сравнивалась с аналогичной величиной сигнала *E(t)* на входе ОЭС, рассчитанного по формуле:

$$E(t) = \int_0^t g(t-t')E_u(t')dt', \qquad (1)$$

где $E_u(t)$-мощность лазерного излучения на выходе лазера, а $g(t)$ – отклик системы «лазер- атмосфера-ОЭС» на дельта-импульс:

$$g(t) = \int_0^{l_m} \frac{S_{вх} r(\theta)\tau_l \tau_{l_0}}{l_0^2} \delta(t - \frac{l+l_0}{c})dl, \qquad (2)$$

где $S_{в\,x}$- площадь входного зрачка ОЭС; $r(\theta)$- показатель направленного рассеяния; θ - угол между направлением распространения лазерного излучения и направлением на входной зрачок; τ_l, τ_{l_0} -коэффициенты пропускания атмосферы от источника до точки рассеяния и от точки рассеяния до входного зрачка, соответственно; l_m –длина лазерной трассы, попадающей в поле зрения ОЭС; c -скорость света; $\delta(t - \frac{l+l_0}{c})$- дельта-функция, показывающая, что доля энергии излученного дельта-импульса, определяемая подинтегральным выражением, приходит из объема, пропорционального dl, в точку расположения ОЭС в момент времени $t = \frac{l+l_0}{c}$.

Выразить интегралы (1) и (2) через элементарные функции можно только в частных случаях. Функция $r(\theta)$ чаще всего задается таблицей. Поэтому значения интегралов рассчитывались численным интегрированием. Сравнение полученных по формуле (1) зависимостей сигнала от входных параметров с расчетами по программе дает удовлетворительное соответствие.

1. А.А. Гершун. Избранные труды по фотометрии и светотехнике, ГИТТЛ, 1958.
2. Метод Монте-Карло в атмосферной оптике. Ред. Марчук Г.И., Новосибирск: Наука, 1976.

A COMPUTATION PROGRAM INTENDED FOR DETECTION PROBABILITY OF SCATTERED LASER RADIATION EMERGENT OUT OF THE WINDOW

L.A. Glushchenko, V.Ju. Matveev, T.P. Malinova, V.M. Tosenko, N.I. Shcherbakova
Research Institute for Complex Testing of Optoelectronic Devices and Systems
The town of Sosnovy Bor Leningrad region 188540, RUSSIA
phone/fax 8 (81369) 2-25-15, e-mail: contact@niiki.ru

A software to model conditions for laser radiation propagation within the room is developed. Scattering effects of atmospheric propagation on the walls and mirrors of the room are taken into account. A modified Monte Carlo method is mainly used.