

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

УРАВНЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ЛОКАЦИИ НЕРОВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ С КОМБИНИРОВАННОЙ ЛОКАЛЬНОЙ ИНДИКАТРИСОЙ ОТРАЖЕНИЯ

Получено в интегральном виде уравнение лазерной локации для случайно неровной поверхности с локальной индикатрисой отражения, имеющей ламбертовскую и зеркальную компоненты. В случае, когда высоты и наклоны поверхности распределены по нормальному закону, получена аналитическая формула для средней мощности, регистрируемой приемником лазерного локатора. Показано, что принимаемая мощность сильно зависит от локальной индикатрисы отражения поверхности.

В большинстве работ по лазерной локации облучаемая поверхность полагается либо плоской с ламбертовским законом отражения, либо случайно неровной с ламбертовской индикатрисой отражения элементарных участков поверхности (см., например, работы [1–7]). В настоящей работе на основе фотометрического подхода рассмотрена задача лазерной локации неровной поверхности с локальной индикатрисой отражения, имеющей ламбертовскую и зеркальную компоненты. Для такой поверхности проведен строгий вывод уравнения лазерной локации; показано, при каких условиях это уравнение допускает упрощение; получено аналитическое выражение для мощности, регистрируемой приемником.

Пусть неровная поверхность S облучается узким лазерным пучком. В рамках фотометрического подхода к задаче локации общее интегральное выражение для мощности P , регистрируемой приемником (в малоугловом приближении для источника и приемника при отсутствии затенений одних элементов поверхности другими и многократного рассеяния на поверхности), имеет следующий вид [8]:

$$P = \int_S \int_{2\pi} L_{\text{п}}(\vec{R}, \vec{m}) L_{\text{отр}}(\vec{R}, \vec{m}) \cos \theta_{\text{нс}} d\Omega(\vec{m}) d\vec{R}, \quad (1)$$

где $L_{\text{отр}}(\vec{R}, \vec{m})$ — яркость отраженного излучения на поверхности S в точке \vec{R} в направлении \vec{m} ; $\Omega(\vec{m})$ — телесный угол; $\theta_{\text{нс}}$ — угол между нормалью к поверхности S и направлением на приемник.

Величина $L_{\text{п}}(\vec{R}, \vec{m})$ имеет размерность ср^{-1} . Если эту величину умножить на $1 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$, то полученная величина будет соответствовать

яркости, создаваемой на элементе поверхности S излучением, падающим от фиктивного источника с параметрами приемника (распределение яркости излучения такого источника соответствует угловому полю зрения приемной оптической системы).

В рамках фотометрического подхода яркость отраженного излучения $L_{\text{отр}}(\vec{R}, \vec{m})$ можно представить в следующем виде:

$$L_{\text{отр}}(\vec{R}, \vec{m}) = \chi(\vec{R}, \vec{k}, \vec{m})L_0(\vec{R}, \vec{m}); \quad (2)$$

здесь $\chi(\vec{R}, \vec{k}, \vec{m})$ — локальная индикатриса отражения (для однородной поверхности $\chi(\vec{R}, \vec{k}, \vec{m}) = \chi(\vec{k}, \vec{m})$); \vec{k}, \vec{m} — векторы, характеризующие направление соответственно падающего и отраженного излучения; $L_0(\vec{R}, \vec{m})$ — распределение яркости отраженного излучения для идеального отражателя (ламбертовского отражателя с альбедо, равным единице).

Для идеального ламбертовского отражателя распределение яркости имеет вид [1]

$$L_0(\vec{R}, \vec{m}) \equiv L_0(\vec{R}) = \frac{E_n(\vec{R})}{\pi}, \quad (3)$$

где $E_n(\vec{R})$ — освещенность элементарной отражающей площадки, создаваемая излучением, падающим от источника.

Локальная индикатриса отражения $\chi(\vec{k}, \vec{m})$ характеризует рассеивающие свойства локальных участков крупномасштабной поверхности S (размеры локальных участков много меньше характерных масштабов поверхности S , но много больше длины волны излучения). В качестве индикатрисы $\chi(\vec{k}, \vec{m})$ примем комбинированную индикатрису, имеющую ламбертовскую и зеркальную составляющие (аналогичная индикатриса отражения для плоской поверхности рассмотрена в работе [9]):

$$\chi(\vec{k}, \vec{m}) = A \left(\alpha + \beta \frac{\pi}{\cos \theta_3} \delta(\vec{m} - \vec{m}_3) \right); \quad (4)$$

здесь A — коэффициент отражения (альбедо) элементарной отражающей площадки; α, β — доля ламбертовского и зеркального отражения для элементарной отражающей площадки, $\alpha + \beta = 1$; \vec{m}_3 — вектор зеркального отражения, зависящий от вектора \vec{m}_n направления падающего излучения и нормали \vec{n} к отражающей площадке:

$$\vec{m}_3 = \vec{m}_n - 2\vec{n}(\vec{n}\vec{m}_n);$$

θ_3 — угол между нормалью к отражающей площадке \vec{n} и вектором \vec{m}_3 ; $\delta(\vec{m})$ — дельта-функция.

Индикатриса отражения $\chi(\vec{k}, \vec{m})$ нормирована условием

$$\frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \chi(\vec{k}, \vec{m}) \cos \theta d\Omega(\vec{m}) = A. \quad (5)$$

Подставляя формулы (2)–(4) в выражение (1), получим

$$P = \alpha \frac{A}{\pi} \int_S E_n(\vec{R}) E_n(\vec{R}) d\vec{R} + \beta A \int_S E_n(\vec{R}) d\vec{R} \int_{2\pi} L_n(\vec{R}, \vec{m}) \delta(\vec{m} - \vec{m}_3) d\Omega(\vec{m}), \quad (6)$$

где

$$E_n(\vec{R}) = \int_{2\pi} L_n(\vec{R}, \vec{m}) \cos \theta_{ns} d\Omega(\vec{m}).$$

Величина $E_n(\vec{R})$ безразмерная. Если умножить ее на $1 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$, то полученная величина будет соответствовать освещенности, создаваемой на элементе поверхности S излучением, падающим от фиктивного источника с параметрами приемника.

В выражении (6) учтено, что для элементарных площадок, отражающих излучение источника на приемник (т.е. влияющих на принимаемую мощность P), справедливо равенство $\cos \theta_3 = \cos \theta_{ns}$.

Для условий прозрачной атмосферы формулу (6) можно упростить, используя следующее выражение для яркости $L_n(\vec{R}, \vec{m})$ гауссовского пучка фиктивного источника (с параметрами приемника) на расстоянии z_n от приемника:

$$L_n(\vec{R}, \vec{m}) = \exp \left(- \frac{m_{x\perp}^2 + m_{y\perp}^2}{\alpha_n^2} - \frac{(m_{x\perp} z_n - R_{x\perp})^2 + (m_{y\perp} z_n - R_{y\perp})^2}{r_n^2} \right); \quad (7)$$

здесь $2\alpha_n$ — угол поля зрения приемника; r_n — эффективный радиус приемного объектива; $\vec{R}_\perp = \{R_{x\perp}, R_{y\perp}\}$, $\vec{m}_\perp = \{m_{x\perp}, m_{y\perp}\}$ — векторы в плоскости, перпендикулярной оптической оси приемника, характеризующие положение точки наблюдения и направление излучения соответственно.

Используя формулу (7) и условие $r_n \ll \alpha_n z_n$ (выполняющееся для большинства систем лазерной локации), переходя в формуле (7) от векторов \vec{m}_\perp к векторам в системе координат, связанной со случайно ори-

ентрированной отражающей площадкой, проводя в выражении (6) интегрирование по угловым координатам (по $d\Omega$) и переходя аналогично тому, как это сделано в работе [10], от интегрирования по неровной поверхности S к интегрированию по поверхности S_0 (проекции S на плоскость $z = 0$), после ряда преобразований из выражения (6) получим

$$P \approx \alpha \frac{A}{\pi} \int_{S_0} E_n(\vec{R}'_{0\zeta}) E_n(\vec{R}''_{0\zeta}) \frac{d\vec{R}_0}{n_z} + \beta A \int_{S_0} E_n(\vec{R}'_{0\zeta}) \exp\left(-\frac{(R''_{0x\zeta})^2 + (R''_{0y\zeta})^2}{(\alpha_n z_n)^2}\right) \times \exp\left(-\frac{\left(\frac{(q_x + R_{0x}T + \gamma_x q_z)^2}{(\vec{n}\vec{m}_n)^2(1 + \gamma_x^2 + \gamma_y^2)} + \left(R_{0y}s + \frac{\gamma_y q_z}{\sqrt{1 + \gamma_x^2}}\right)^2\right)}{\left(\frac{r_n}{z_n}\right)^2}\right) \frac{d\vec{R}_0}{n_z}, \quad (8)$$

где

$$\vec{R}'_{0\zeta} = \left((R_{0x} \operatorname{ctg} \theta_n - \zeta(\vec{R})) \sin \theta_n, R_{0y} \right);$$

$$\vec{R}''_{0\zeta} = \left((R_{0x} \operatorname{ctg} \theta_n - \zeta(\vec{R})) \sin \theta_n, R_{0y} \right);$$

$$s = \frac{1}{z_n} + \frac{1}{z_n}; \quad T = \frac{\cos^2 \theta_n}{z_n} + \frac{\cos^2 \theta_n}{z_n};$$

$$q_x = \sin \theta_n + \sin \theta_n; \quad q_z = -(\cos \theta_n + \cos \theta_n);$$

$\vec{R}_0 = \{R_{0x}, R_{0y}\}$ — вектор в плоскости $z = 0$; θ_n, θ_n — углы между нормалью к плоскости $z = 0$ и оптическими осями источника и приемника; z_n, z_n — наклонные расстояния от источника и приемника до центра сектора обзора на поверхности; \vec{m}_n — единичный вектор, характеризующий направление на приемник; $\vec{n} = \{n_x, n_y, n_z\}$ — вектор нормали к неровной поверхности S ,

$$n_z = \frac{1}{\sqrt{1 + \gamma_x^2 + \gamma_y^2}};$$

$\vec{\gamma} = \{\gamma_x, \gamma_y\}$ — вектор наклонов неровной поверхности S ; $\zeta(\vec{R})$ — высота неровной поверхности S в точке \vec{R} ; для простоты полагаем, что источник, приемник и их оптические оси лежат в одной плоскости $0xz$, а поверхность S плавно неровная.

Величина $r_{\text{п}}/z_{\text{п}}$ в знаменателе второй экспоненты в выражении (8) мала при расстояниях от приемника $z_{\text{п}}$ в несколько десятков метров и более, поэтому выражение (8) можно упростить, используя аппроксимацию дельта-функции:

$$\frac{\varepsilon}{\sqrt{\pi}} \exp(-\varepsilon^2 x^2) \rightarrow \delta(x) \text{ при } \varepsilon \rightarrow \infty, \quad \varepsilon = \frac{z_{\text{п}}}{r_{\text{п}}}.$$

Тогда из выражения (8) получим

$$P \approx \alpha \frac{A}{\pi} \int_{S_0} E_{\text{и}}(\vec{R}'_{0\zeta}) E_{\text{п}}(\vec{R}''_{0\zeta}) \frac{d\vec{R}_0}{n_z} + \beta A \int_{S_0} E_{\text{и}}(\vec{R}'_{0\zeta}) E_{\text{п}}(\vec{R}''_{0\zeta}) \times \\ \times \delta\left(\frac{1}{\sqrt{1+\gamma_x^2}}(q_x + R_{0x}T + \gamma_x q_z)\right) \delta\left(\frac{1}{\sqrt{1+\gamma_y^2}}\left(R_{0y}s + \frac{\gamma_y q_z}{\sqrt{1+\gamma_x^2}}\right)\right) \frac{d\vec{R}_0}{n_z}, \quad (9)$$

где

$$E_{\text{п}}(\vec{R}) \approx \frac{\pi r_{\text{п}}^2 (\vec{n} \vec{m}_{\text{п}})}{z_{\text{п}}^2} \exp\left(-\frac{R_{\perp}^2}{(\alpha_{\text{п}} z_{\text{п}})^2}\right).$$

Проводя в формуле (9) усреднение по высотам и наклонам случайно неровной поверхности S , получим следующее выражение для средней мощности \bar{P} , регистрируемой приемником:

$$\bar{P} \approx \alpha \frac{A}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} W(\zeta) d\zeta \int_{-\infty}^{\infty} W(\tilde{\gamma}) d\tilde{\gamma} \int_{S_0} E_{\text{и}}(\vec{R}'_{0\zeta}) E_{\text{п}}(\vec{R}''_{0\zeta}) \frac{d\vec{R}_0}{n_z} + \\ + \beta A \frac{q^4}{4q_z^4} \int_{-\infty}^{\infty} W(\zeta) d\zeta \int_{S_0} E_{\text{и}}^n(\vec{R}'_{0\zeta}) E_{\text{п}}^n(\vec{R}''_{0\zeta}) W(\tilde{\gamma}_x, \tilde{\gamma}_y) d\vec{R}_0, \quad (10)$$

где

$$\tilde{\gamma}_x = -\frac{q_x}{q_z} - \frac{R_{0x}}{q_z} T, \quad \tilde{\gamma}_y = -\frac{R_{0y}}{q_z} s;$$

$$E_{\text{и}}^n(\vec{R}'_{0\zeta}) = E_{\text{и}}(\vec{R}'_{0\zeta}) (\vec{m}_{\text{и}} \vec{n})^{-1}; \quad E_{\text{п}}^n(\vec{R}''_{0\zeta}) = E_{\text{п}}(\vec{R}''_{0\zeta}) (\vec{m}_{\text{п}} \vec{n})^{-1};$$

$q^2 = q_x^2 + q_z^2$; $W(\zeta)$, $W(\gamma_x, \gamma_y)$ — плотности распределения высот и наклонов неровной поверхности S .

Формула (10) представляет собой записанное в интегральном виде уравнение лазерной локации для случайно неровной поверхности с локальной индикатрисой отражения, имеющей ламбертовскую и зеркальную компоненты.

Полагая, что значения высот и наклонов поверхности S распределены по нормальному закону, пучки действительного и фиктивного (с параметрами приемника) источников — гауссовские, вычислим интегралы в выражении (10) и получим следующую аналитическую формулу для средней мощности \bar{P} , регистрируемой приемником лазерного локатора при облучении случайно неровной поверхности с локальной индикатрисой отражения вида (4):

$$\begin{aligned} \bar{P} = & \frac{a_n a_n A}{z_n^2 z_n^2} \left(\alpha Q (C_n + C_n)^{-1/2} p^{-1/2} \Omega + \right. \\ & + \beta \frac{q^4}{q_z^4 4 \sqrt{2\sigma}} \frac{1}{2(\bar{\gamma}_x^2 \bar{\gamma}_y^2)^{1/2}} \left(C_n + C_n + \frac{1}{2\bar{\gamma}_y^2 q_z^2} \left(\frac{1}{z_n} + \frac{1}{z_n} \right)^2 \right)^{-1/2} \times \\ & \times d^{-1/2} \exp \left(-\frac{q_x^2}{2\bar{\gamma}_x^2 q_z^2} \left(1 - \frac{n}{n+p} \left(1 + d^{-1} (C_n \sin \theta_n \cos \theta_n + \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \left. + C_n \sin \theta_n \cos \theta_n \right)^2 \right) \right) \left. \right), \quad (11) \end{aligned}$$

где

$$\Omega = (1 + 2\sigma^2 p^{-1} C_n C_n \sin^2(\theta_n - \theta_n))^{-1/2}; \quad p = C_n \cos^2 \theta_n + C_n \cos^2 \theta_n;$$

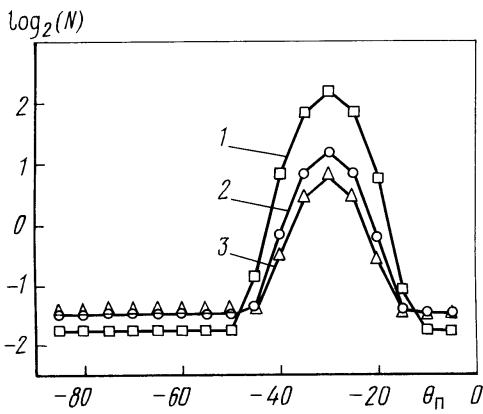
$$d = \frac{(n+p)}{2\sigma^2} + C_n C_n \sin^2(\theta_n - \theta_n) + n(C_n \sin^2 \theta_n + C_n \sin^2 \theta_n);$$

$$n = \frac{1}{2\bar{\gamma}_x^2 q_z^2} \left(\frac{\cos^2 \theta_n}{z_n} + \frac{\cos^2 \theta_n}{z_n} \right)^2; \quad a_n = \frac{P_0}{\pi \alpha_n^2}; \quad a_n = r_n^2 \pi;$$

$$C_n = (\alpha_n z_n)^{-2}; \quad C_n = (\alpha_n z_n)^{-2};$$

$$\begin{aligned} Q = & \frac{a \exp\left(\frac{1}{2a}\right)}{4(\bar{\gamma}_x^2 \bar{\gamma}_y^2)^{1/2}} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{a^{-k}}{k!} \left(\frac{\mu}{2}\right)^{2k} \left(\sin \theta_n \sin \theta_n a^{1/4} \frac{\Gamma(2k+2)}{\Gamma(k+1)} \times \right. \\ & \times W_{-k-\frac{3}{4}, k+\frac{3}{4}} \left(\frac{1}{a}\right) - \sin \theta_n \sin \theta_n a^{-1/4} \frac{\Gamma(2k+3)}{\Gamma(k+2)} \frac{\mu}{2} W_{-k-\frac{5}{4}, k+\frac{5}{4}} \left(\frac{1}{a}\right) + \\ & \left. + 2 \cos \theta_n \cos \theta_n a^{-1/4} \frac{\Gamma(2k+1)}{\Gamma(k+1)} W_{-k-\frac{1}{4}, k+\frac{1}{4}} \left(\frac{1}{a}\right) \right); \end{aligned}$$

$a = 4 \left(\frac{1}{\bar{\gamma}_x^2} + \frac{1}{\bar{\gamma}_y^2} \right)^{-1}$; $\mu = 0,5a\Delta$, $\Delta = 0,5 \left(\frac{1}{\bar{\gamma}_x^2} - \frac{1}{\bar{\gamma}_y^2} \right)$; σ^2 , $\bar{\gamma}_x^2$, $\bar{\gamma}_y^2$ — дисперсии высот и наклонов неровной поверхности S ; $\Gamma(k)$ — гамма-функция; $W_{n,m}(x)$ — функция Уиттекера; P_0 — мощность, излучаемая источником; $2\alpha_n$ — угол расходимости излучения источника.



Зависимость величины N от угла приема θ_{π} :

1 — $\alpha = 0,5, \beta = 0,5$; 2 — $\alpha = 0,95, \beta = 0,05$; 3 — $\alpha = 0,98, \beta = 0,02$

В случае $\beta, \sigma^2, \bar{\gamma}_x^2, \bar{\gamma}_y^2 \rightarrow 0$ формула (11) переходит в известное выражение для принимаемой мощности, полученное для плоской ламбертовской поверхности [1, 2].

При $\alpha \rightarrow 0$ формула (11) определяет мощность, регистрируемую приемником от локально зеркальной (например, морской) поверхности. В частном случае локации в надир ($\theta_{\text{и}} = 0, \theta_{\pi} = 0$) формула (11) совпадает с формулами, полученными в работах [11–13]. При наклонной локации ($\theta_{\text{и}} \neq 0, \theta_{\pi} \neq 0$) формула (11) совпадает (если пренебречь в ней влиянием дисперсии возвышений поверхности) с формулой, полученной в работе [14]. В случае, когда поверхность облучается сферической волной, а приемник принимает излучение от всех углов, формула (11) совпадает с формулой, полученной в работе [10].

На рисунке для бистатической локации приведены результаты расчетов зависимости величины $N = \frac{\bar{P} z_{\text{и}}^2 z_{\pi}^2}{A a_{\text{и}} a_{\pi}}$ — относительной величины, характеризующей мощность \bar{P} , регистрируемую приемником, — от угла приема θ_{π} .

Расчеты проведены по формуле (11) для следующих значений параметров: $z_{\text{и}} = 10^4$ м; $z_{\pi} = 10^2$ м; $\alpha_{\text{и}} = 0,001$; $\alpha_{\pi} = 0,002$; $\theta_{\text{и}} = 30^\circ$; $\sigma = 0,1$ м; $\bar{\gamma}_x^2 = \bar{\gamma}_y^2 = 10^{-3}$.

Из рисунка видно, что мощность, регистрируемая приемником, сильно зависит от локальной индикатрисы отражения поверхности: в направлениях, близких к углу зеркального отражения ($\theta_{\pi} = -\theta_{\text{и}}$), появляется пик, величина которого определяется долей зеркальной составляющей локальной индикатрисы отражения поверхности.

Таким образом, в настоящей работе получено в интегральном виде уравнение лазерной локации для случайно неровной поверхности

с локальной индикатрисой отражения, имеющей ламбертовскую и зеркальную компоненты. В случае, когда высоты и наклоны поверхности распределены по нормальному закону, получена аналитическая формула для средней мощности, регистрируемой приемником лазерного лоатора. Показано, что принимаемая мощность сильно зависит от локальной индикатрисы отражения поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Э л е м е н т ы теории светорассеяния и оптическая локация / В.М. Орлов, И.В. Самохвалов, Г.Г. Матвиенко и др. – Новосибирск: Наука, 1982. – 225 с.
2. С и г н а л ы и помехи в лазерной локации / В.М. Орлов, И.В. Самохвалов, Г.М. Креков и др. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
3. К а р а с и к В. Е., О р л о в В. М. Лазерные системы видения. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 352 с.
4. G a r d n e r C. S. Target signatures for laser altimeters: an analysis // *Appl. Optics*. – 1982. – V. 21. – № 3. – P. 448–453.
5. Ш и н к а р е н к о В. Г., К а р а в а е в А. Д. Расчет мощности оптического сигнала лазерной сканирующей системы видения // *Радиотехника*. – 1989. – № 6. – С. 72–74.
6. Капустин А. А., Яцевич Г. Б., Разумовский В. И. Расчет обратно отраженной энергии при сканировании диффузно рассеивающей поверхности // *Изв. вузов. Сер. Приборостроение*. – 1970. – № 1. – С. 95–98.
7. Б е л о в М. Л., О р л о в В. М. Рассеяние узкого волнового пучка на случайно-неровной локально-ламбертовской поверхности в атмосфере // *Изв. вузов. Сер. Радиофизика*. – 1986. – Т. 29. – № 11. – С. 1387–1389.
8. Б е л о в М. Л., Г о р о д н и ч е в В. А., К о з и н ц е в В. И. Мощность, регистрируемая приемником в сильно рассеивающей среде при облучении лазерным пучком неровной локально диффузной поверхности // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Приборостроение”*. – 2003. – Т. 52. – № 3. – С. 12–19.
9. К о п и л о в и ч Л. Е., Ф у к с И. М. Индикатрисы рассеяния и альbedo сильношероховатых поверхностей // *Изв. вузов. Сер. Радиофизика*. – 1981. – Т. 24. – № 7. – С. 840–850.
10. Б а с с Ф. Г., Ф у к с И. М. Рассеяние волн на статистически неровной поверхности. – М.: Наука, 1972. – 424 с.
11. T s a i В. М., G a r d n e r C. S. Remote sensing of sea state using laser altimeter // *Appl. Optics*. – 1982. – V. 21. – № 21. – P. 3932–3940.
12. Г у р е в и ч Г. С. О флуктуациях интенсивности светового пучка, отраженного от взволнованной морской поверхности // *Труды ЦАО*. – 1979. – Вып. 138. – С. 80–92.
13. Л у ч и н и н А. Г. О точности измерения параметров морской поверхности оптическими скаттерометрами и альтиметрами // *Изв. АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана*. – 1980. – Т. 16. – № 3. – С. 305–315.
14. С т е м к о в с к и й А. И. Лазерный способ измерения дисперсии уклонов волнующейся морской поверхности // *Световые поля в океане*. – М.: ГОИН, 1980. – С. 224–230.

Статья поступила в редакцию 9.10.2002

Михаил Леонидович Белов родился в 1950 г., окончил в 1973 г. Московский энергетический институт. Д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник НИИ “Радиоэлектроника и лазерная техника” 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 “Radio-electronics and Laser Technology” research institute of the Bauman Moscow State Technical University. Author of over 150 publications in the field of the laser location and optics of atmosphere.



Валентин Иванович Козинцев родился в 1945 г., окончил в 1969 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана. Д-р техн. наук, зам. директора НИИ “Радиоэлектроника и лазерная техника” 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 “Radio Electronics and Laser Technology” research institute of the Bauman Moscow State Technical University. Author of over 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.), dean of “Radio Electronics and Laser Technology” faculty of the Bauman Moscow State Technical University. Author of over 50 publications in the field of laser and measurement technology.



**В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышла из печати книга**

**ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

Учеб. пособие для вузов / В.И. Козинцев, В.М. Орлов, М.Л. Белов
и др.; под ред. В.Н. Рождествина. – 2002. – 528 с. (в пер.)

Книга состоит из двух частей – “Лазерные оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды” и “Пассивные оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды”. В части I изложены физические основы лазерного зондирования, принципы построения лидарных систем экологического мониторинга и приведены примеры лидарных систем экологического мониторинга. Часть II посвящена физическим основам пассивного оптического контроля, принципам организации систем спутникового экологического мониторинга и построению пассивных оптико-электронных приборов дистанционного контроля окружающей среды. Приведены примеры спутниковой оптико-электронной аппаратуры для экологического мониторинга природной среды. Содержание учебного пособия соответствует курсу лекций, который читают авторы в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для студентов технических университетов, обучающихся по направлению “Оптехника”, а также для научных и инженерно-технических работников приборостроительного профиля.