

И.Е. Астахов, В.П. Будаков, Д.В. Лисицин, С.Ю. Сухоросов

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ИЗОБРАЖЕНИЯ
В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЕ НАБЛЮДЕНИЯ
В МУТНЫХ СРЕДАХ**

Получены выражения для математического моделирования переноса изображения в оптико-электронной системе наблюдения (ОЭС), включающей в себя в качестве линейных звеньев атмосферный и водный каналы, состояние поверхности раздела, геометрию освещения, характеристики излучателя и приемной системы. Рассмотрена наиболее интересная с практической точки зрения схема наблюдения на основе сканирования узкой диаграммой приемника при подсветке широкой диаграммой источника. Показано, что для этой схемы при крупномасштабном коррелированном волнении и прозрачной среде возможно проявление эффекта усиления обратного рассеяния.

Проведено сравнение результатов расчета с экспериментальными данными. Для оценки качества ОЭС использованы вероятности обнаружения и опознавания тест-объекта на аддитивном фоне. Проанализированы зависимости вероятностей от положения слоя повышенной мутности между объектом и ОЭС при наблюдении в модельной атмосфере Mc Clatchey – Fenn. Показано, что при перемещении слоя от объекта к наблюдателю вероятность обнаружения монотонно ухудшается, а по опознаванию в зависимости от углового размера объекта при приближении слоя к наблюдателю могут наблюдаться эффект кальки, *t*-эффект и монотонный рост вероятности опознавания.

Большой класс задач атмосферной оптики и гидрооптики связан с оценкой качества активных и пассивных оптико-электронных систем (ОЭС) наблюдения через воздушный и водный слои со случайно-неровной поверхностью (СНП) раздела. Можно выделить два аспекта данной проблемы.

Первый состоит в необходимости моделирования структуры изображения в ОЭС наблюдения, включающей в себя в качестве линейных звеньев атмосферный и водный каналы, состояние поверхности раздела, геометрию схемы наблюдения, характеристики источника подсветки (ИП) и приемника излучения (ПИ) [1].

Второй аспект заключается в выработке такого интегрального критерия качества, который связан с основными характеристиками структуры изображения и дает возможность сравнивать различные ОЭС друг с другом и с эталоном, а также поддерживать, повышать и восстанавливать качество изображений в процессе их обработки [2].

Развитие графических средств и вычислительной мощности персональных компьютеров позволяет вывести процесс моделирования и оценки качества ОЭС на новый уровень: создание автоматизированного рабочего места (АРМ) исследователя, предназначенного для работы в полевых и лабораторных условиях. Соответствующее программное обеспечение АРМ должно сочетать гибкий пользовательский интерфейс с возможностью быстрого интерактивного получения результатов в виде графиков, таблиц или изображений. Проанализируем возможности для создания такой системы.

Вклад эффектов многократного рассеяния и переотражения излучения от объекта и СНП в суммарное распределение яркости по плоскости анализа ОЭС имеет различный порядок малости. Основой для выделения из суммарного сигнала компонентов, существенно влияющих на структуру изображения, служит теория оптического передаточного оператора (ОПО) ОЭС, строящегося на основе декомпозиции общей краевой задачи уравнения переноса излучения (УПИ) на элементарные [1]. Выбор в качестве метода нахождения функций Грина УПИ малоугловой модификации метода сферических гармоник (MSG) [3] позволяет учесть анизотропию и многократное рассеяние и получить удобные аналитические выражения для построения быстрого расчетного алгоритма.

Средний полезный сигнал с учетом приемной апертуры после усреднения по всем возможным реализациям имеет вид [1]

$$\langle P_R(\hat{n}_S, \hat{n}_R) \rangle = \frac{\Phi_0}{\pi} \int \rho(\mathbf{r}') \omega_R(\hat{\mathbf{n}}_R \rightarrow \hat{\mathbf{l}}_R) l^r(\mathbf{r}_2, \hat{\mathbf{l}}_2 \rightarrow \mathbf{r}_R, \hat{\mathbf{l}}_R) O_1(\mathbf{r}'; \mathbf{r}_1, \hat{\mathbf{l}}_1 \rightarrow \mathbf{r}_2, \hat{\mathbf{l}}_2) l^a(\mathbf{r}_S, \hat{\mathbf{l}}_S \rightarrow \mathbf{r}_1, \hat{\mathbf{l}}_1) \times \\ \times \omega_S(\hat{\mathbf{n}}_S \rightarrow \hat{\mathbf{l}}_S) d\hat{\mathbf{l}}_1' d\hat{\mathbf{l}}_2' d\hat{\mathbf{l}}_S' d\hat{\mathbf{l}}_R' d^2 r_1 d^2 r_2 d^2 r' , \tag{1}$$

$$O_1(\mathbf{r}'; \mathbf{r}_1, \hat{\mathbf{l}}'_1 \rightarrow \mathbf{r}_2, \hat{\mathbf{l}}'_2) = \frac{t^2}{4(\pi n)^2} \int \Phi(z, \mathbf{k}_1) \Phi(z, \mathbf{k}_2) \theta(\mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2, \Gamma) \times \\ \times \exp \left[\frac{i}{z} \mathbf{r}'(\mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2) - \frac{i}{z} (\mathbf{r}_1 \mathbf{k}_1 + \mathbf{r}_2 \mathbf{k}_2) - \frac{i}{n} (\mathbf{k}_1 \mathbf{l}'_1 - \mathbf{k}_2 \mathbf{l}'_2) \right] d^2 k_1 d^2 k_2, \quad (2)$$

$$\theta(\mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2, \Gamma) = \exp \left[-\sigma_M^2 (\mathbf{k}_1^2 + \mathbf{k}_2^2 + 2\Gamma \mathbf{k}_1 \mathbf{k}_2) \right], \quad \sigma_M^2 = \frac{\sigma^2}{2} \left(\frac{n-1}{n} \right)^2, \quad (3)$$

где O_1 – первое приближение оператора переноса изображения через СНП и слой океана, угловыми скобками обозначена операция статистического усреднения; $\mathbf{n}_S, \mathbf{n}_R$ – единичные векторы нацеливания диаграмм направленности ИП S мощностью Φ_0 и ПИ R ; $\rho(\cdot)$ – распределение коэффициента отражения; $I^a(\cdot)$ и $\Phi(\cdot)$ – функции Грина атмосферного и водного слоев соответственно; $\Theta(\cdot)$ – двухточечная характеристическая функция волнения (функция Мулламаа); t – коэффициент пропускания СНП; n – показатель преломления воды; σ^2 и Γ – дисперсия и коэффициент корреляции уклонов СНП при волнении.

Существует три возможных схемы формирования изображения в ОЭС [4]. Схема N3 предполагает одновременное сканирование диаграммами направленности ИП и ПИ, что позволяет повысить качество изображения, однако эту схему технически сложно реализовать в реальных условиях. Основные расчетные выражения для схемы N3 получены в [1].

Большой интерес с практической точки зрения представляют схемы N1 и N2, обеспечивающие сканирование узкой диаграммой ИП (ПИ) при произвольном нацеливании широкой диаграммы ПИ (ИП).

Аналогично [1] пренебрегая рассеянием в атмосфере и считая базу между ИП и ПИ малой, запишем для диаграмм направленности

$$\omega_S \circ I^a = \omega_S(\hat{\mathbf{n}}_S - \hat{\mathbf{l}}'_1) \delta(\mathbf{r}_1 - h \hat{\mathbf{l}}'_1), \quad \omega_R \circ I^a = \omega_R(\hat{\mathbf{n}}_R + \hat{\mathbf{l}}'_2) \delta(\mathbf{r}_2 + h \hat{\mathbf{l}}'_2), \quad (4)$$

где h высота системы над СНП; $\delta(\cdot)$ – δ -функция Дирака; а значком \circ обозначена операция угловой свертки.

Выражая $\omega_S(\cdot)$, $\omega_R(\cdot)$, $\langle P_R \rangle(\cdot)$ и $\rho(\cdot)$ через их Фурье образы, действуя для схемы N2 ($\mathbf{n}_S = 0$, $\omega_S \gg \omega_R$) также как в [1] с учетом (1) – (4) получим

$$\langle P_R(\hat{\mathbf{n}}_R) \rangle = \frac{1}{2\pi} \int \langle P_R(\mathbf{p}) \rangle \exp(-i \mathbf{p} \mathbf{n}_R) d^2 p, \quad (5)$$

$$\langle P_R(\mathbf{p}) \rangle = \frac{\Phi_0 t^2}{\pi n^2 h^2} \int \tilde{\rho} \left(\frac{2\mathbf{K}}{z} \right) \omega_R(\mathbf{p}) \omega_S \left(\frac{2H\mathbf{K}}{z} - \mathbf{p} \right) \theta(\mathbf{K}, \mathbf{k}, \Gamma) \Phi(z, \mathbf{K} + 0,5 \mathbf{k}) \Phi(z, \mathbf{K} - 0,5 \mathbf{k}) \times \\ \times \exp \left[-i \Delta \mathbf{r} \left[\mathbf{p} - \frac{H}{z} (\mathbf{K} - 0,5 \mathbf{k}) \right] / h \right] \exp(-i \mathbf{p} \mathbf{n}_R) d^2 \Delta r d^2 K d^2 k, \quad (6)$$

где $\langle P_R(\mathbf{p}) \rangle$, $\tilde{\rho}(2\mathbf{K}/z)$ – пространственные спектры сигнала и объекта; $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2$, $H = h + z/n$ – приведенная высота ОЭС.

Преобразуем (6) к более удобному для анализа виду с помощью замены $\zeta = -\mathbf{p} + \frac{2H\mathbf{K}}{z}$, $\xi = 0,5 \frac{H}{z} [\mathbf{k} + (\mathbf{p} + \zeta) z/H]$, $\beta = \Delta \mathbf{r}/h$. Получим

$$\langle P_R(\mathbf{p}) \rangle = \frac{\Phi_0 t^2 z^4}{\pi H^4 n^2} \omega_R(\mathbf{p}) \int \tilde{\rho} \left(\frac{\zeta + \mathbf{p}}{H} \right) \omega_S(\zeta) \Phi(z, \xi z/H) \Phi[z, (\mathbf{p} + \zeta - \xi) z/H] \times \\ \times \exp[i \beta(\zeta - \xi)] \exp[-\sigma_M^2 [(\zeta + \mathbf{p})^2 + 2(1 - \Gamma) \xi(\xi - \zeta - \mathbf{p})]] d^2 \beta d^2 \zeta d^2 \xi. \quad (7)$$

Для схемы N2 (широкая диаграмма ИП) справедливо $\zeta \rightarrow 0$. С учетом соотношения характерных масштабов изменения подынтегральных функций, отвечающих за вклад рассеяния, волнения СНП и распределения яркости по объекту в результирующее поле, получим

$$\begin{aligned} \langle P_R(\mathbf{p}) \rangle &= \frac{\Phi_0 t^2 z^4}{\pi H^4 n^2} \tilde{\rho}(\mathbf{p}/H) \omega_R(\mathbf{p}) \exp[-\sigma_M^2 \mathbf{p}^2] \int \omega_S(\zeta) \Phi(z, \xi z/H) \times \\ &\times \Phi[z, (\mathbf{p} + \zeta - \xi)z/H] \exp[i\beta(\zeta - \xi)] \exp[-2\sigma_M^2(1 - \Gamma)\xi(\xi - \zeta - \mathbf{p})] d^2\beta d^2\zeta d^2\xi. \end{aligned} \quad (8)$$

С целью понижения порядка интегрирования в (8) аналогично [1] предположим

$$\Gamma(\beta) = \begin{cases} 0, & \beta > \beta_0, \\ 1, & \beta \leq \beta_0. \end{cases}$$

Переходя от спектров к оригиналам, окончательно имеем для среднестатистической реакции ПИ на полезный сигнал

$$\langle P_R(\hat{\mathbf{n}}_R) \rangle = \frac{1}{2\pi^2} \int \tilde{\rho}(\mathbf{p}/H) F(\mathbf{p}) \exp(-i\mathbf{p} \mathbf{n}_R) d^2p, \quad (9)$$

$$\begin{aligned} F(\mathbf{p}) &= \Phi_0 4\pi^2 \frac{t^2 z^4}{H^4 n^2} \omega_R(\mathbf{p}) \Phi(z, \mathbf{p}z/H) \Phi(z, 0) \left\{ 1 + \frac{\pi \beta_0^2}{4\pi^2} \times \right. \\ &\times \left. \int [1 - \exp(-2\sigma_M^2 \xi(\xi - \mathbf{p}))] \frac{\Phi[z, \xi z/H] \Phi[z, (\mathbf{p} - \xi)z/H]}{\Phi(z, \mathbf{p}z/H) \Phi(z, 0)} \left[\frac{2J_1(\beta_0 |\xi|)}{\beta_0 |\xi|} \right] d^2\xi \right\}, \end{aligned} \quad (10)$$

где $F(\mathbf{p})/F(0)$ – соответствует оптической передаточной функции (ОПФ) ОЭС наблюдения; J_1 – функция Бесселя первого рода первого порядка. Расчетные выражения для схемы N1 могут быть получены из схемы N2 заменой $\omega_R \rightarrow \omega_S$, $\mathbf{n}_R \rightarrow \mathbf{n}_S$.

Выражение (10) по своей структуре аналогично выражению для схемы N3 [1], однако имеет при этом более простой вид. Первое слагаемое образовано произведением передаточных функций среды, волнения и спектра источника подсветки и не учитывает корреляцию излучения на СНП. Второе зависит от эффективного радиуса корреляции уклонов СНП $\Delta r_0 = \beta_0/h$ и в некоторых ситуациях (развитое волнение при прозрачной воде) может оказаться равным по величине первому слагаемому, что соответствует описанному в литературе (например, [5]) эффекту усиления полезного сигнала в два раза по сравнению со случаем наблюдения через плоскую границу раздела двух сред.

Используемые в расчетных выражениях для схемы N2 (N1) функции Грина, полученные на основе МСГ, качественно верно описывают структуру светового поля в различных метеоусловиях [6]. Однако для оценки работоспособности и надежности математической модели переноса изображения в ОЭС наблюдения очевидна необходимость сравнения расчетов с данными натурных экспериментов.

На рис. 1–2 приведены результаты сравнения расчетов с экспериментальными данными, которые были получены в ходе испытаний активной ОЭС наблюдения, проводившихся в лабораторном бассейне Института физики АН Беларуси осенью 1989 г. сотрудниками ГЕОХИ РАН. Регистрировалось размытое изображение белого диска диаметром 0,5 м на горизонтальных трассах различной длины при замутнении воды латексом. Расчеты показали удовлетворительное соответствие эксперимента и теории при варьировании в широких пределах оптических толщ и угловой расходимости пучка подсветки для импульсного и стационарного режимов работы ОЭС наблюдения. В настоящее время подобная система подводного видения производится фирмой TURN Ltd.

На рис. 1 приведена использованная при моделировании аппроксимация реальной индикатрисы рассеяния для латекса диаметром 1 мкм линейной комбинацией из двух индикатрис Хенли – Гринштейна ($X - \Gamma$) различной степени вытянутости.

Рис. 2 отражает ход экспериментального и расчетных профилей нормированной яркости диска для двух оптических расстояний при горизонтальной трассе наблюдения 30 м. Моделирование показало, что форма нормированного профиля яркости наиболее чувствительна к таким характеристикам среды, как альбедо однократного рассеяния и индикатриса рассеяния, что требует их тщательного измерения при проведении натурных испытаний систем такого типа.

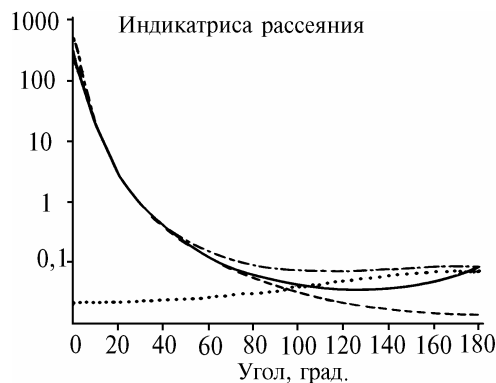


Рис. 1. Аппроксимация реальной индикатрисы рассеяния. Латекс диаметром 1 мкм: сплошная кривая – эксперимент; штриховая – индикатриса $X - \Gamma$, $g = 0,94$; точки – индикатриса $X - \Gamma$, $g = -0,2$; штрихпунктирная – аппроксимация двумя индикатрисами $X - \Gamma$

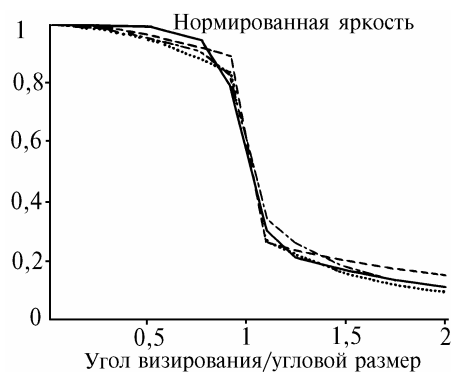


Рис. 2. Нормированное распределение яркости по входному зрачку ОЭС. Расстояние 30 м. Вероятность выживания фотона 0,8. Ослабление $0,12 \text{ м}^{-1}$: сплошная кривая – эксперимент; точки – расчет. Ослабление $0,2 \text{ м}^{-1}$: штрихпунктирная кривая – эксперимент; штриховая – расчет

Оценивать качество ОЭС наблюдения будем на основе анализа структуры оптического изображения, сформированного данной ОЭС, к основным характеристикам которого относятся: нормированное распределение яркости по входному зрачку ПИ (или облученности по плоскости анализа); максимум интенсивности в изображении; составляющие оптического сигнала (сигналы от объекта и фона, <дымки> от слоев и блик от СНП); ОПФ или ФРТ системы наблюдения.

На практике оказывается неудобным использовать такое большое количество параметров для оценки качества ОЭС. Желательно для меры качества ОЭС иметь один интегральный критерий в виде числа от 0 до 1, аналитически просто выражающийся через характеристики изображения и отражающий своим поведением основные физические эффекты, экспериментально проявляющиеся при наблюдении в рассеивающих средах и поддающиеся аналитическому описанию.

В существующей по данному вопросу литературе принято разделять объективный и субъективный подходы к оценке качества, а также числовые и функциональные критерии для такой оценки [2].

ОПФ ОЭС наблюдения обычно используют как объективный функциональный критерий, а контраст объекта в изображении служит количественной мерой. Однако применение данных мер качества ограничено, поскольку зрительная задача носит принципиально вероятностный характер и решение о наличии объекта в поле зрения (обнаружение) или о соответствии его типа заданному (опознавание) принимается конечным звеном ОЭС – оператором либо автоматическим анализатором изображения (АИ) – на основе анализа априорной информации, параметров входного сигнала и некоторого правила выделения полезного сигнала из шума.

Основой для выбора и расчета статистических объективных критериев качества ОЭС служит теория статистических решений [7–9].

Выберем в качестве основных числовых объективных критериев качества ОЭС рассчитываемые в теории статистических решений вероятности обнаружения $P_{об}$ и опознавания из пары $P_{оп}$ простейших тест-объектов на случайном, аддитивном, стационарном фоне при условии, что АИ является оптимальным линейным фильтром, минимизирующим при принятии решения функционал от функции среднего риска (пропуски сигнала и ложные тревоги). В этом случае качество реальной ОЭС будет оцениваться по степени соответствия идеальной системе, реализующей оптимальный алгоритм обработки сигнала [8].

Если априори наличие и отсутствие объекта в поле зрения равновероятно, то вся доступная при наблюдении информация о смеси полезного сигнала с шумом содержится в отношении правдоподобия Λ [4, 5]. АИ работает по решающему правилу $\Lambda \geq \Lambda_{п}$, где $\Lambda_{п}$ – некоторое пороговое

значение отношения правдоподобия, зависящее от искусственно выбранного правила принятия решения и конкретных параметров ОЭС. Используемые на практике правила отличаются друг от друга численными значениями $\Lambda_{\text{п}}$. При нормальном законе распределения яркости по объекту и фону в соответствии с теорией оптимальной линейной фильтрации [9] имеем

$$P = 0,5 \{ \operatorname{erfc} [(1 \ln \Lambda - \mu) / 2 \sqrt{\mu}] + 1 \}, \quad (11)$$

$$\mu = \frac{1}{N} \int [L(\mathbf{k}) - L_0(\mathbf{k})]^2 H^2(\mathbf{k}) d^2k, \quad (12)$$

где P – вероятность правильного принятия решения при анализе изображения; μ – обобщенное отношение сигнал-шум при обнаружении объекта на фоне или при опознавании из пары эквивалентных по площади объектов: размытый диск и размытый квадрат; $L(\mathbf{k})$ – пространственный спектр сигнала от диска на входе АИ; $L_0(\mathbf{k})$ – матожидание $L(\mathbf{k})$ для задачи обнаружения либо спектр квадрата для задачи опознавания, $H(\mathbf{k})$ – передаточная функция АИ, N – белый спектр шума, приведенного ко входу АИ.

Таким образом, на основании (11), (12) возможен расчет вероятностей обнаружения $P_{\text{об}} = P(\mu_{\text{об}})$ и опознавания $P_{\text{оп}} = P(\mu_{\text{оп}})$, являющихся объективной числовой характеристикой качества ОЭС. В расчетах было принято $\Lambda_{\text{п}} = 1$, что соответствует критерию идеального наблюдателя [8, 9], а уровень шума считался известным.

В качестве примера оценки качества реальной ОЭС были проанализированы $P_{\text{об}}$ и $P_{\text{оп}}$ в зависимости от положения слоя повышенной мутности (оптическая толщина $\tau = 2$, геометрическая толщина 100 м) между объектом и расположенной на высоте 10 км пассивной ОЭС при наблюдении в модельной атмосфере Mc Clatchey – Fenn [10]. Из расчетов следует, что $P_{\text{об}}$ и $P_{\text{оп}}$ при приближении слоя к наблюдателю монотонно ухудшаются (так называемый <эффект кальки>). Этот вывод с очевидностью следует из анализа выражения (12), так как при перемещении слоя к АИ монотонно ухудшается ОПФ системы наблюдения, а спектр объекта (разностный спектр для задачи опознавания) остается постоянным.

Для включения в модель экспериментально наблюдающегося t – эффекта [11] переопределим зрительную задачу опознавания из пары тест-объектов для оптимального линейного приемника следующим образом: АИ замечает нелинейное искажение формы объекта при перемещении мутного слоя от объекта к наблюдателю при условии сравнения неразмытого изображения объекта известного углового размера с текущим размытым, из которого АИ предварительно вычитает фон (среднюю яркость на краю поля зрения ОЭС). Этот подход, на наш взгляд, более отвечает физике явления, поскольку от анализа типов объектов АИ переходит к анализу степени искажения формы. Для оценки качества ОЭС, отслеживающей проявление t -эффекта, был выбран критерий $P_{\text{оп}} = 1 - P_{\text{об,разл}}$, где вероятность обнаружения различий между размытым и идеальным дисками $P_{\text{об,разл}}$ вычислялась непосредственно по (12). При этом приближение слоя к наблюдателю обуславливало немонотонное изменение $P_{\text{оп}}$, что соответствует проявлению t -эффекта.

На рис. 3 – 4 приведены результаты расчетов вероятностей опознавания и нормированных профилей яркости для наблюдаемых через атмосферу и тонкий слой повышенной мутности дисков различных угловых размеров. На рис. 3 показано, что при перемещении слоя от объекта к наблюдателю по опознаванию в зависимости от углового размера объекта могут наблюдаться <эффект кальки>, t -эффект и монотонный рост вероятности опознавания. На рис. 4 приведены нормированные профили яркости диска для трех характерных точек на рис. 3, отражающие проявление t -эффекта.

Использованный критерий хорошо работает для надпороговых условий, когда уровень шума N можно считать малым. В пороговых условиях зависимость $P_{\text{об,разл}} \approx 1/N$ приводит к тому, что большему N соответствует большее значение $P_{\text{оп}}$, что затрудняет сравнение систем с различными уровнями шума. Следует отметить, что предложенный критерий не является в полной мере интегральным, поскольку изначально ориентирован на двухальтернативную зрительную задачу (вижу/не вижу) для линейного АИ, тогда как орган зрения (ОЗ) осуществляет нелинейную обработку изображения и ему более свойствен большой перебор вариантов, подтверждением чему служат экспериментальные оценки на основе метода субъективной экспертизы [2].

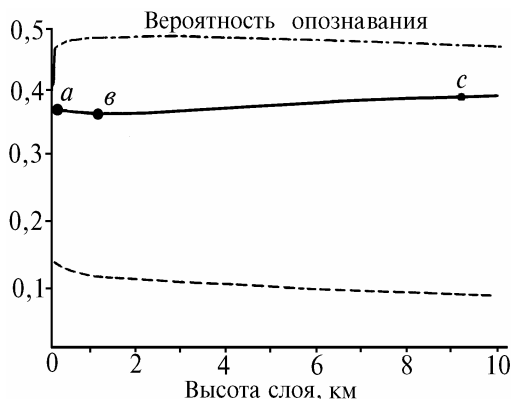


Рис. 3. Зависимость вероятности опознавания от положения слоя повышенной мутности: штрихпунктирная линия – диаметр объекта 50 м; сплошная – 500 м; штриховая – 5 км. Характерные точки t -эффекта: a – высота слоя над объектом 0,1; b – 1; c – 9 км

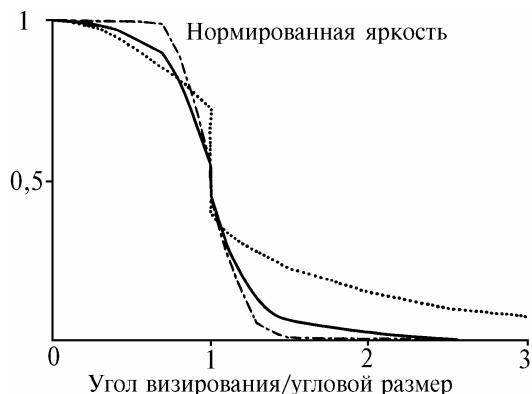


Рис. 4. Нормированное распределение яркости по входному зрачку ОЭС при наблюдении t -эффекта. Диаметр объекта 500 м. Сплошная линия – точка a на рис. 3; штрихпунктирная – точка b ; точки – точка c

В физиологической оптике используются статистические модели ОЗ [12–14], в той или иной степени учитывающие нелинейность ОЗ. Поэтому представляется целесообразным осуществить экспериментальное и теоретическое подтверждение качественных наблюдений t -эффекта в рамках теории зрительного восприятия, что будет способствовать созданию более строгой теоретической основы для статистической оценки качества ОЭС на основе анализа структуры изображений.

В заключение отметим, что для любой ОЭС наблюдения и конкретного оптического эффекта не представляет труда сформулировать свой нестатистический качественный критерий, имитирующий нелинейную обработку ОЗ на основе обычной нормировки изображения на максимум интенсивности или степенного, логарифмического и градиентного преобразования изображения. Однако в силу субъективности и неуниверсальности такого критерия его применимость будет ограничена рамками данной конкретной системы.

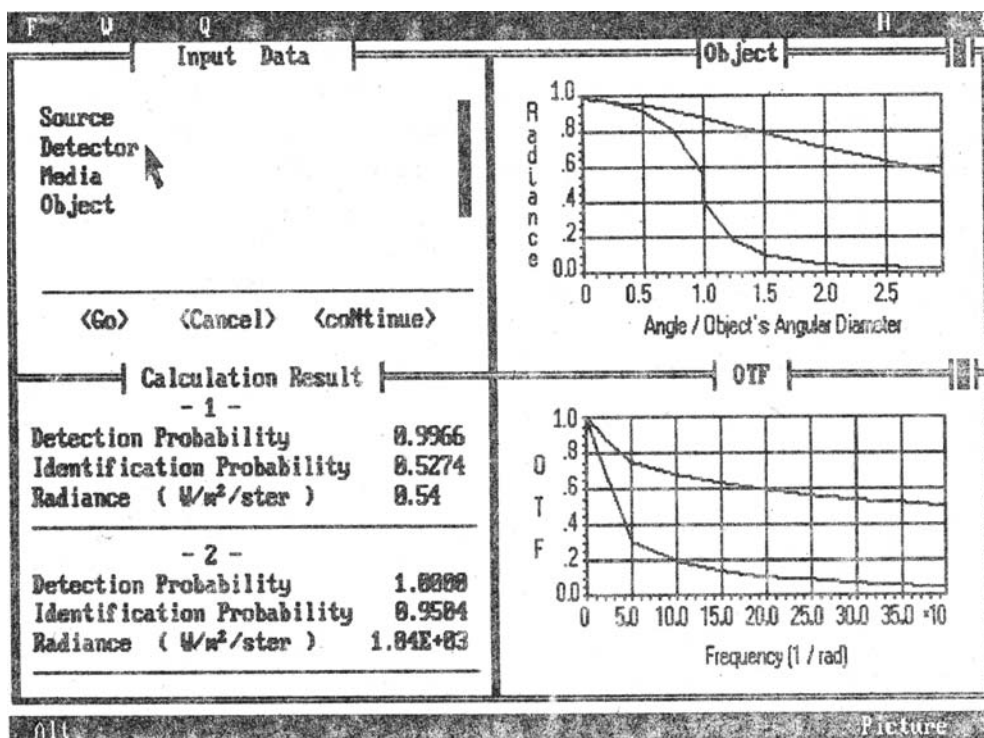


Рис. 5. Фрагмент сеанса работы с АРМ по моделированию переноса изображения в ОЭС наблюдения в мутных средах

Аналитические выражения для моделирования структуры изображения и оценки качества ОЭС были положены в основу программного обеспечения для АРМ по моделированию переноса изображения в активно-импульсных и пассивных ОЭС наблюдения через совокупность мутных сред с учетом корреляции излучения на СНП, фрагмент сеанса с которым приведен на рис. 5. Многооконный графический интерфейс обеспечивает комплексность и экспрессность при получении результатов. Для проведения всех расчетов использовался IBM PC AT.

1. Астахов И.Е., Будак В.П., Лисицин Д.В. // Оптика атмосферы и океана. 1992. N. 8. С. 843 – 851.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. М.: Мир. Т. 1. 1982. 310 с.; Т.2. 1982. 790 с.
3. Будак В.П., Сармин С.Э. // Оптика атмосферы. 1990. Т. 3. N 9. С. 981 – 987.
4. Долин Л.С., Левин И.М. Справочник по теории подводного видения. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 229 с.
5. Лучинин А.Г. // Изв. АН СССР. Сер. ФАО. 1979. Т. 15. N 7. С. 770.
6. Budak W.P., Ioltukhovskiy A.A., Mishin I.V., Muldashev T.Z. // Intern. Symp. Numer. Transp. Theory, Moscow, 1992. P. 68 – 71.
7. Green, Swets. Signal Detection Theory and Psychophysics. John Wiley. New York. 1964.
8. Шестов Н.С. Выделение оптических сигналов на фоне случайных помех. М.: Советское радио, 1967. 348 с.
9. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Радио и связь, 1989. 653 с.
10. Mc Clatchey R.A., Bolle J., Kondratyev K.Ya. // Report of the IAMAP Radiation Commission Working Group on a standard radiation atmosphere. Seattle. Washington. USA. 29 August. 1977.
11. Зуев В.Е., Белов В.В., Борисов Б.Д. и др. // ДАН АН СССР. 1983. Т. 286. N 2. С. 321 – 324.
12. Мартынов В.Н., Шкурский Б.И. // Оптико-механическая промышленность. 1982. N 7. С. 6 – 9.
13. Григорьев А.А., Кошавцев Н.Ф. // Труды МЭИ. 1977. N 316. С. 15 – 18.
14. Васильковский А.А., Романов С.С. // Оптико-механическая промышленность. 1987. N 9. С. 10–13.

Московский энергетический институт
TURN Ltd

Поступила в редакцию
11 июня 1993 г.

I.E. Astakhov, V.P. Budak, D.V. Lisitsin, S.Yu. Sukhorosov. **Modeling of the Image Transfer in Optoelectronic System for Vision in Turbid Media.**

In this paper we present expressions derived for modeling image transfer process in optoelectronic system for vision. The systems considered involve, as linear components, the atmosphere, water medium, and allows for the state of air-water interface, the geometry of its illumination, and the parameters of light source and optical receiver. Most practicable scheme of observations with scanning by narrow direction pattern of a receiver when the observed objects are illuminated with a broad beam from a source is analyzed in detail. It is shown that under conditions of large scale correlated waves and transparent medium one can expect an enhancement of the effect of backscattering amplification.

Theoretical data are compared with the experiment. To estimate the quality of an optoelectronic system we used the probabilities of detecting and identification of objects against an additive background. Behaviors of these probabilities have been analyzed for the cases when an enhanced turbidity layer is at different distances between an optoelectronic system and a test object in the model (McClatchy – Fenn) atmosphere. It is shown that the detection probability monotonically decreases with the scattering layer moving towards an observer. As to the identification probability there can occur so called effect of tracing paper, t -effect, and its monotonic increase when the layer move from object toward an observer.