

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 λ . Его оптическая ось ориентирована вдоль направления оси Oy и отстоит от нее на расстоянии h .

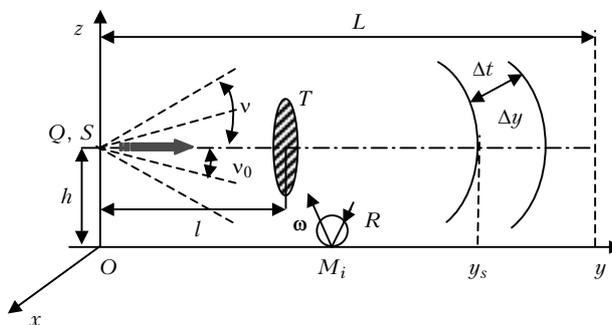


Рис. 1. Геометрическая схема численных экспериментов

Плоскость xOy совпадает с однородной отражающей поверхностью R , характеризуемой коэффициентом отражения α и коэффициентом направленного отражения (или диаграммой) $G(\omega)$, где ω – 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 ρ и $F(\omega)$.

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

с оптической осью излучателя. Угол поля зрения приемника – 2ν . 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 χ и индикатрисой рассеяния $g(\mu)$, где μ – косинус угла θ 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 , ν 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 $y_s > h \text{ctg}(\nu)$

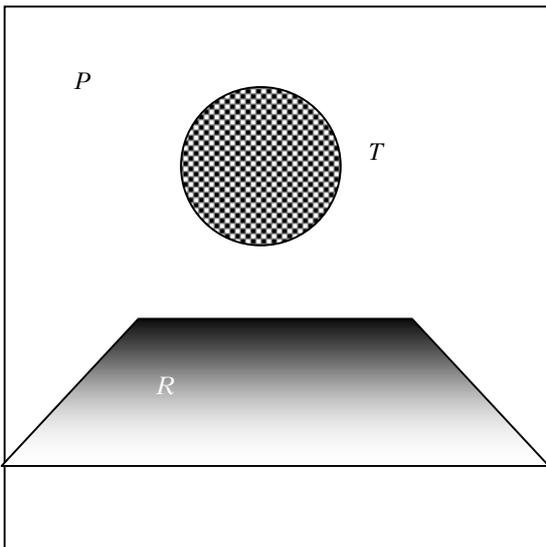


Рис. 2. Кадр изображения

(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 Δy (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 χ , коэффициентов отражения α, ρ на качество изображения предсказать несложно, то остановимся здесь только на результатах численных экспериментов, связанных с зависимостью характеристик (1)–(3) от оптической толщины среды τ , формы индикатрисы рассеяния $g(\mu)$ и длительности строга Δy (или Δt).

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 $\chi = 0,999, \alpha = \rho = 1, h = 1 \text{ м}, \tau = L\beta_{ext} = 6$.

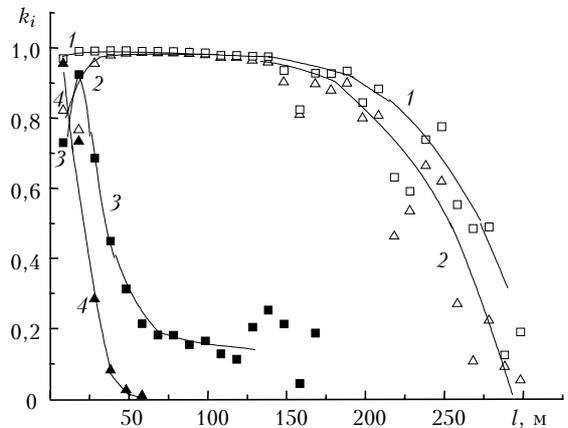


Рис. 3. Зависимость коэффициентов контраста изображения k_i от расстояния l

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 Δy . 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.

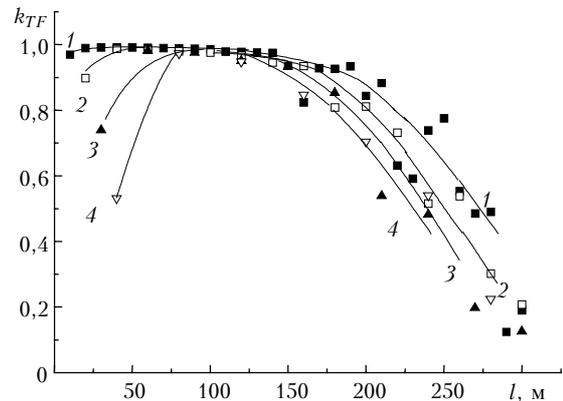


Рис. 4. Влияние длительности строба на контраст изображения объект-фон: 1 – 10, 2 – 20, 3 – 30, 4 – 40 м

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 Δy^{-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 Δy , 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.

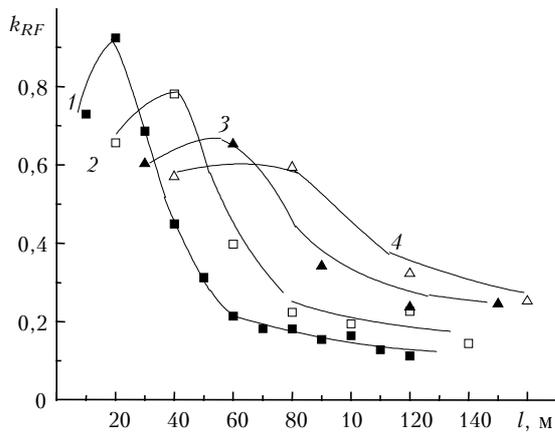


Рис. 5. Влияние длительности строба на контраст изображения поверхность-фон: 1 – 10, 2 – 20, 3 – 30, 4 – 40 м

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 $\pi l^{-2} \operatorname{ctg}^2(\nu_0)$.

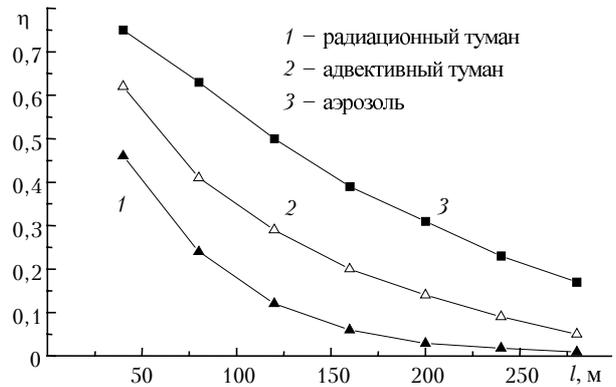


Рис. 6. Влияние диффузной подсветки на интенсивность нерассеянного отраженного от объекта излучения

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 // Опτικο-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.