

В.В. Белов

## О закономерностях процесса формирования изображения в стробируемых системах видения

*Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск*

Поступила в редакцию 28.08.2002 г.

Методом Монте-Карло оценены характеристики изображения объектов, наблюдаемых через рассеивающие среды с помощью активной системы видения, работающей в режиме пространственной селекции. Рассмотрено влияние оптико-геометрических условий наблюдения на контраст изображения отражающих объектов. Дается интерпретация полученных зависимостей.

### Введение

Исследованию закономерностей формирования и переноса изображения в системах видения (под которыми будем понимать системы, образованные плоскостью предметов, оптическим прибором, формирующим изображение и рассеивающей средой, их разделяющей) посвящено значительное число работ, основные из которых обобщены, например, в монографиях [1–3]. В большей их части рассматриваются пассивные системы видения, т.е. те ситуации, когда источник освещения объекта или отсутствует (объект самосветящийся) или является внешним, не входящим в состав системы (Солнце, Луна, звезды и т.п.).

Среди работ, посвященных активным системам видения (т.е. тем, в состав которых входит импульсный или непрерывный оптический источник подсветки объекта), отметим работы [4, 5]. Наконец, некоторые вопросы закономерностей формирования изображений в стробируемых активных системах видения, реализующих так называемый принцип пространственной селекции, рассмотрены в работах [6, 7]. Основное преимущество систем видения с пространственной селекцией хорошо известно и состоит в том, что при формировании изображения в этом случае устраняется помеха обратного рассеяния, приходящая из областей среды, расположенных до и после границ «вырезаемого» стробом пространства объектов.

Несмотря на то что значительная часть результатов по проблемам теории видения в мутных средах получена на основе экспериментальных исследований и при решении уравнения переноса (УПИ) приближенными методами, роль асимптотически точных методов решения УПИ и, в частности, метода Монте-Карло остается существенной. Этот метод используется для получения новой количественной информации, для оценки границ применимости приближенных решений УПИ, а также для проверки адекватности существующих математических моделей физическим процессам, лежащим в основе формирования и переноса изображений через рассеивающие и поглощаю-

щие среды. В данной работе аппарат метода Монте-Карло впервые применен для исследования влияния условий наблюдения на качество изображения объектов в стробируемой системе видения.

### Постановка задачи, метод решения

Пусть в точке  $S$  декартовой системы координат (рис. 1) расположен импульсный источник расходящегося в пределах угла  $2\nu_0$  излучения на длине волны  $\lambda$ . Его оптическая ось ориентирована вдоль направления оси  $Oy$  и отстоит от нее на расстоянии  $h$ .

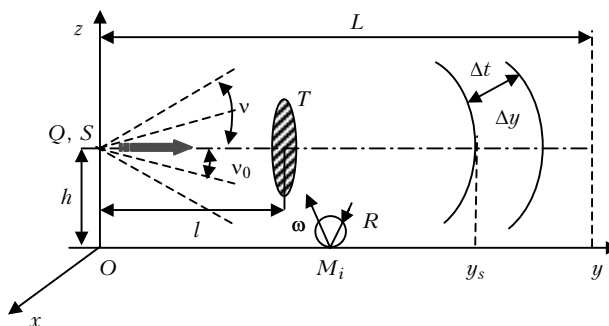


Рис. 1. Геометрическая схема численных экспериментов

Плоскость  $xOy$  совпадает с однородной отражающей поверхностью  $R$ , характеризуемой коэффициентом отражения  $\alpha$  и коэффициентом направленного отражения (или диаграммой)  $G(\omega)$ , где  $\omega$  – единичный вектор направления распространения отраженного луча.

На расстоянии  $l$  от источника расположен объект наблюдения  $T$ , через центр которого проходит оптическая ось излучателя. Объект ориентирован параллельно плоскости  $xOz$  и представляет собой круг единичной площади радиуса  $r_0$ . Его отражающие свойства характеризуются соответственно коэффициентами  $\rho$  и  $F(\omega)$ .

Приемник  $Q$  – идеальная оптическая система, формирующая изображение, её оптическая ось совпадает

с оптической осью излучателя. Угол поля зрения приемника –  $2\nu$ . Предполагается, что приемник открыт строб-импульсом (стробом) для формирования изображения, начиная с момента времени  $t_s = y_s/c$  до момента

$$t_s = (y_s + \Delta y)/c,$$

где  $c$  – скорость света.

Рассеивающая и поглощающая среда заполняет пространство над поверхностью  $R$  (см. рис. 1) между плоскостью  $xOz$  и параллельной ей плоскостью, проходящей через точку  $y = L$ .

Ее оптические свойства характеризуются коэффициентами рассеяния и ослабления ( $\beta_{sct}(\mathbf{r}) = \beta_{sct}(y)$ ,  $\beta_{ext}(\mathbf{r}) = \beta_{ext}(y)$ ), где  $\mathbf{r}$  – радиус-вектор точки в среде), вероятностью выживания кванта  $\chi$  и индикатрисой рассеяния  $g(\mu)$ , где  $\mu$  – косинус угла  $\theta$  между направлениями лучей до и после столкновения. То есть предполагается, что среда, экранирующая объект от наблюдателя, – ансамбль сферических моно- или полидисперсных частиц, концентрация которых может изменяться вдоль координаты  $y$ .

Прежде чем записать характеристики регистрируемого приемником излучения, необходимые для оценки качества изображения, рассмотрим его структуру. Очевидно, что в изображении, формируемом системой видения с постоянной во времени подсветкой (или когда  $\Delta t > 2L/c$ ), можно выделить три элемента: собственно объект наблюдения, отражающая поверхность, над которой он расположен, и рассеянный в среде фон, обрамляющий объект. При включении импульсного режима подсветки и режима стробирования изображение, в зависимости от соотношения между  $h$ ,  $l$ ,  $\nu$  и  $y_s$ , может содержать от одного до трех элементов.

Так (рис. 2), если а)  $y_s + \Delta y < l$  и  $y_s + \Delta y < h \text{ctg}(\nu)$ , то в изображении будут отсутствовать объект и поверхность  $R$ ; если б)  $y_s > l$  и  $y_s > h \text{ctg}(\nu)$

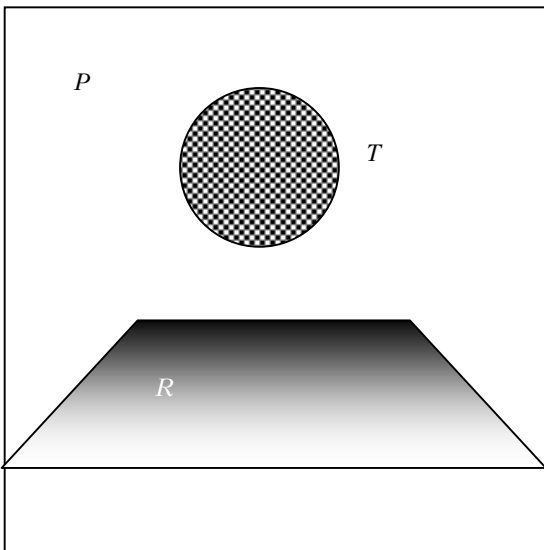


Рис. 2. Кадр изображения

(и эта область пространства называется областью тени), то изображение будет состоять из двух элементов (поверхность  $R$  и фон); если в)  $y_s < l < y_s + \Delta y$  и  $y_s > h \text{ctg}(\nu)$ , то все три элемента будут присутствовать на изображении; наконец, если г)  $y_s < l < y_s + \Delta y$  и  $y_s < h \text{ctg}(\nu)$ , то изображение будет формироваться рассеянным фоном и отраженным от объекта излучением.

Пусть требуется оценить качество элементов изображения. Будем характеризовать их тремя коэффициентами контраста:

$$k_{TF} = (I_{RT} - I_{RF}) / (I_{RT} + I_{RF}), \quad (1)$$

$$k_{TR} = (I_{RT} - I_{RR}) / (I_{RT} + I_{RR}), \quad (2)$$

$$k_{RF} = (I_{RR} - I_{RF}) / (I_{RR} + I_{RF}), \quad (3)$$

где  $I_{RF}$  – яркость рассеянного фона (область  $P$  на рис. 2),  $I_{RT}$  – яркость объекта ( $T$ ),  $I_{RR}$  – яркость отражающей поверхности ( $R$ ). Очевидно, что значения каждого из этих коэффициентов зависят от координат точек на объекте, на отражающей поверхности или в среде (в пределах «вырезаемого» стробом пространства), т.е. являются функциями двух переменных (так же как и величины, входящие в правую часть выражений (1)–(3)). Кроме того, эти функции в общем случае являются еще и функциями времени.

Будем считать, что приемник интегрирует световые потоки за время, соответствующее длительности строба, и в данной статье ограничимся рассмотрением только средних значений коэффициентов (1)–(3), т.е. будем оценивать  $I_{RT}$ ,  $I_{RF}$ ,  $I_{RR}$  как средние значения в поле зрения приемной стробируемой системы.

Чтобы определить их значения, необходимо знать следующие характеристики световых потоков, создаваемых источником или регистрируемых приемником в строб-интервале.

1. Освещенность, создаваемая на объекте импульсным источником подсветки:

$$E_T = E_N + E_{DM} + E_{DR} + E_{NR}, \quad (4)$$

где  $E_N$  – нерассеянное излучение от источника;  $E_{DM}$  – подсветка диффузным фоном (рассеяние в среде излучения от источника);  $E_{NR}$  – подсветка объекта нерассеянным излучением, отраженным поверхностью  $R$  (т.е. из точек  $M_i$ , лежащих в поле зрения приемника, см. рис. 1);  $E_{DR}$  – диффузная подсветка объекта отраженным поверхностью излучением, обусловленная рассеянием в среде.

2. Интенсивность рассеянного в среде излучения (но не испытавшего отражения от объекта) в направлении на приемник:

$$I_{RD} = I_{DM} + I_{DR}, \quad (5)$$

где  $I_{DM}$  – интенсивность рассеянного излучения в среде, не испытавшего отражения от объекта;  $I_{DR}$  – интенсивность светового потока, рассеянного в среде после отражения от поверхности  $R$ , но не испытавшего отражения от объекта.

3. Интенсивность светового потока, отраженного объектом:

$$I_T = F(\omega)E_T. \quad (6)$$

4. Интенсивность рассеянного фона (область  $P$ , см. рис. 2):

$$I_{RF} = I_{RD} + I_{TRD} + I_{TDM}, \quad (7)$$

где  $I_{TDM}$  – интенсивность рассеянного в этом направлении светового потока, отраженного объектом, но не взаимодействовавшего с поверхностью  $R$ ;  $I_{TRD}$  – интенсивность рассеянного в среде излучения, отраженного поверхностью  $R$  и распространяющегося от объекта.

5. Интенсивность излучения в направлении объект – приемник (область  $T$  на рис. 2):

$$I_{RT} = I_{TN} + I_{RF}, \quad (8)$$

где  $I_{TN}$  – интенсивность нерассеянного излучения, отраженного объектом.

6. Интенсивность излучения, регистрируемого приемником из области  $R$ :

$$I_{RR} = I_{IRN} + I_{TRN} + I_{RF}, \quad (9)$$

где  $I_{IRN}$  – нерассеянное излучение, отраженное поверхностью при ее подсветке источником;  $I_{TRN}$  – нерассеянное излучение, отраженное поверхностью при ее подсветке объектом.

Итак, для оценки качества изображения, создаваемого в стробируемой активной системе видения (для схемы наблюдения на рис. 1) с использованием критериев (1)–(3), необходимо найти интенсивности оптических световых потоков (7)–(9), распространяющихся от источника к объекту наблюдения, рассеивающихся или поглощающихся в среде и отражающихся или поглощающихся поверхностью  $R$  и объектом  $T$ . При этом нельзя исключать из рассмотрения процессы многократного рассеяния и перетражения, если реализуются условия для их возникновения. Именно эта ситуация, интересовавшая автора, рассмотрена в данной статье.

Для статистической оценки характеристик (4)–(9) были построены программы моделирования методом Монте-Карло процесса распространения и регистрации оптического излучения в системе (источник  $S$  – среда – поверхность  $R$  – объект наблюдения  $T$ ). Программы основаны на методе локальной оценки [8] и реализованы на языке Turbo Pascal, Version 7.0 (Borland International, Inc.).

## Результаты численных экспериментов

Статистические оценки величин в (4)–(9) проведены для следующих оптико-геометрических условий наблюдения. Длина трассы  $L$  – до 300 м, оптическая толщина среды – до 6 ( $\beta_{ext} = 0,02 \text{ м}^{-1}$ ), высота  $h = 1$  м. Угловая расходимость луча подсветки равна полю зрения приемника и  $\nu_0 = \nu = 7^\circ$ . Диаграммы направленности  $G(\omega)$  и  $F(\omega)$  отражения излучения от поверхности  $R$  и от объекта  $T$  – соответствуют закону Ламберта, а коэффициенты отражения  $0 < \alpha, \rho \leq 1$ . Рассеивающая среда однородна в области  $y > 0$  и  $z > 0$ .

В качестве генератора характеристик направленного светорассеяния использован программный ком-

плекс [9], с помощью которого были выбраны три варианта формы индикатрисы  $g(\mu)$ , позволяющие моделировать рассеивающие свойства приземного городского аэрозоля, адвективного и радиационного тумана при длине волны  $\lambda = 0,86$  мкм. Протяженность строга  $\Delta y$  (см. рис. 1) варьировалась от 10 до 40 м.

Последовательность расчетов на ПЭВМ определялась следующей схемой. На первом этапе моделировались значения величин  $E_{DM}, E_N, E_{DR}, I_{RD}, I_{DM}$ , входящих в (4), (5). Далее оценивались (также методом Монте-Карло) компоненты излучения, которое отражено тест-объектом и распространяется в направлении на приемник, т.е. величины  $I_{IRN}, I_{TRN}, I_{TD}, I_{TDM}$  в (7), (8). Наконец, после расчетов  $E_N, I_T, I_{TN}, I_{RT}, I_{RF}, I_{RR}$  вычислялись коэффициенты контрастов  $k_{TF}, k_{TR}, k_{RF}$ . Поскольку влияние альbedo однократного рассеяния  $\chi$ , коэффициентов отражения  $\alpha, \rho$  на качество изображения предсказать несложно, то остановимся здесь только на результатах численных экспериментов, связанных с зависимостью характеристик (1)–(3) от оптической толщины среды  $\tau$ , формы индикатрисы рассеяния  $g(\mu)$  и длительности строга  $\Delta y$  (или  $\Delta t$ ).

Типичный вид зависимостей коэффициентов контраста  $k_{TF}, k_{TR}, k_{RF}$ , полученных для случая  $y_s = l$  (см. рис. 1) с помощью метода статистических испытаний, представлен на рис. 3 для аэрозольной модели среды, при  $\chi = 0,999, \alpha = \rho = 1, h = 1 \text{ м}, \tau = L\beta_{ext} = 6$ .

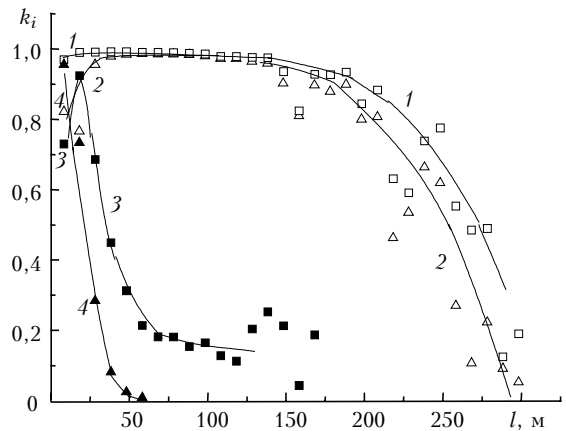


Рис. 3. Зависимость коэффициентов контраста изображения  $k_i$  от расстояния  $l$

Для проведения численных экспериментов, результаты которых приведены на рис. 3, потребовалось 8 ч машинного времени (Pentium II – 433 МГц). Если характеризовать форму индикатрисы рассеяния коэффициентами

$$\gamma = \int_0^1 g(\mu) d\mu / \int_{-1}^0 g(\mu) d\mu, \quad \xi = \frac{g(1)}{g(-1)}, \quad (10)$$

то для этого случая  $\gamma = 0,7995, \xi = 1637$ .

Обратимся к зависимости коэффициента контраста (1), характеризующего качество видения объекта

на фоне отраженного светового потока от среды (на фоне области  $P$ , см. рис. 2). Из зависимости  $k_{TF} = k_{TF}(l)$ , полученной для  $\Delta y = 10$  м и представленной на рис. 3 кривой 1, следует, что по мере удаления объекта от наблюдателя к дальней границе рассеивающей среды сначала качество изображения тест-объекта несколько возрастает, затем слабо зависит от расстояния  $l$  и, наконец, начиная примерно с  $l > L/2$ , контраст достаточно быстро уменьшается. Диапазон его изменения (при перемещении строба и объекта вдоль трассы длиной 300 м)  $\Delta k \approx 0,1 \div 0,98$ .

Зависимость  $k_{TF} = k_{TF}(l)$  на первом участке (при  $l < 40$  м) можно объяснить тем, что в этом случае строб «вырезает» пространство вблизи источника подсветки, где обратнорассеянное излучение наиболее интенсивно. При этом необходимо учитывать, что в качестве объекта выбран элемент плоской поверхности, размещенный на дальней от источника границе слоя среды, «вырезаемой» стробом. В этом случае значение фактора, характеризующего изменение плотности расходящегося излучения при удалении от источника, может несколько отличаться для объекта ( $y_s^{-2}$ ) и для рассеивающей среды на ближней к источнику ее границе ( $(y_s - \Delta y)^{-2}$ ).

Дальнейшее увеличение  $y_s$  нивелирует это различие, что может быть причиной незначительного изменения коэффициента контраста при перемещении тест-объекта к границе слоя  $y_s \rightarrow L$  (см. рис. 1). Этому же способствует относительное возрастание (с ростом  $y_s$ ) отраженного излучения, образованного фотонами, приходящими на приемник в моменты времени, соответствующие расстояниям  $y_s + \Delta y$  (см. рис. 1), но из областей, предшествующих слою, «вырезаемому» стробом. Этот эффект обусловлен увеличением времени «жизни» фотонов в результате многократного рассеяния и подробно рассмотрен для примерно такой же схемы численных экспериментов в [10, 11].

Изменение контраста изображения объекта относительно поверхности  $R$  при удалении его от источника описывается кривой 2 на рис. 3. Заметим, что  $k_{TR}(l) < k_{TF}(l)$  на всем интервале изменения параметра  $l$ . Это несложно объяснить, приняв во внимание, что поверхность – ламбертова и не поглощающая. Зависимости  $k_{TR}(l)$  и  $k_{TF}(l)$  подобны, но при  $y_s$  (или  $l$ )  $\rightarrow 0$   $k_{TR}$  изменяется более существенно. Это обусловлено тем, что в данном случае становится существенным фактор  $y_s^{-2}$ , которому пропорциональны освещенность объекта и интенсивность отраженного от него потока, в то время как для поверхности этот фактор (в зависимости от положения наблюдаемой на ней точки) изменяется от  $y_s^{-2}$  до  $(y_s - \Delta y)^{-2}$ .

Кривая 3 на рис. 3 характеризует зависимость коэффициента контраста  $k_{RF}$  изображения поверхности  $R$  относительно рассеянного фона (области  $P$ , на рис. 2) от расстояния  $l$  между источником подсветки и объектом. Эта зависимость заметно отличается от рассмотренных выше тем, что достигает максимума при значительно меньших  $l$  и уже при  $l \approx 100$  м  $k_{RF} < 0,1$  (тогда как в этом диапазоне изменения  $l$

$k_{TR}$  и  $k_{TF} > 0,8$ ). Данный результат очевиден, и для его объяснения достаточно сравнить кривые  $k_{TR}(l)$  и  $k_{TF}(l)$  на рис. 3.

Отметим общую характеристику результатов оценок  $k_i(l)$ , полученных в численных экспериментах. С ростом  $l$  по мере приближения объекта к дальней границе среды снижается точность оценок характеристик световых потоков, используемых при расчетах  $k_i$ . Особенно интенсивны статистические выбросы при моделировании отраженных потоков. Они же проявляются и при расчетах  $k_i$  при  $l \rightarrow L$ . Причина возникновения этих выбросов и некоторые приемы борьбы с ними известны и описаны в [3].

Обратимся к зависимости качества изображения объектов, наблюдаемых через рассеивающий экран, от длительности строба. На рис. 4 приведены результаты оценок коэффициентов контраста  $k_{TF}(l)$  для аэрозольной модели экрана и набора протяженности строба  $\Delta y$ . Эти оценки показывают, что с увеличением длительности строба зависимость контраста тест-объекта относительно рассеянного фона (области  $P$ , рис. 2)  $k_{TF}(l)$  трансформируется следующим образом. Контраст изображения уменьшается и тем сильнее, чем ближе наблюдаемый объект расположен к границам среды. Однако причины такой зависимости  $k_{TF}(l)$  на этих двух диапазонах изменения  $l$  различны.

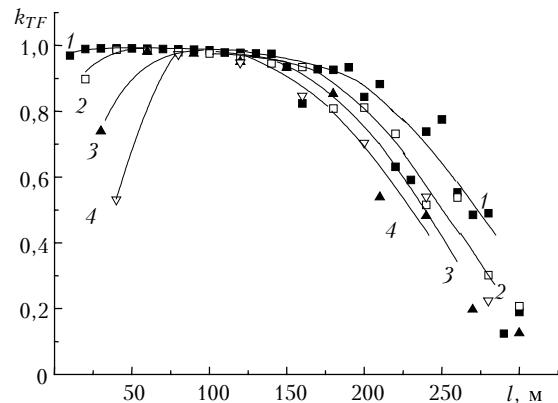


Рис. 4. Влияние длительности строба на контраст изображения объект-фон: 1 – 10, 2 – 20, 3 – 30, 4 – 40 м

При  $l \rightarrow 0$  причина падения контраста была описана выше и связана с зависимостью интенсивности расходящихся потоков излучения от геометрического фактора, который равен  $(r \approx \Delta y/2)^{-2}$  для рассеивающей среды и  $\Delta y^{-2}$  для объекта. Рост длительности строба усиливает влияние этого фактора на интенсивности полезного сигнала и помехи рассеяния.

При  $l \rightarrow L$ , как уже отмечалось, влияние указанного фактора ослабевает, но в то же время уменьшается освещенность объекта и возрастает вклад в помеху рассеяния многократно рассеянного излучения, регистрируемого из области среды  $y < y_s$ . Увеличение длительности строба приводит к усилению влияния уже этих факторов на  $I_{RF}$  и  $I_{RT}$ , приводя к относительному уменьшению  $I_{RT}$  и возрастанию  $I_{RF}$ , сближая их значения.

При изменении протяженности строба еще более существенные изменения происходят с зависимостью качества изображения поверхности  $R$  (в смысле коэффициента контраста  $k_{RF}$ ) на фоне диффузно светящейся среды. Их иллюстрирует рис. 5, где представлены зависимости  $k_{RF} = k_{RF}(l)$  для того же набора  $\Delta y$ , что и на рис. 4. Увеличение длительности стробирующего импульса приводит к уширению функции  $k_{RF}(l)$ , сдвигу ее максимального значения по направлению к дальней от источника границе среды. При этом контраст изображения более удаленных от наблюдателя участков поверхности  $R$  возрастает. Так, например, значения  $k_{RF}(120)$  возрастают почти в 3 раза.

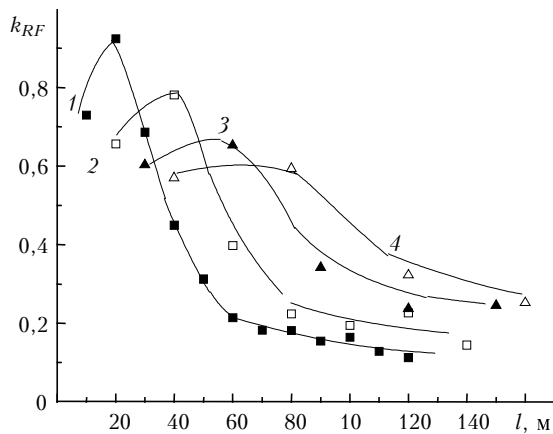


Рис. 5. Влияние длительности строба на контраст изображения поверхность-фон: 1 – 10, 2 – 20, 3 – 30, 4 – 40 м

Чтобы объяснить эти изменения, нужно учесть, что с ростом  $l$  и увеличением длительности строба возрастает площадь изображения поверхности (в отличие от тест-объекта, *видимая* площадь которого зависит только от  $l$ , причем уменьшается с ростом  $l$  и не зависит от длительности строба). Одновременно увеличение длительности строба приводит к росту регистрируемого из области  $P$  приемником рассеянного в среде излучения. Этот рост оказывается преобладающим над ростом полезного сигнала на начальных участках трассы наблюдения (при  $l \rightarrow 0$ ).

Влияние рассеивающих свойств среды и, в частности, формы индикатрисы рассеяния на световые потоки, участвующие в формировании изображений, иллюстрирует рис. 6. На этом рисунке приведена характеристика  $\eta = I_n / (I_n + I_{nd})$ , где  $I_n$  – нерассеянное отраженное от объекта излучение без учета его подсветки рассеянным в среде потоком,  $I_n + I_{nd}$  – с ее учетом.

Как видим, с увеличением вытянутости индикатрисы рассеяния влияние диффузной подсветки объекта на интенсивность отраженного от объекта светового потока заметно возрастает. Вклад диффузной подсветки в освещенность объекта с ростом  $l$  также монотонно возрастает. Это обусловлено тем, что в средах с менее вытянутой индикатрисой рассеяния процесс рассеяния приводит к более быстрому размыванию пучка подсветки и, следовательно, к уменьше-

нию интенсивности рассеянного излучения, сохраняющего первоначальное направление распространения. При интерпретации приведенных на рис. 6 зависимостей нужно также принимать во внимание, что с возрастанием  $l > r_0 \operatorname{ctg}(\nu_0)$  происходит уменьшение нерассеянного излучения, падающего на объект пропорционально  $\pi l^{-2} \operatorname{ctg}^2(\nu_0)$ .

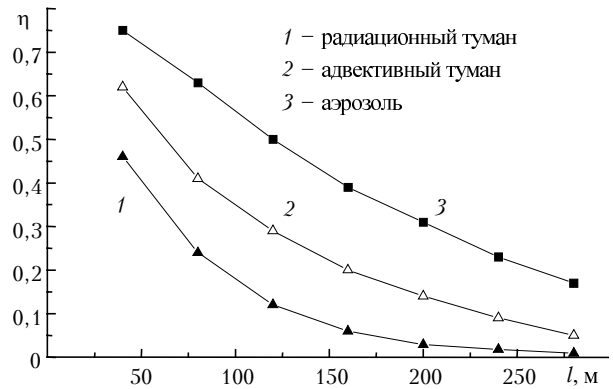


Рис. 6. Влияние диффузной подсветки на интенсивность нерассеянного отраженного от объекта излучения

В этой серии численных экспериментов характеристики вытянутости индикатрис рассеяния принимали значения  $\gamma = 0,7995$ ,  $\xi = 1637$  (аэрозоль),  $\gamma = 0,945$ ,  $\xi = 723$  (адвективный туман) и  $\gamma = 0,989$ ,  $\xi = 27200$  (радиационный туман) [9].

## Выводы

Основные результаты работы сводятся к следующему.

1. Создан пакет программ метода Монте-Карло для статистического моделирования процесса формирования изображения в импульсных активных системах видения с пространственной селекцией, позволяющий учесть процесс многократного рассеяния в среде и отражения (переотражения) подстилающей поверхностью, при распространении импульса подсветки к объекту и отраженного от него излучения. Данный пакет может быть применен для анализа качества изображения в оптико-электронных системах навигации с пространственной селекцией.

2. В рассмотренной постановке задачи контраст изображения объекта относительно рассеянного фона и подстилающей поверхности, над которой проходит трасса наблюдения, до оптической толщины среды  $\tau \approx 4$  превышает уровень 0,8, до  $\tau \approx 5$  он выше 0,4. Предельная оптическая толщина, при которой коэффициент контраста остается выше 0,05, лежит в интервале  $\tau \approx 5 \div 6$ . Контраст изображения подстилающей поверхности относительно рассеянного излучения в среде быстро уменьшается с удалением объекта от приемника и остается на уровне 0,05 на интервале  $\tau \approx 1 \div 2$ .

3. Процесс многократного рассеяния в значительной степени определяет не только помеху обратного

рассеяния, но и полезный сигнал и в том числе интенсивность нерассеянного излучения, отраженного объектом и регистрируемого приемником (см. рис. 6).

Применение метода пространственной селекции в импульсных активных системах видения приводит к существенному повышению контраста изображения объекта, экранированного от наблюдателя слоем плотной рассеивающей среды, увеличивая почти на порядок дальность его видимости, при одном и том же уровне контраста изображения (кривая 4, соответствующая режиму без пространственной селекции, и кривая 1 на рис. 3).

Автор благодарен к.ф.-м.н. Б.Д. Борисову за полезные дискуссии по результатам статистических экспериментов, рассмотренных в статье.

1. *Зега Э.П., Иванов А.П., Кацев И.Л.* Перенос изображения в рассеивающей среде. Минск: Наука и техника, 1985. 327 с.
2. *Сушкевич Т.А., Стрелков С.А., Иолтуховский А.А.* Метод характеристик в задачах атмосферной оптики. М.: Наука, 1990. 296 с.
3. *Зуев В. Е., Белов В.В., Веретенников В.В.* Теория систем в оптике дисперсных сред. Томск: изд-во «Спектр» ИОА СО РАН, 1997. 402 с.
4. *Браво-Животовский Д.М., Луцинин А.Г., Савельев В.А.* Некоторые вопросы теории видения в мутных средах

// Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1969. Т. 5. № 7. С. 672–684.

5. *Ванюков М.П., Нилов Е.В., Четков А.А.* Наблюдение и фотографирование в светорассеивающих средах методом пространственной селекции // Оптико-механическая промышленность. 1970. № 6. С. 50–55.
6. *Кацев И.Л., Зега Э.П., Прихач А.С.* Наблюдение тени объекта в рассеивающей среде при формировании изображения с помощью активной системы видения // III Межреспубликанский симпозиум «Оптика атмосферы и океана». ИОА СО РАН. Томск, 1996. С. 158.
7. *Волков В.Г.* Телевизионные приборы вождения транспорта в сложных условиях видимости // Техника кино и телевидения. 2001. № 5. С. 31–34.
8. *Метод Монте-Карло в атмосферной оптике* / Под общей ред. акад. Г.И. Марчука. Новосибирск: Наука, 1976. 216 с.
9. *Kneizys F.X., Anderson G.P., Shettle E.P., Gallery W.O., Abreu L.W., Selby J.E., Chetwynd J.H., Clough S.A.* User Guide to LOWTRAN 7. Hanscom AFB, MA01731: AFGL-TR-86-01777. ERP. No 1010. 1988.
10. *Белов В.В., Серебренников А.Б.* Пространственно-временная структура многократно рассеянной компоненты лидарных сигналов // Оптика атмосфер. и океана. 2000. Т. 13. № 8. С. 723–728.
11. *Белов В.В., Серебренников А.Б.* Пространственно-временная структура компонент лидарных сигналов, образованных различными кратностями рассеяния излучения в среде // Оптика атмосфер. и океана. 2001. Т. 14. № 3. С. 244–246.

**V.V. Belov. On regularities of image formation process in active night vision systems with gate-light detection.**

The characteristics of object images observed through scattering media using an active vision system operating with space selection are estimated using the Monte Carlo method. The influence of the optical-geometric conditions of observation on the image contrast of reflecting objects is considered. Interpretation is given to the obtained dependences.