

УДК 551.501

М. Л. Белов, В. А. Городничев,
В. И. Козинцев, Б. В. Стрелков

МОДЕЛИ СИГНАЛОВ ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ЛОКАЦИИ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Приведена аналитическая модель лазерного сигнала, принимаемого локатором, в общей схеме бистатической локации при непрерывном облучении взволнованной морской поверхности в условиях земной атмосферы. Проведено сравнение аналитической модели с результатами численных расчетов для различных геометрических схем локации. Показано, что полученная аналитическая модель лазерного сигнала хорошо согласуется с результатами численных расчетов.

Успех как анализа, так и синтеза сложных оптико-электронных систем в значительной мере определяется тем, насколько правильно построены модели входных сигналов. Это особенно актуально для лазерных локационных систем с их сложными структурами сигналов и помех, сильно зависящими от характера объекта локации, схемы локации и состояния земной атмосферы.

Создание адекватных моделей сигналов и помех на входе электронного тракта лазерной локационной системы делает возможным предварительный анализ и обоснованный выбор характеристик проектируемых систем, проведение математического и полунатурного моделирования в условиях, максимально приближенных к реальным, что позволяет существенно сократить объем натуральных испытаний и, в конечном счете, сроки разработки новых систем.

Наиболее сильное влияние на характер принимаемых лазерных сигналов от морской поверхности оказывают схема локации и состояние морской поверхности (которое определяется в основном скоростью приводного ветра). С увеличением скорости приводного ветра увеличиваются наклоны и высоты волн, а при большой скорости приводного ветра (более 6...9 м/с) на поверхности моря появляется пена, очень сильно изменяющая отражательные характеристики морской поверхности (в оптическом диапазоне коэффициент отражения пены по различным данным в 20...30 раз больше коэффициента отражения

участка морской поверхности без пены). Очень сильное влияние на величину принимаемого лазерного сигнала оказывают параметры схемы локации. Однако в большинстве работ по локации морской поверхности рассматривается только случай небольшой скорости приводного ветра, когда на поверхности моря пены нет и, как правило, рассматривается лишь схема моностатической вертикальной (или близкой к вертикальной) локации [1–5].

Далее приведено описание аналитической модели лазерного сигнала, принимаемого локатором, в общей схеме бистатической локации (когда источник и приемник разнесены в пространстве) при непрерывном облучении взволнованной морской поверхности для широкого диапазона скоростей приводного ветра и результаты сравнения аналитической модели и численных расчетов для различных схем локации.

Пусть взволнованная морская поверхность S облучается узким лазерным пучком. Пренебрежем затенениями одних элементов поверхности другими. Считаем, что длина волны лазерного излучения лежит в ИК-диапазоне, где поглощение водой велико так, что основная доля эхо-сигнала создается светом, зеркально отраженным границей воздух–вода, а долей света, диффузно отраженного толщей воды, можно пренебречь.

Из-за некогерентного сложения эхо-сигналов от участков чистой и покрытой пеной морской поверхности среднюю мощность P сигнала, принимаемого локатором (при облучении морской поверхности, частично покрытой пеной), можно представить в виде [6]

$$P = (1 - S_{\Pi})P_M + S_{\Pi}P_{\Pi}, \quad (1)$$

где P_M , P_{Π} — средние мощности эхо-сигнала при локации морской поверхности без пены и сплошь покрытой пеной; S_{Π} — доля поверхности моря, покрытой пеной.

Интегральные формулы для $P_{M,\Pi}$ имеют следующий вид [5, 7] (считается, что источник, приемник и их оптические оси лежат в одной плоскости xOz некоторой произвольной системы координат):

$$P_M \cong V^2 \frac{q^4}{4q_z^4} \int_{-\infty}^{\infty} W(\zeta) d\zeta \int_{S_0} d\mathbf{R}_0 E_{\Pi}^n(\mathbf{R}'_{0\zeta}) E_{\Pi}^n(\mathbf{R}''_{0\zeta}) W(\gamma = \tilde{\gamma}); \quad (2)$$

$$P_{\Pi} \cong \frac{A}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} W(\zeta) d\zeta \int_{-\infty}^{\infty} W(\gamma) d\gamma \int_{S_0} \frac{d\mathbf{R}_0}{n_z} E_{\Pi}(\mathbf{R}'_{0\zeta}) E_{\Pi}(\mathbf{R}''_{0\zeta}), \quad (3)$$

где $\tilde{\gamma} = \left(-\frac{q_x}{q_z} - \frac{R_{0x}}{q_z} T, -\frac{R_{0y}}{q_z} S \right)$; $s = \frac{1}{L_{\Pi}} + \frac{1}{L_{\Pi}}$; $T = \frac{\cos^2 \theta_{\Pi}}{L_{\Pi}} + \frac{\cos^2 \theta_{\Pi}}{L_{\Pi}}$; $E_{\Pi}(\mathbf{R}'_{0\zeta}) = E_{\Pi}^n(\mathbf{R}'_{0\zeta})(nm_{\Pi})$; $E_{\Pi}(\mathbf{R}''_{0\zeta}) = E_{\Pi}^n(\mathbf{R}''_{0\zeta})(nm_{\Pi})$; $q_x = \sin \theta_{\Pi} + \sin \theta_{\Pi}$; $q_z = -(\cos \theta_{\Pi} + \cos \theta_{\Pi})$; $q^2 = q_x^2 + q_z^2$; $\mathbf{R}'_{0\zeta} = \{ [R_{0x} \operatorname{ctg} \theta_{\Pi} -$

$-\zeta] \sin \theta_{и}, R_{oy}\}$; $\mathbf{R}_{o\zeta}'' = \{[R_{ox} \operatorname{ctg} \theta_{п} - \zeta] \sin \theta_{п}, R_{oy}\}$; $\zeta, \gamma = (\gamma_x, \gamma_y)$, $\mathbf{n} = (n_x, n_y, n_z)$ — случайные высота, вектор наклонов и единичный вектор нормали к морской поверхности; $E_{и}^n(\mathbf{R})$ — освещенность в поперечном сечении пучка от лазерного источника локатора; $m_{и,п}$ — единичные векторы, определяющие направление облучения и приема; $W(\zeta), W(\gamma) = W(\gamma_x, \gamma_y)$ — функции распределения высот и наклонов морской поверхности; V^2 — коэффициент отражения Френеля морской поверхности без пены; A — альbedo участка морской поверхности, покрытого пеной; $L_{и,п}$ — наклонные расстояния (вдоль оптических осей) от источника и приемника до поверхности; $\theta_{и,п}$ — углы между нормалью к плоскости $z = 0$ и оптическими осями источника и приемника.

В выражениях (2) и (3) интегрирование проводится по поверхности S_o (проекция случайно-неровной взволнованной морской поверхности на плоскость $z = 0$).

Величина $E_{п}(\mathbf{R})$ в выражениях (2) и (3) — безразмерная. Если $E_{п}(\mathbf{R})$ умножить на $1 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$, то полученная величина будет иметь смысл освещенности. Для вычисления этой освещенности рассматривают некоторый источник (его называют “фиктивным” источником [8, 9]) и используют три параметра такого источника: мощность, угловое поле зрения и размер передающей апертуры. При этом считают, что размер передающей апертуры фиктивного источника равен размеру приемного объектива, угол расходимости излучения источника — угловому полю зрения приемной оптической системы, а мощность фиктивного источника полагают равной 1 Вт .

Для действительного и фиктивного источников будем использовать модели гауссовых пучков [8, 9]. В рамках этих моделей для величин $E_{и,п}(\mathbf{R})$ имеем [8, 9]

$$E_{и,п}(\mathbf{R}) \cong \frac{a_{и,п}(\lambda)}{L_{и,п}^2} \exp\{-C_{и,п}(\lambda)R^2\}. \quad (4)$$

Величины $a_{и,п}(\lambda)$, $C_{и,п}(\lambda)$, входящие в уравнение (4), зависят от длины волны излучения λ , параметров источника ($a_{и}, C_{и}$), приемника ($a_{п}, C_{п}$), расстояний $L_{и}$ и $L_{п}$ соответственно от источника и приемника до поверхности, а также от состояния земной атмосферы.

В общем случае величины $a_{и,п}(\lambda)$, $C_{и,п}(\lambda)$ сложным образом зависят от указанных параметров. Однако в некоторых частных случаях для них можно использовать простые модели [10].

В качестве модели взволнованной морской поверхности будем использовать модель гауссовой трехмерной случайно-неровной в среднем плоской поверхности (гауссовое распределение для наклонов морской поверхности близко к экспериментально полученному [11]). Участки пены считаем изотропными отражателями, расположенными

на склонах волн [12, 13]. Причем распределение наклонов пятен пены будем считать таким же, как и распределение наклонов морских волн [13].

Подставляя выражения для $E_{и}(\mathbf{R})$ и $E_{п}(\mathbf{R})$ [10] в формулы (2) и (3), проводя интегрирование и усреднение по высотам и наклонам морской поверхности S , из уравнения (1) получим следующую аналитическую формулу для средней мощности P , регистрируемой приемником при облучении узким лазерным пучком взволнованной морской поверхности, частично покрытой пеной (при обычно выполняющихся условиях: среднеквадратическое значение наклонов морского волнения, с одной стороны, много меньше единицы (морская поверхность обычно плавно-неровная), с другой — много больше угла расходимости источника и углового поля зрения приемника локатора):

$$\begin{aligned}
 P \cong \frac{a_{и}a_{п}}{L_{и}^2L_{п}^2} & \left\{ (1 - S_{п}) \frac{q^4V^2}{q_z^44\sqrt{2}\sigma} \frac{1}{2(\bar{\gamma}_x^2\bar{\gamma}_y^2)^{1/2}} \times \right. \\
 & \times \left[C_{и} + C_{п} + \frac{1}{2\bar{\gamma}_y^2q_z^2} \left(\frac{1}{L_{и}} + \frac{1}{L_{п}} \right)^2 \right]^{-1/2} d^{-1/2} \times \\
 & \times \exp \left\{ -\frac{q_x^2}{2\bar{\gamma}_x^2q_z^2} \left[1 - \frac{r}{r+p} (1 + d^{-1}(C_{и} \sin \theta_{и} \cos \theta_{и} + \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. + C_{п} \sin \theta_{п} \cos \theta_{п})^2 \right] \right\} + S_{п}A \cos \theta_{и} \cos \theta_{п} \times \\
 & \times [C_{и} + C_{п}]^{-1/2} [C_{и} \cos^2 \theta_{и} + C_{п} \cos^2 \theta_{п}]^{-1/2} \times \\
 & \quad \left. \times \left[1 + \frac{2\sigma^2 C_{и} C_{п} \sin^2(\theta_{и} - \theta_{п})}{C_{и} \cos^2 \theta_{и} + C_{п} \cos^2 \theta_{п}} \right]^{-1/2} \right\}, \quad (5)
 \end{aligned}$$

где

$$d = \frac{(r+p)}{2\sigma^2} + C_{и}C_{п} \sin^2(\theta_{и} - \theta_{п}) + r(C_{и} \sin^2 \theta_{и} + C_{п} \sin^2 \theta_{п});$$

$$r = \frac{1}{2\bar{\gamma}_x^2q_z^2} \left(\frac{\cos^2 \theta_{и}}{L_{и}} + \frac{\cos^2 \theta_{п}}{L_{п}} \right)^2; \quad p = C_{и} \cos^2 \theta_{и} + C_{п} \cos^2 \theta_{п};$$

$\sigma^2, \bar{\gamma}_{x,y}^2$ — дисперсии высот и наклонов взволнованной морской поверхности S .

Для прозрачной аэрозольной атмосферы величины $a_{и,п}$, $C_{и,п}$ определяются следующим образом [10]:

$$a_{и} = \frac{P_o T_{и} T_{аи} \exp(-\tau_{аи})}{\pi \alpha_{и}^2}; \quad a_{п} = \pi r_{п}^2 T_{п} T_{ап} \exp(-\tau_{ап}); \quad C_{и,п} = (\alpha_{и,п} L_{и,п})^{-2};$$

$\tau_{аи,ап}$ — оптические толщи атмосферы между источником (приемни-

ком) и поверхностью; P_0 — мощность, излучаемая лазерным источником; $T_{\text{п}}$, $T_{\text{и}}$ — коэффициенты пропускания приемной и передающей оптики лазерного лоатора; $T_{\text{ан}}$, $T_{\text{ап}}$ — коэффициенты пропускания атмосферы, вызванные поглощением атмосферными газами, на трассах “источник–поверхность” и “приемник–поверхность” соответственно; $\alpha_{\text{и,п}}$ — угол расходимости излучения источника и угол поля зрения приемной оптической системы; $r_{\text{п}}$ — эффективный радиус приемного объектива.

Для оценки дисперсий наклонов и высот морской поверхности обычно используют следующие соотношения [3, 11]:

$$\frac{1}{\bar{\gamma}_x^2} = \frac{\cos^2 \varphi}{\bar{\gamma}_u^2} + \frac{\sin^2 \varphi}{\bar{\gamma}_\sigma^2}; \quad \frac{1}{\bar{\gamma}_y^2} = \frac{\cos^2 \varphi}{\bar{\gamma}_\sigma^2} + \frac{\sin^2 \varphi}{\bar{\gamma}_u^2};$$

$$\bar{\gamma}_u^2 = 3,16 \cdot 10^{-3}U, \quad \bar{\gamma}_\sigma^2 = 0,003 + 1,92 \cdot 10^{-3}U; \quad \sigma = 0,016U^2;$$

φ — угол между осью x и направлением ветра; $\bar{\gamma}_u^2$, $\bar{\gamma}_\sigma^2$ — дисперсии наклонов морской поверхности по направлению ветра и поперек направления ветра; U — скорость приводного ветра, м/с.

При небольших скоростях приводного ветра (когда на поверхности моря нет пены) в случае вертикальной моностатической локации формула (5) совпадает с результатами работ [2, 3, 14], а при наклонной локации (без учета дисперсии возвышений морской поверхности) — с результатами работы [15].

Для расчета мощности P , регистрируемой приемником лазерного лоатора, необходимо знать характеристики отражения пены и долю $S_{\text{п}}$ поверхности моря, покрытой пеной, которую оценивают по эмпирическим соотношениям [16, 17]. Эти соотношения сильно зависят от региона измерений и температуры поверхности воды $T_{\text{в}}$. В таблице приведены некоторые модели зависимости $S_{\text{п}}$ от скорости приводного ветра U .

Таблица

Зависимость $S_{\text{п}}$ от скорости приводного ветра

Номер модели	$T_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$	$U, \text{м/с}$	$S_{\text{п}} \cdot 10^2$
1	6–22	9–23	$0,009U^3 - 0,3296U^2 + 4,54U - 21,33$
2	> 14	$U > U_{\text{в}}$	$2,95 \cdot 10^{-4}U^{3,52}; U_{\text{в}} = 3,36 \cdot 10^{-0,00309T_{\text{в}}}$
3	3	9–16	$0,189U - 1,285$

Отражение пены измеряли в лабораторных условиях [18]. Получено, что в диапазоне длин волн 0,5... 1 мкм альbedo пены $A \approx 0,5$.

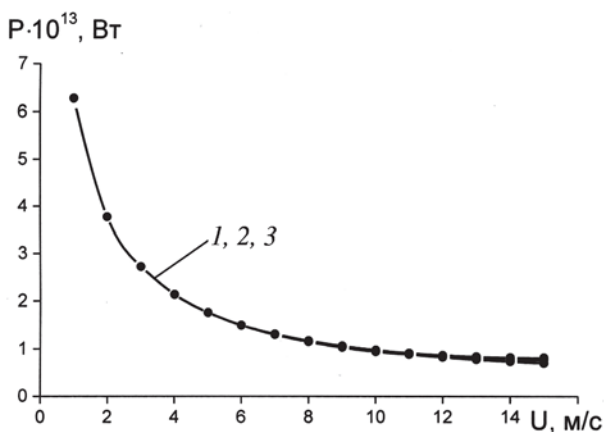


Рис. 1. Зависимости мощности P сигнала, принимаемого локатором, от скорости приводного ветра для схемы вертикальной моностатической локации

На рис. 1... 3 для разных схем локации в прозрачной атмосфере приведены результаты расчета принимаемой мощности P в зависимости от скорости приводного ветра U (для моделей покрытия моря пеной, приведенных в таблице) и сравнения аналитической модели с результатами численных расчетов. Номера кривых на рисунках совпадают с номерами моделей, приведенных в таблице. Результаты расчетов по аналитической формуле (5) показаны сплошными линиями. Кружки — это результаты численных расчетов по интегральным формулам (1)... (3). При проведении всех расчетов полагали, что $P_o = 1$ Вт, $V^2 = 0,02$, $T_{\Pi} = T_{\text{и}} = T_{\text{ап}} = T_{\text{ан}} = 1$, $\tau_{\text{ан}} = \tau_{\text{ап}} = 0$.

На рис. 1 показаны результаты расчетов для схемы вертикальной моностатической локации (например, для лазерного высотомера). Расчеты проводились при следующих значениях параметров: $\theta_{\text{и}} = \theta_{\text{п}} = 0$; $L_{\text{и}} = L_{\text{п}} = 10^3$ м; $\alpha_{\text{и}} = 10^{-3}$; $\alpha_{\text{п}} = 10^{-2}$.

Из рис. 1 видно, что при вертикальной моностатической локации принимаемая мощность сильно уменьшается с увеличением скорости приводного ветра U . Физически это объясняется тем, что диаграмма отражения морской поверхности с увеличением скорости приводного ветра изменяется от квазизеркальной (при малых значениях U) до близкой к диффузной (при больших значениях U , когда на поверхности моря много пены).

Результаты расчетов для различных моделей покрытия морской поверхности пеной при вертикальной моностатической локации незначительно отличаются между собой — кривые 1... 3 практически сливаются на рис. 1.

На рис. 2 показаны результаты расчетов для схемы наклонной моностатической локации (например, для сканирующей лазерной системы дистанционного зондирования морской поверхности) при угле

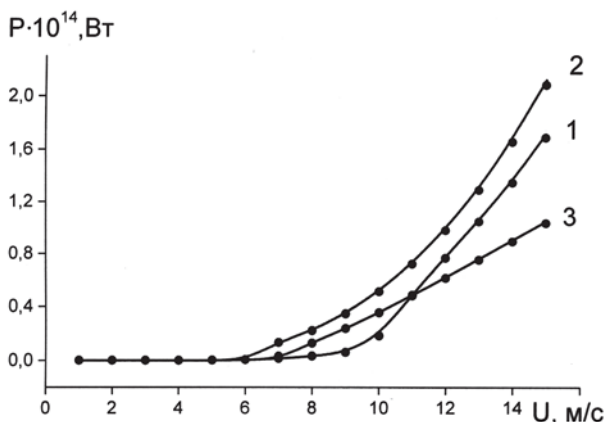


Рис. 2. Графики зависимостей мощности P сигнала, принимаемого локатором, от скорости приводного ветра для схемы наклонной моностатической локации; $\theta_{\text{н}} = \theta_{\text{п}} = 30^\circ$

локации, сильно отличающемся от вертикального. Расчеты проводились при следующих значениях параметров (чтобы нагляднее пояснить основное отличие наклонной локации от вертикальной все параметры, кроме угла локации, для рис. 2 взяты такими же, что и для рис. 1): $\theta_{\text{н}} = \theta_{\text{п}} = 30^\circ$; $L_{\text{н}} = L_{\text{п}} = 10^3$ м; $\alpha_{\text{н}} = 10^{-3}$; $\alpha_{\text{п}} = 10^{-2}$.

Из рис. 2 видно, что для наклонной моностатической локации принимаемая мощность сильно возрастает с увеличением скорости приводного ветра U . Физически это объясняется теми же причинами, что и уменьшение мощности для рис. 1:

- при малых значениях U угловая диаграмма отражения морской поверхности близка к зеркальной и при угле локации, сильно отличающемся от вертикального, мощность излучения, приходящего на приемник, очень мала;

- при увеличении скорости приводного ветра угловая диаграмма отражения морской поверхности расширяется. Это приводит к увеличению мощности излучения, приходящего на приемник, особенно начиная с тех значений U (больше 6...9 м/с), когда на поверхности моря появляется пена.

Результаты расчетов для различных моделей пены при наклонной моностатической локации существенно различаются между собой.

На рис. 3 показаны результаты расчетов для промежуточного (между рис. 1 и 2) случая: схема локации — наклонная моностатическая, однако, угол локации незначительно отличается от вертикального. Расчеты проводились при следующих значениях параметров: $\theta_{\text{н}} = \theta_{\text{п}} = 7^\circ$; $L_{\text{н}} = L_{\text{п}} = 10^3$ м; $\alpha_{\text{н}} = 10^{-3}$; $\alpha_{\text{п}} = 10^{-2}$.

На рис. 3 видно, что в этом случае принимаемая мощность не очень сильно изменяется с увеличением скорости приводного ветра: сначала она возрастает с увеличением U , потом плавно уменьшается. При

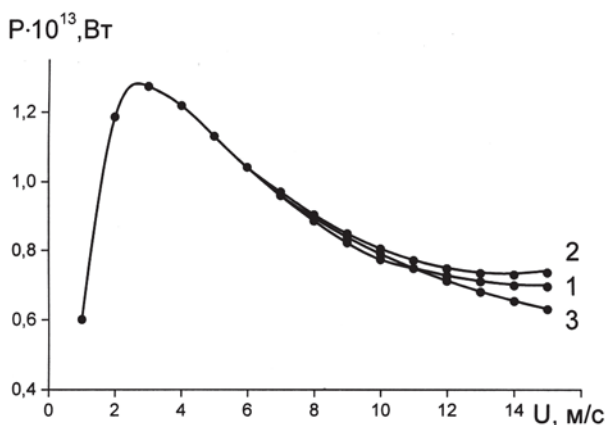


Рис. 3. Зависимость мощности P сигнала, принимаемого локатором, от скорости приводного ветра для схемы наклонной моностатической локации; $\theta_{\text{н}} = \theta_{\text{л}} = 7^\circ$

этом результаты расчетов для разных моделей пены слабо различаются между собой.

В целом рис. 1... 3 показывают, что полученные модели сигналов (для лазерных систем локации морской поверхности) хорошо описывают мощность сигнала, принимаемого локатором, от взволнованной морской поверхности для широкого диапазона скоростей приводного ветра (включая большие значения U , когда на поверхности моря появляется пена) — сплошные линии (расчеты по аналитической формуле) практически совпадают с кружками (результатами численных расчетов по интегральной формуле) на всех рисунках. Величина скорости приводного ветра сильно влияет на мощность лазерного сигнала. Степень и характер этого влияния существенно зависят от углов локации и в общем случае от модели покрытия моря пеной. Последнее особенно сильно проявляется для наклонной моностатической локации при углах, сильно отличающихся от вертикального.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. П е л е в и н В. П. Метод локации волнующейся морской поверхности расходящимся световым импульсом / Световые поля в океане. — М.: ГОИН, 1980. — С. 216–223.
2. Л у ч и н и н А. Г. О точности измерения параметров морской поверхности оптическими скаттерометрами и альтиметрами // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. — 1980. — Т. 16, № 3. — С. 305–315.
3. T s a i В. М., G a r d n e r С. S. Remote sensing of sea state using laser altimeter // Appl. Opt. — 1982. — V. 21. — № 21. — P. 3932–3940.
4. Г у р е в и ч Г. С. О статистических характеристиках лазерного излучения, отраженного от морской поверхности / Оптика моря. — М.: Наука, 1983. — С. 137–142.
5. Д и с т а н ц и о н н ы й контроль верхнего слоя океана / В.М. Орлов, И.В. Самохвалов, М.Л. Белов и др. — Новосибирск: Наука. СО, 1991. — 149 с.

6. Белов М. Л., Орлов В. М. Временная структура лидарного сигнала при импульсном зондировании взволнованной морской поверхности // Оптика атмосферы. – 1992. – Т. 5, № 3. – С. 300–308.
7. Белов М. Л., Орлов В. М. О мощности оптического сигнала на трассе с отражением от случайно неровной поверхности // Оптика и спектроскопия. – 1987. – Т. 63. Вып. 6. – С. 1363–1364.
8. Элементы теории светорассеяния и оптическая локация / В.М. Орлов, И.В. Самохвалов, Г.Г. Матвиенко и др. – Новосибирск: Наука, 1982. – 225 с.
9. Сигналы и помехи в лазерной локации / В.М. Орлов, И.В. Самохвалов, Г.М. Креков и др. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
10. Белов М. Л., Городничев В. А., Козинцев В. И. Модели сигналов лазерных систем, предназначенных для локации земной поверхности // Вестник МГТУ. Сер. “Приборостроение”, в печати.
11. Cox C., Munk W. Measurement of the roughness of the sea surface from photographs of the sun’s glitter // J.O.S.A. – 1954. – V. 44, – № 11. – P. 838–850.
12. Koerke P. Effective reflectance of oceanic whitecaps // Appl. Optics. – 1984. – V. 23, – № 11. – P. 1816–1824.
13. Wald L., Monget J. M. Remote sensing of the sea state using the 0,8–1,1 nm spectral band // Int. J. Remote sensing. – 1983. – V. 4, – № 2. – P. 433–446.
14. Гуревич Г. С. О флуктуациях интенсивности светового пучка, отраженного от взволнованной морской поверхности // Труды ЦАО. – 1979. – Вып. 138. – С. 80–92.
15. Стемковский А. И. Лазерный способ измерения дисперсии уклонов волнующейся морской поверхности / Световые поля в океане. – М.: ГОИН, 1980. – С. 224–230.
16. Бортковский Р. С. Пространственно-временные характеристики барашков и пятен пены, образующихся при обрушении ветровых волн // Метеорология и гидрология. – 1987. – № 5. – С. 68–75.
17. Monahan E. C., O’Muircheartaigh I. Whitecaps and the passive remote sensing of the ocean surface // Int. J. Remote Sensing. – 1986. – V. 7. – № 5. – P. 627–642.
18. Whitlock C. H., Bartlett D. S., Gurganus E. A. Sea foam reflectance and influence on optimum wavelength for remote sensing of ocean aerosols // Geophysical Research Letter. – 1982. – V. 9. – № 6. – P. 719–722.

Статья поступила в редакцию 11.12.2006

Михаил Леонидович Белов родился в 1950 г., окончил в 1973 г. Московский энергетический институт. Д-р техн. наук, ведущий науч. сотрудник НИИ радиоэлектроники и лазерной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 150 научных работ в области лазерной локации и атмосферной оптики.

M.L. Belov (b.1950) graduated from Moscow Institute for Power Engineering in 1973. D. Sc. (Eng.), leading researcher of “Radioelectronics and Laser Technology” Research Institute of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 150 publications in the field of laser location and optics of atmosphere.





Виктор Александрович Городничев родился в 1952 г., окончил в 1976 г. МГУ им. М.В. Ломоносова. Канд. техн. наук, начальник отдела НИИ радиоэлектроники и лазерной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана. Имеет более 200 научных работ в области лазерной техники.

V.A. Gorodnichev (b. 1952) graduated from the Lomonosov Moscow State University in 1976. Ph. D. (Eng.), head of department of “Radio-electronics and Laser Technology” Research Institute of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 200 publications in the field of laser technology.

Валентин Иванович Козинцев родился в 1945 г., окончил в 1969 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана. Д-р техн. наук, зам. директора НИИ радиоэлектроники и лазерной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 150 научных работ в области лазерной техники.

V.I. Kozintsev (b.1945), graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1969. D. Sc. (Eng.), deputy director of “Radioelectronics and Laser Technology” Research Institute of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 150 publications in the field of laser technology.



Борис Викторович Стрелков родился в 1947 г., окончил в 1971 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана. Канд. техн. наук, декан факультета “Радиоэлектроника и лазерная техника” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 50 научных работ в области лазерной и измерительной техники.

B.V. Strelkov (b.1947), graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1971. Ph. D. (Eng.), head of “Radioelectronics and Laser Technology” faculty of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 50 publications in the field of laser and measurement technology.