

МОДЕЛЬ ПРИЕМНОЙ СИСТЕМЫ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВНУТРИПРИБОРНОЙ ФОНОВОЙ ОБЛУЧЕННОСТИ ПЛОСКОСТИ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАМИ КОНСТРУКЦИИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ КОМПОНОВКИ

Согласно разработанной авторами системе описания внутренней полости конструкции оптико-электронных устройств как сложного пространственного источника излучения и выбранному методу расчета облученности от ее элементов в плоскости анализа изображения этого устройства дано поэтапное решение задачи определения фоновых засветок с приведением основных алгоритмов.

Для решения задачи определения фоновых засветок в плоскости анализа изображения (ПАИ) оптико-электронных устройств (ОЭУ) излучением элементов их внутренней полости, в первую очередь, необходимо разработать систему ее описания, как сложного пространственного источника, через определенную индексацию и таблицы. Эта система должна давать информацию о местоположении заданного элемента в конструкции прибора, его конфигурации, геометрических размерах, степени нагрева, энергетических и других параметрах, что необходимо для вычисления фоновой облученности в ПАИ.

В общем случае фоновая засветка в ПАИ прибора определяется излучением компонентов оптической системы и непрозрачных конструктивных элементов (оправ, бленд и т.д.). Указанные источники могут облучать ПАИ непосредственно и через систему оптических поверхностей, расположенных между ними. Причем источники излучения и ПАИ обычно не являются оптически сопряженными. Стремление к обеспечению компактности конструкции ОЭУ, что достигается применением отражающих поверхностей, приводит к усложнению ее компоновки. В этом случае компоненты оптической системы выполняются с внутренними отверстиями, в которые монтируются конструктивные элементы, крепящиеся к корпусным деталям или оправам оптических элементов посредством пространственных или плоских держателей.

В соответствии с изложенным, внутреннюю полость прибора при решении поставленной задачи удобно разделять на пространства (в дальнейшем называемые секциями) в направлении прямого хода лучей

(рис. 1) между внешним элементом конструкции и первой поверхностью оптической системы (ОС), вершинами оптических поверхностей, а также последней поверхностью ОС и ПАИ.

Тип источника (с оптической точки зрения) в пределах каждой секции и его ориентация относительно вершин ОС прибора будет определяться следующими индексами и их цифровыми значениями:

$i = 1$ — полупрозрачный источник N (коэффициент пропускания не равен 1);

$\gamma = 1$ — непрозрачный компонент оптической системы M_γ^0 прибора;

$\gamma = 2$ — непрозрачные источники $M_\gamma(K)$, разделенные от ПАИ прибора системой K оптических поверхностей;

$\gamma = 3$ — непрозрачные источники M_γ , расположенные за ОС в прямом ходе лучей (перед ПАИ).

Оптическую поверхность, перед которой располагается источник, в дальнейшем будем определять индексом K_{ii} . В случае источников типа N и M_γ^0 индекс K_{ii} соответствует либо второй поверхности линзового компонента, либо вершине поверхности зеркального элемента ОС. Приведенный индекс γ , принимающий для каждого конкретного типа источника значения 1, 2 и 3, является признаком его непрозрачности в направлении, перпендикулярном оптической оси, при:

$\gamma = 1$ — источник ($M_\gamma(K)$ или M_γ) непрозрачен в направлении от наружного диаметра элементов ОС прибора;

$\gamma = 2$ — источник непрозрачен в направлении от оптической оси к внутреннему диаметру ОС прибора (соответствует сложной компоновке прибора, когда его оптические элементы выполняются с внутренними отверстиями);

$\gamma = 3$ — непрозрачный источник располагается между внутренним и внешним диаметрами элементов ОС прибора.

Ввиду многообразия возможных конструктивных реализаций приемных систем ОЭУ при решении поставленной задачи весьма удобен принцип представления конфигурации непрозрачных конструктивных элементов (кроме зеркальных компонентов ОС) внутренней полости прибора комбинацией простых геометрических фигур. Поэтому в дальнейшем форма источника m_i заданного типа $M_\gamma(K)$ или M_γ будет определяться цифровым значением индекса ξ .

Анализ конструкций приемной системы ОЭУ показывает, что непрозрачные элементы внутренней полости прибора вполне могут быть представлены комбинацией следующих геометрических фигур:

$\xi = 1$ — круг, плоскость которого перпендикулярна оптической оси (в случае источника типа N или M_γ^0 определяет его форму в сечении, перпендикулярном оптической оси); $\xi = 2$ — кольцо, плоскость

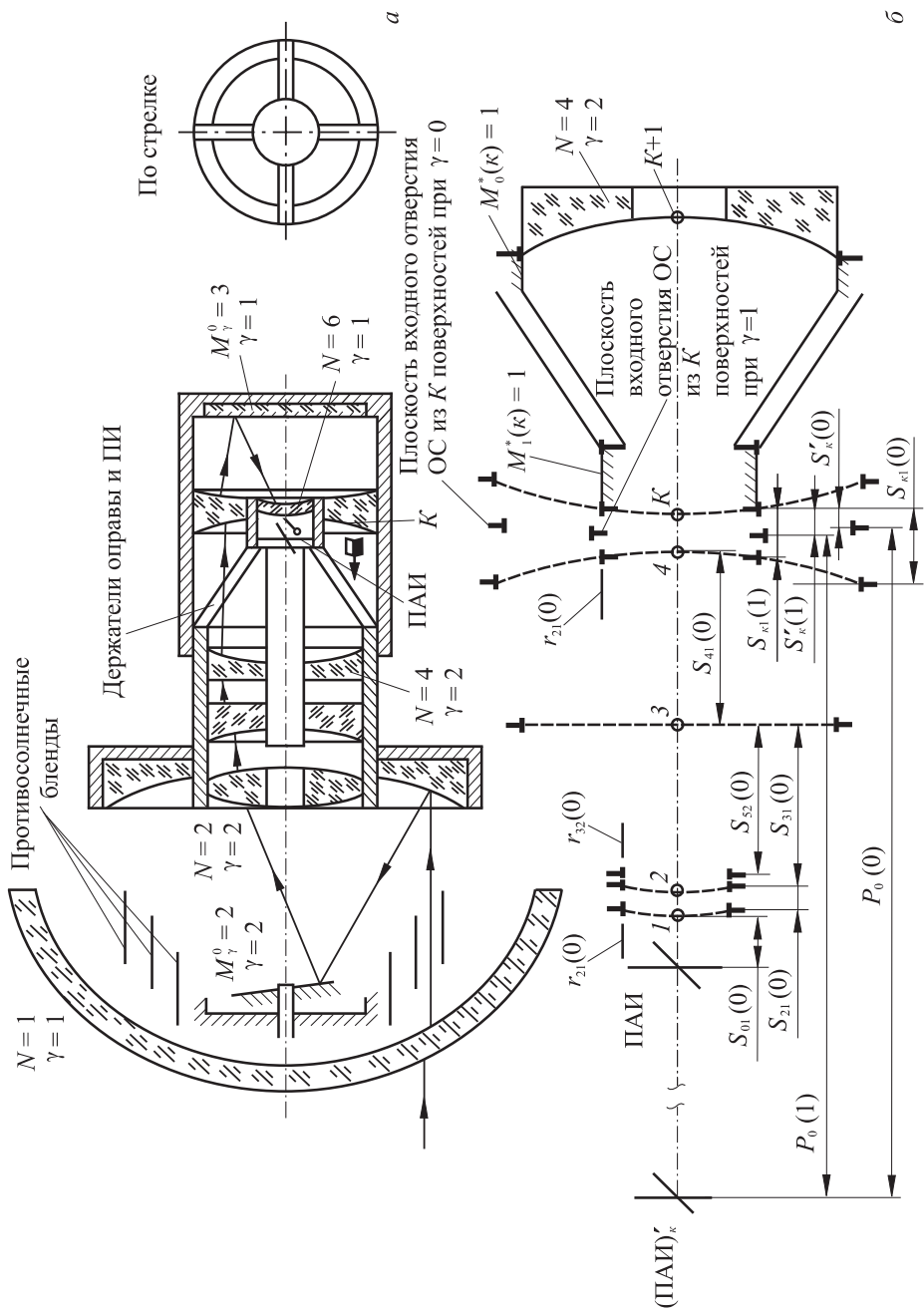


Рис. 1. К выбранному методу расчета фоновой засетки в ПИАИ ОЗУ от элементов его конструкции

которого перпендикулярна оптической оси; $\xi = 3$ и 4 — внутренняя и внешняя стороны прямого кругового цилиндра; $\xi = 5$ и 6 — внутренняя и внешняя стороны прямого кругового конуса; $\xi = 7$ — m -й многоугольник; $\xi = 8$ — часть сферы с центром на оптической оси; $\xi = 9$ и 10 — сектор и сегмент, перпендикулярные оптической оси; $\xi = 11$ — коническая (или овальная) оправа обтекателя оптического пеленгатора.

Конфигурация линзовых компонентов ОС в меридиональном сечении как полупрозрачных элементов внутренней полости прибора определяется их радиусами и толщиной. Информация о них для каждого конкретного прибора заложена в системе, описывающей его ОС через параметры r , d , n , как это принято в расчетах геометрической оптики (табл. Т2А, рис. 2, а).

При вычислении внутриприборной фоновой засветки в автоматическом режиме на ЭВМ целесообразно представлять конфигурацию линзовых компонентов ОС ОЭП цифровыми значениями индекса ξ_ϕ :

$\xi_\phi = 1$ — пластина, перпендикулярная оптической оси ОЭП; $\xi_\phi = 2$ и 3 — плосковыпуклая и плосковогнутая линзы; $\xi_\phi = 4$ и 5 — выпукло-плоская и вогнутоплоская линзы; $\xi_\phi = 6$ — двояковыпуклая линза; $\xi_\phi = 7$ и 8 — выпукловогнутая и вогнутовыпуклая линзы; $\xi_\phi = 9$ — двояковогнутая линза; $\xi_\phi = 10$ — пластина, наклоненная к оптической оси ОЭП, и т.д.

Как отмечалось, ближайшая по ходу излучения к ПАИ граница секции определяется индексом K_n . От этой оптической вершины в соответствии с правилами, принятыми в расчетах геометрической оптики, осуществляется координация источников типа $M_\gamma(K)$ или M_γ по границам, определяющим их конфигурацию.

Вдоль оптической оси источники формы при $\xi = 1, 2, 9, 10$ координируются отрезком $a_{\xi 1}$, торцы цилиндров и усеченных конусов при $\xi = 3, 4, 5, 11$ — отрезками $a_{\xi 2}$ и $a_{\xi 1}$, а в случае m -угольника — отрезками x_1, x_2, \dots, x_m для каждой его вершины ($\xi = 7$). При этом нумерация торцов источников формы $\xi = 3, 4, 5, 6, 11$ должна возрастать (от 1 до 2) в направлении хода излучения к плоскости анализа прибора, а нумерация вершин m -угольника — по часовой стрелке при наблюдении его со стороны ПАИ. Координация источников излучения в направлении, перпендикулярном оптической оси, осуществляется отрезками: $r_{\xi 1}$ — для $\xi = 1, 3, 4, 9$, $r_{\xi 2}$ — для $\xi = 2, 5, 6, 11$ и y_1, y_2, \dots, y_m ; z_1, \dots, z_m — в случае m -угольника.

При форме источника, соответствующей $\xi = 9$ и 10 , в дополнение к перечисленным вводятся координаты $\varphi_{\xi 1}$ и $\varphi_{\xi 2}$ (отсчитываются в системе XOY , начало которой расположено на оптической оси).

T1A *N*

| | | | | | |
|------------|-------|---------|-------|-------|-------|
| m_i | K_n | ζ | v_2 | Q_1 | v_5 |
| 1 | | | | | |
| ⋮ | | | | | |
| N_{\max} | | | | | |

T1B M_7^0

| | | | | | |
|--------------|-------|---------|-------|-------|-------|
| m_i | K_n | ζ | v_3 | Q_1 | v_5 |
| 1 | | | | | |
| ⋮ | | | | | |
| M_{\max}^0 | | | | | |

T1W M_7

| | | | | | | | | | |
|--------------|------------|---------------|---------|------------|-------|--------|-------|-----|-------|
| m_i | Δ_n | Δ_{n1} | ζ | γ_n | v_3 | ψ | Q_1 | m | v_5 |
| 1 | | | | | | | | | |
| ⋮ | | | | | | | | | |
| M_{\max}^* | | | | | | | | | |

T1W1 M_7

| | | | | | | | | | | |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|
| m_i | $r_{\zeta 1}^*$ | $r_{\zeta 2}^*$ | $a_{\zeta 1}^*$ | $a_{\zeta 2}^*$ | y_1 | ... | y_m | z_1 | ... | z_m |
| 1 | x_1 | x_2 | ... | x_m | | | | | | |
| ⋮ | | | | | | | | | | |
| M_{\max}^0 | | | | | | | | | | |

T1G $M_7(\kappa), \gamma_n=3$

| | | | | | | | | | |
|------------------------|-------|------------|---------------|---------|-------|--------|-------|-----|-------|
| m_i | K_n | Δ_n | Δ_{n1} | ζ | v_3 | ψ | Q_1 | m | v_5 |
| 1 | | | | | | | | | |
| ⋮ | | | | | | | | | |
| $M_{\max}^{*(\kappa)}$ | | | | | | | | | |

T1G1 $M_7(\kappa), \gamma_n=3$

| | | | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|
| m_i | $r_{\zeta 1}^*$ | $r_{\zeta 2}^*$ | $a_{\zeta 1}^*$ | $a_{\zeta 2}^*$ | y_1 | ... | y_m | z_1 | ... | z_m |
| 1 | x_1 | x_2 | ... | x_m | | | | | | |
| ⋮ | | | | | | | | | | |
| $M_{\max}^{*(\kappa)}$ | | | | | | | | | | |

T1D $M_7(\kappa)$

| | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|------------|---------|------------|-------|--------|-------|-----|-------|
| m_i | K_n | Δ_n | ζ | γ_n | v_3 | ψ | Q_1 | m | v_5 |
| 1 | | | | | | | | | |
| ⋮ | | | | | | | | | |
| $M_{\max}^{(\kappa)}$ | | | | | | | | | |

T1D1 $M_7(\kappa)$

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|
| m_i | $r_{\zeta 1}^*$ | $r_{\zeta 2}^*$ | $a_{\zeta 1}^*$ | $a_{\zeta 2}^*$ | y_1 | ... | y_m | z_1 | ... | z_m |
| 1 | x_1 | x_2 | ... | x_m | | | | | | |
| ⋮ | | | | | | | | | | |
| $M_{\max}^{(\kappa)}$ | | | | | | | | | | |

T2A

| | | | | | | | |
|--------------|------------|------------|------------|----------------------|----------------------|-----|-------|
| K | r_κ | d_κ | n_κ | $\Delta_\kappa^*(1)$ | $\Delta_\kappa^*(2)$ | v | v_4 |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| ⋮ | | | | | | | |
| K_{\max} | | | | | | | |
| $K_{\max}+1$ | | | | | | | |

T2B

| | | | | | | |
|-----------------------------|------------|-----|-------------|------------|-----|-------------|
| | $\gamma=1$ | | | $\gamma=2$ | | |
| Δ | 1 | ... | $\Delta(1)$ | 1 | ... | $\Delta(2)$ |
| $S_{\kappa,\Delta}(\gamma)$ | | | | | | |
| $S_{\kappa,\Delta}(\gamma)$ | | | | | | |

T3

| | | | |
|--------------------|---|---|-----|
| $\rho_\kappa(M^0)$ | | | |
| v_1 | 1 | 2 | ... |

T4 $\rho_{\lambda,\kappa}(M^0)$

| | | | | |
|------------------|-------|---|---|-----|
| λ | v_1 | 1 | 2 | ... |
| 1,0 | | | | |
| 1,1 | | | | |
| ⋮ | | | | |
| λ_{\max} | | | | |

T5 $n_{\lambda,\kappa}$

| | | | | |
|------------------|-----|---|---|-----|
| λ | v | 1 | 2 | ... |
| 1,0 | | | | |
| 1,1 | | | | |
| ⋮ | | | | |
| λ_{\max} | | | | |

T6 k_λ

| | | | | |
|------------------|-------|---|---|-----|
| λ | v_2 | 1 | 2 | ... |
| 1,0 | | | | |
| 1,1 | | | | |
| ⋮ | | | | |
| λ_{\max} | | | | |

T61

| | | | | |
|-------------|-----|-----|-----|------------------|
| λ | 1,0 | 1,1 | ... | λ_{\max} |
| S_λ | | | | |

T62 τ_{φ_λ}

| | | | | |
|------------------|-------|---|---|-----|
| λ | v_4 | 1 | 2 | ... |
| 1,0 | | | | |
| 1,1 | | | | |
| ⋮ | | | | |
| λ_{\max} | | | | |

T7

| | | | |
|------------|-----|-------|------------|
| Q | i | m_i | γ_n |
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| ⋮ | | | |
| Q_{\max} | | | |

T8

| | | | | |
|-----------|-------|---|---|-----|
| i (рад) | v_3 | 1 | 2 | ... |
| 0 | | | | |
| ⋮ | | | | |
| ⋮ | | | | |
| $\pi/2$ | | | | |

T9 ε

| | | | |
|---------------|---|---|-----|
| v_3 | 1 | 2 | ... |
| ε | | | |

a

Рис. 2, *a* (начало). Описание внутренней полости ОЭУ как сложного пространственного источника

T10

| | | | | | | |
|------------|-------|---------------|---------------|-----------|---------|-----------|
| x | K_x | Δ_{x1} | Δ_{x2} | ζ_3 | x_ξ | ζ_2 |
| 0 | | | | | | |
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| \vdots | | | | | | |
| x_{\max} | | | | | | |

T11

| | | | | | | |
|-------------------|--------------|-----|----------------------|--------------|-----|----------------------|
| | $\gamma = 1$ | | | $\gamma = 2$ | | |
| $\zeta_2(0)$ | 1 | ... | $\zeta_{2\max}(0,1)$ | 1 | ... | $\zeta_{2\max}(0,2)$ |
| $S_{\kappa,x}(1)$ | | | | | | |
| z_1 | | | | | | |
| z_2 | | | | | | |
| z_3 | | | | | | |
| z_4 | | | | | | |
| y_1 | | | | | | |
| y_2 | | | | | | |
| y_3 | | | | | | |
| y_4 | | | | | | |

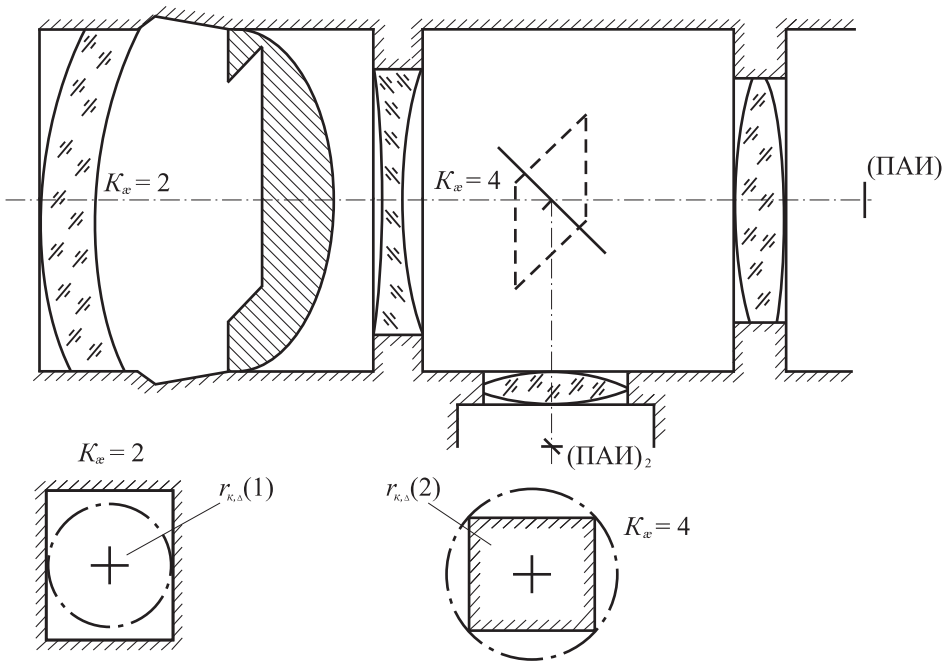
T12

| | | | | | | |
|---------------|---|-----|--------------------|---|-----|--------------------|
| $\zeta_2(1)$ | 1 | | | 2 | | |
| $\zeta_3(1)$ | 1 | ... | $\zeta_{3\max}(1)$ | 1 | ... | $\zeta_{3\max}(1)$ |
| i_x | | | | | | |
| m_{ix} | | | | | | |
| γ_{ix} | | | | | | |

T13

| | | | |
|--------------------|---|---|-----|
| $\zeta_2(1)$ | 1 | 2 | ... |
| $\zeta_{2\max}(1)$ | | | |
| | | | |

б



в

Рис. 2, б, в (окончание)

Изложенное выше служит описанием внутренней полости конструкции прибора с точки зрения пространственной ориентации элементов вдоль оптической оси, их классификацией как источников и системой координирования. Эта информация об излучающих элементах в каждой секции внутренней полости конструкции ОЭУ заносится в таблицы $T1A-T1D$ и $T1W1-T1D1$ соответственно по признакам типа источника N , M_γ^0 , $M_\gamma(K)$ (см. рис. 2, *a*).

В отдельную таблицу $T1G$ сведена информация об источниках типа $M_\xi(K)$ при $\xi = 3$. Это обусловлено необходимостью ее использования при определении степени различного вида экранирования излучения m -го источника при его прохождении к ПАИ прибора.

В общем случае излучение m_i -го элемента секции может претерпевать различного вида экранирование на непрозрачных конструктивных элементах следующей за ним в направлении к ПАИ части прибора. Классифицируем эти экранирования, учитывая действительные явления, происходящие с излучением m_i -го источника в приборе, следующим образом:

$K(1)$ — экранирование на входном отверстии части прибора, расположенной за источниками, при частичном или полном его заполнении их излучением (подобно диафрагмированию);

$K(2)$ — экранирование на диафрагмах части прибора, расположенной за источниками, приводящее к изменению конфигурации действующего входного отверстия при расчете облученности во внеосевых точках ПАИ (подобно виньетированию);

$K(3)$ — экранирование на конструктивных элементах типа M_ξ , $M_\xi(K)$ при $\xi = 3$, расположенных либо непосредственно за источниками, либо отделенных от них рядом оптических поверхностей (т.е. на сложных пространственных экранах).

Под входным отверстием понимается диафрагма в части прибора (при наличии в ней оптики — изображение диафрагмы), расположенной за m_i -м источником (элементом конструкции), которая при заданной точке в ПАИ ограничивает его излучение.

При сложной компоновке конструкции прибора излучение некоторых ее элементов может претерпевать экранирование последнего вида различной кратности. Кратность в данном случае определяет сколько раз пространственно экранируется излучение на конструктивных элементах типа M_γ , $M_\gamma(K)$ при $\gamma = 3$ на пути его прохождения к ПАИ.

В случае необходимости определения степени экранирования излучения m_i -го элемента внутренней полости ОЭУ при его прохождении к ПАИ, возникает потребность в системе ее описания (полости) для решения задачи расчета положения (относительно вершины K_i)

и конфигурации входного отверстия части прибора, расположенной за вышеназванным источником.

При этом удобно воспользоваться методами и принципами, практикуемыми в теории зрачков и люков ОС и фотометрии. Из них, в первую очередь, используют метод распознавания диафрагм и принцип расчета степени экранирования излучения в ОС через коэффициент виньетирования по площади [1, 2].

Согласно изложенному плоские диафрагмы, определяющие конфигурацию внутренней полости прибора (в его продольном сечении, проходящем через оптическую ось), координируются вдоль оптической оси от вершин оптических поверхностей K в прямом ходе лучей отрезками $S_{k\Delta}(\gamma)$ и $r_{k\Delta}(\gamma)$ или $S_{k,\varepsilon}(\gamma)$ и $y_{1,\varepsilon}, \dots, y_{4,\varepsilon}; z_{1,\varepsilon}, \dots, z_{4,\varepsilon}$ соответственно в случае их круглой и прямоугольной форм (табл. $T2B$ и $T11$, см. рис. 2, а, б). Эти диафрагмы нумеруются в обратном ходе лучей от ПАИ прибора к головному элементу его конструкции цифровым значением индексов Δ и ε (табл. $T2B$ и $T10$, см. рис. 2, а, б).

Для определения связи между поверхностью и номером диафрагмы по индексу Δ , расположенной перед ней, вводится признак $\Delta_k^*(\gamma)$ (табл. $T2A$, см. рис. 2, а). Он соответствует количеству диафрагм в пределах секции конструкции внутренней полости прибора, включая диафрагму, касающуюся поверхности K_n . В случае наличия перед K_n -й поверхности нескольких источников m_i типа M_γ или $M_\gamma(K)$, при нахождении входного отверстия каждый из них в табл. $T1A \dots T1D$ разрабатываемой системы описания внутренней полости ОЭУ определяется индексами Δ_n для $\gamma = 1$ и Δ_{n1} в случае $\gamma = 2$. Их числовое значение соответствует номеру диафрагмы Δ , за которой в обратном ходе лучей располагается рассчитываемый источник (табл. $T1A \dots T1D$, см. рис. 2, а).

Пространственная сложность некруглых экранов определяется по цифровому значению индекса ξ_3 : 0 — плоский прямоугольный экран (диафрагма), перпендикулярный оптической оси; 1 — экран в виде комбинации нескольких поверхностей различной формы и ориентации относительно оптической оси (противосолнечные бленды, держатели оправ линз и т.д.).

Конструктивному элементу типа $\xi_3 = 1$ соответствует имя $\xi_2(1)$, под которым понимается комбинация поверхностей их составляющих и экранирующих в направлении в ПАИ излучение от рассчитываемого источника (табл. $T12$, см. рис. 2, б). Каждая из этих поверхностей определяется индексами $M_\gamma(K)$ (или M_γ), m_i , γ_n , по которым в соответствующих таблицах $T1W1 \dots T1D1$ (см. рис. 2, а) находятся геометрические параметры α_ξ , r_ξ , x_1, \dots, x_m и т.д.

Информация о количестве поверхностей сложных экранов $\xi_2(1)$ в конструкции исследуемого по фоновой облученности прибора дается в табл. 2 (см. рис. 2, б). Наличие в перечисленных параметрах индекса γ указывает на необходимость в общем случае определения положения входного отверстия по внешнему и внутреннему диаметрам ОС прибора. В связи с этим при проведении расчетов в автономном режиме ОС необходимо характеризовать индексами θ_1, K_1^* . Их цифровое значение соответствует признаку наличия ($q_1 = 1$) или отсутствия ($q_1 = 0$) в ОС внутреннего отверстия, а также при $q_1 = 1$ — номеру оптической поверхности K_1^* , за которой (в направлении хода излучения к ПАИ) нет оптических элементов с внутренними отверстиями.

Как отмечалось ранее, количественно коэффициенты $K(1), K(2), K(3)$ удобно определять, используя практикуемый в фотометрии метод виньетирования по площади. В этом случае появляется возможность вычислить положение и размеры входного отверстия части прибора, расположенной за m_i -м источником, считая все плоские диафрагмы в конструкции ОЭП круглыми. Некруглые плоскости, которые рассматриваются как диафрагмы, вызывающие экранирование третьего вида, аппроксимируются прямоугольными плоскостями, описывающими их. Система индексации их координирования изложена ранее.

При расчете положения и размеров входного отверстия, те, в свою очередь, вторично аппроксимируются круглыми плоскостями, вписываемыми при $\gamma = 1$ и описываемыми при $\gamma = 2$ (см. рис. 2, в). Информация об этой аппроксимации заносится в табл. T2B (см. рис. 2, а) через координаты $r_k, \Delta(\gamma)$.

Для вычисления в автоматическом режиме коэффициентов экранирования излучения выбранного в конструкции источника на пространственно сложных диафрагмах типа ξ_3 в расположенной за ними части прибора необходимо разработать индексацию, определяющую их (ξ_3) местоположение вдоль оптической оси.

На рис. 2, б приведена табл. T10, в которой представлена индексация, позволяющая решить поставленную задачу. В ней цифровое значение индекса соответствует номеру местоположения в конструкции прибора сложных экранов типа ξ_3 или кратности экранирования излучения его элементов в направлении от ПАИ к головному элементу ОС ОЭУ.

Оптическая поверхность, за которой располагается ε -е место сложного экранирования по прямому ходу лучей, в дальнейшем определяется индексом K_{ε} . Если в конструкции прибора сложное экранирование отсутствует, то $K_{\varepsilon} = 0$ при $\varepsilon = 0$. При определении прозрачности экранов типа $\xi_3 = 0$ в направлении, перпендикулярном оптической оси, вводятся индексы $\Delta_{\varepsilon 1}$ и $\Delta_{\varepsilon 2}$: при $\Delta_{\varepsilon 1}$ — диафрагма непрозрачна

в направлении от наружного диаметра элементов ОС прибора. Цифровое значение $\Delta_{\text{æ}1}$ равно номеру ее аппроксимации в табл. *T2B* (см. рис. 2, *a*) по индексу Δ при $\gamma = 1$; $\Delta_{\text{æ}2}$ — диафрагма непрозрачна в направлении от оптической оси к внутреннему диаметру элементов ОС. Цифровое значение $\Delta_{\text{æ}2}$ равно номеру ее аппроксимации в табл. *T2B* по индексу Δ при $\gamma = 2$.

Для каждого æ-го места экранирования в конструкции прибора в соответствующих позициях табл. *T10* (см. рис. 2, *б*) при $\xi_3 = 0$ проставляется либо номер $\Delta_{\text{æ}1}$, а $\Delta_{\text{æ}2}$ обнуляется, либо, наоборот, в зависимости от цифрового значения индекса γ .

В дополнение к приведенным индексам, определяющим тип экрана $\xi_3 = 0$ или 1 и их местоположение вдоль оптической оси прибора, необходимо изыскать систему их описания, дающую информацию об их конфигурации, пространственной ориентации и геометрических размерах. Для этого в табл. *T10* (рис. 2, *б*) вводится признак, цифровое значение которого определяет имя (код) пространственного экрана как элемента конструкции прибора:

$\xi_2(0, 1)$ — плоский некруглый экран ($\xi_3 = 0$) при $\gamma = 1$;

$\xi_2(0, 2)$ — плоский некруглый экран ($\xi_3 = 0$) при $\gamma = 2$;

$\xi_2(1)$ — экран типа $\xi_3 = 1$, код имени которого как конструктивного элемента представляется в табл. *T12* (см. рис. 2, *б*).

В табл. *T11* (см. рис. 2, *б*) под именем $\xi_2(0, \gamma)$ записываются координаты плоских некруглых диафрагм (аппроксимированных, как отмечалось выше, прямоугольными) относительно оптических вершин $K_{\text{æ}} - S_{K, \text{æ}}(\gamma)$ и $y_1, \dots, y_4; z_1, \dots, z_4$.

Пространственные конструктивные элементы определяются именем $\xi_2(1)$, под которым понимается комбинация их поверхностей простой геометрической формы, экранирующих в направлении к ПАИ излучение проходящих энергетических потоков от рассматриваемого источника. Каждая из этих поверхностей описывается индексами $i_{\text{æ}}, m_{i, \text{æ}}, \gamma_{u, \text{æ}}$ (табл. *T12*, см. рис. 2, *б*), по которым в соответствующих таблицах находятся геометрические параметры $a_{\xi}, r_{\xi}, \text{æ}_1, \dots, \text{æ}_m$ и т.д.

При сложной конструктивной компоновке в ОЭУ может быть несколько экранов типа $\xi_3 = 1$. Поэтому излучение некоторых из источников внутренней полости прибора претерпевает экранирование на ее конструктивных элементах, разделенных между собой рядом оптических элементов. При этом коэффициент $K(3)$, при использовании некоторых методов расчета внутриприборной засветки в ПАИ ОЭУ, определяют либо по результирующей конфигурации проекций всех названных экранов или их изображений в плоскости входного отверстия части прибора, расположенной за m_i -м источником, либо вычисляют этот коэффициент для каждого экрана и выбирают наи-

большой. Такое решение поставленной задачи даже с использованием ЭВМ весьма трудоемко. Поэтому при наличии в конструкции нескольких экранов типа $\xi_3 = 1$ вводится признак α_ξ их приоритетности в экранировании излучения рассчитываемого m_i -го источника в последовательности изменения α от 1 до α_{\max} (табл. T10, см. рис. 2, б). Приоритетным из вышеназванных экранов, следующих за оптической поверхностью K_3 , в прямом ходе лучей будет тот, для которого коэффициент $K(3)$ при заданном источнике и размерах ПАИ имеет наибольшее значение. Цифровое значение α_ξ соответствует имени экрана в табл. T12 (см. рис. 2, б). При расчете фоновых засветок на схемотехническом уровне проектирования ОЭУ вопрос о приоритетности экранов должен решаться разработчиками оптической системы. При вычислении степени экранирования третьего вида излучения m_i -го элемента конструкции ОЭУ в режиме автоматического расчета ее необходимо характеризовать индексами $q_{\alpha\epsilon}$ и $\xi_{3\alpha\epsilon}$. Цифровое значение индексов соответствует признаку наличия ($q_{\alpha\epsilon} = 1$; $\xi_{3\alpha\epsilon} = 1$) или отсутствия ($q_{\alpha\epsilon} = 0$; $\xi_{3\alpha\epsilon} = 0$) в конструкции прибора соответственно сложного пространственного экранирования или экранов типа $\xi_3 = 0$.

Последним этапом разработки системы описания внутренней полости прибора является определение параметров и индексов, характеризующих оптические и излучательные свойства его элементов при вычислении от них облученности. Источники типа N , как это принято в оптических расчетах, будут определяться показателями преломления n и n_λ по признаку ν (если $\nu = 0$, то n , иначе n_λ , см. соответственно табл. T2A и T5 на рис. 2, а) и показателем поглощения материала оптического компонента k_λ по числовому значению признака ν_2 (например, $\nu_2 = 1 - \text{LiF}$; $\nu_2 = 2 - \text{кварц}$ и т.д., см. табл. T6 на рис. 2, а).

Зеркальные компоненты при расчете будут характеризоваться коэффициентом отражения $\rho_K(M^0)$ или $\rho_{K\lambda}(M^0)$ по признаку ν_1 (если $\nu_1 = 0$, то $\rho_K(M^0)$, (иначе $\rho_{K\lambda}(M^0)$, см. табл. T3 и T4 на рис. 2, а). Для непрозрачных источников вводятся признаки ψ и ν_3 , цифровые значения которых определяют соответственно их диффузность ($\psi = 1$) или недиффузность ($\psi = 2$) и материал, например $\nu_3 = 1 - \text{медь}$; $\nu_3 = 2 - \text{сталь}$ и т.д. При этом для каждого материала при расчете должен быть задан направленный коэффициент излучения ϵ . В случае $\psi = 2$ этот коэффициент задается как функция $\epsilon = f(i_0)$, где i_0 — угол между нормалью к поверхности источника и заданным направлением излучения от него (табл. T8 и T9, см. рис. 2, а).

Кроме того, в табл. T1A, T1B, T1W, T1G, T1D (см. рис. 2, а) введен индекс ν_5 , определяющий характер нагрева источников излучения. Если $\nu_5 \neq 0$, то его цифровое значение соответствует температуре равномерно нагретого элемента конструкции m_i ОЭУ. В противном

случае источник является неравномерно нагретым. Координация температурных полей (рассчитанных или экспериментально измеренных) полупрозрачных и непрозрачных источников может осуществляться по любой из систем, предлагаемых в работах [3, 4]. В табл. $T61$ и $T62$ (см. рис. 2, a) приведены соответственно спектральная чувствительность S_λ приемника излучения прибора и характеристики фильтров, различаемые по цифровому значению признака ν_4 (табл. $T2A$, см. рис. 2, a).

По разработанной системе описания сложного пространственного источника можно строить алгоритм вычисления фоновых засветок от всей внутренней полости прибора любой конфигурации, а также отдельных ее элементов или их комбинаций. В последнем случае при вычислении в автоматическом режиме необходимо внести информацию в табл. $T7$ (см. рис. 2, a), определяющую по значениям i , m_i , γ_{ii} элементы конструкции, по которым рассчитывают в ПАИ ОЭУ фоновую облученность.

При определении фоновой засветки в ПАИ прибора от излучения элементов конструкции его внутренней полости используется обобщенное выражение фотометрии, записываемое в следующем виде [1]:

$$E_A(\Sigma) = \iint_{\Omega_2} L_{e\Sigma}(i_2; i_1) \cos i_2 d\Omega, \quad (1)$$

где $E_A(\Sigma)$ — суммарная облученность в точке A ПАИ элементов конструкции; $L_{e\Sigma}(i_2, i_1)$ — суммарная яркость пучка лучей в пределах телесного угла Ω_2 по заданному направлению; i_2 — угол между нормалью к ПАИ и заданным направлением на источник излучения; i_1 — угол между нормалью к элементу поверхности источника излучения в пределах Ω_2 и заданным на него направлением от облучаемого элемента в ПАИ.

Преобразуем соотношение (1), воспользовавшись выражением телесного угла в полярных координатах:

$$d\Omega = \sin i_x di_x d\varphi_y. \quad (2)$$

При этом начало координат помещаем в точку A плоскости анализа, ориентируя ось OZ по оптической оси прибора (рис. 3, a). Кроме того, найдем взаимосвязь между i_x и φ_y , решая сферический треугольник ABC на рис. 3, b , как

$$\cos i_y = \cos \varphi_y \sin i_2. \quad (3)$$

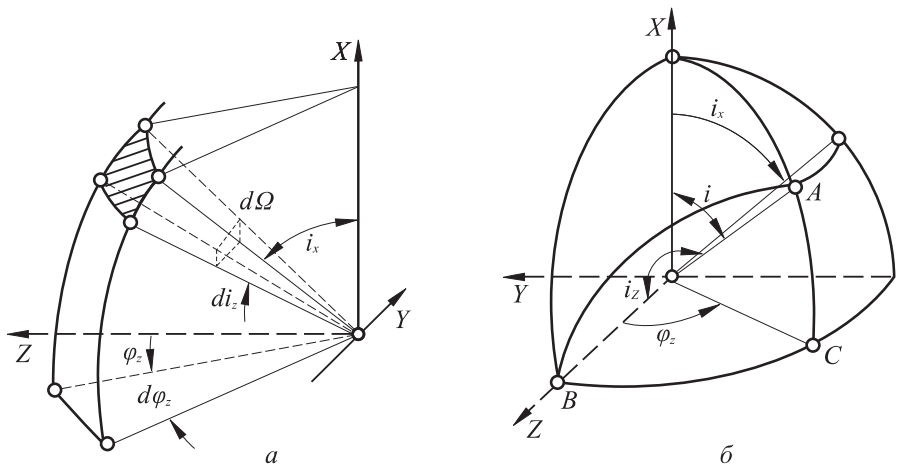


Рис. 3. К определению исходной зависимости для расчета внутриприборной фоновой засветки от элементов конструкции

Подставляя выражения (2) и (3) в соотношение (1) и учитывая, что $i_x = i_2$, получим

$$E_A(\Sigma) = \int \int_{i_x \varphi_y} L_{\Sigma}(i_2; i_1) \cos i_x \sin i_x dx d\varphi_y. \quad (4)$$

Для решения поставленной задачи с использованием стандартных программ решения многократных интегралов наиболее удобной является следующая форма записи соотношения (4):

$$E_A(\Sigma) = \sum_{i=1} \iint_S L_{ei}(i_2; i_1) r \cos i_1 \cos i_2 / L^2 dr d\varphi, \quad (5)$$

где $S = r dr d\varphi$ – площадь излучающей поверхности m_i -го элемента конструкции ОЭУ; r ; φ – полярные координаты некоторой точки излучающей поверхности S ; $L_e(i_2; i_1)$ – яркость площадки S по заданному направлению; L – расстояние между точками соответственно излучающей площадки S и облучаемого элемента площади в ПАИ.

Фоновая засветка в ПАИ прибора в общем случае определяется излучением линзовых компонентов ОС и непрозрачных элементов конструкции его внутренней полости.

Яркость излучения равномерно нагретой изотропной среды в заданном направлении (из-за повышенных требований к материалам оптических деталей источники типа N можно считать такой средой) может быть рассчитана по зависимости [5]

$$L_{e,i_x}(i_1, N) = \frac{1}{\pi} \int \{1 - \rho_K(i_K)\} (n_{N,\lambda})^2 \tau_{\lambda,i_x}(m - m_0) M_{e\lambda}[T_{i_x}(l_N)] \times$$

$$\times [1 - \exp(-k_\lambda(N)l_N)] \left\{ \exp \left[- \sum_{m_0-1}^N k_\lambda(m_0 - 1)l_{i_x}(m_0 - 1) \right] \right\} d\lambda, \quad (6)$$

где $\rho_K(i_x, \lambda)$ — спектральный коэффициент отражения на K -й поверхности N -го элемента ОС; $n_{\lambda,N}$ — показатель преломления материала N -го элемента ОС; m — количество компонентов N и M_γ^0 в ОС прибора; m_0 — номер компонента ОС, расположенного перед анализируемым источником в обратном ходе лучей; $k_\lambda(m_0 - 1)$ и $l_{i_x}(m_0 - 1)$ — соответственно спектральные коэффициенты поглощения материалов линзовых компонентов ОС, расположенных за m_0 -м компонентом, и длина хода излучения в них по направлению i_x ; $\tau_{\lambda,i_x}(m - m_0)$ — приведенный коэффициент пропускания части прибора, расположенной за m_0 -м ее компонентом, учитывающий спектральную чувствительность приемника излучения ОЭУ; $M_{e\lambda}[T_{i_x}(l_N)]$ — спектральная интенсивность излучения АЧТ при температуре $T_{i_x}(l_N)$.

В случае неравномерного нагрева N -го источника величина $L_{e,i_x}(i_1, N)$ может быть вычислена из соотношения [5]:

$$L_{e,i_x}(i_1, N) = \frac{1}{\pi} \sum_{j_1} \int \{1 - \rho_K(i_K)\} \{n_{N\lambda}^2 \tau_i(m - m_0) M_{e,\lambda}[T_{i_x} N_j]\} \times \\ \times \{1 - \exp[-k_\lambda(m+1)l_{N,j_1}]\} \left\{ \exp \left[- \sum_{m_0+1}^{N_{\max}} k_\lambda(m_0 + 1)l_{i_x}(m_0 + 1) \right] \right\} d\lambda, \quad (7)$$

где l_{N,j_1} — длина хода излучения в j_1 -м слое рассчитываемого N -го элемента ОС в заданном направлении, для которого температура $T_{i_x}(N_{j_1})$ постоянна.

Яркость излучения в заданном направлении непрозрачных элементов конструкции типа $M_\gamma(K)$; M_γ определяется из соотношения [1]

$$L_{i_x}(M) = \frac{1}{\pi} \int \tau_{\lambda,i_x}(m - m_0) \varepsilon_\lambda(i_1; M) M_{e\lambda}[T_{i_x}(M)] \times \\ \times \left\{ \exp \left[- \sum_{m_0-1}^n k_\lambda(m_0 + 1)l_{i_x}(m + 1) \right] \right\} d\lambda, \quad (8)$$

где $M_{e,\lambda}[T_{i_x}(M)]$ — спектральная интенсивность излучения АЧТ при температуре $T_{i_x}(M)$; $\varepsilon_\lambda(i_1; M)$ — направленный спектральный коэффициент излучения.

Следующим этапом решения поставленной задачи является выбор метода расчета суммарной фоновой облученности в ПАИ ОЭУ.

При этом необходимо произвести их сравнительную оценку по универсальности, точности и трудоемкости вычислительных работ при практической реализации.

В случае расчета фоновой засветки в ПАИ ОЭУ произвольной конструктивной компоновки, наиболее рациональным из предлагаемых в работе [6] методов является определение теплообмена между действующим входным отверстием (фиктивной излучающей поверхностью) части прибора, расположенной за m_i -м источником, и изображении ПАИ через ее ОС в обратном ходе лучей (см. рис. 1).

Под входным отверстием понимается диафрагма в вышеуказанной части прибора (при наличии в ней оптики — изображение диафрагмы), которая при заданной точке в ПАИ ОЭУ для анализируемого m_i -го источника наиболее ограничивает его излучение. Воспользовавшись соотношением (5), суммарную облученность в ПАИ ОЭУ для выбранного метода решения поставленной задачи вычисляем следующим образом:

$$E_A(\Sigma) = \beta_{\Sigma}^2(k) \left\{ \sum_l^{m_1 k} E_{A'}(N) + \sum_l^{mk} E_{A'}(M_{\gamma}^0) + \sum_l^m E_{A'}(M_{\gamma}(k)) \right\}_{\Omega_k} + \sum_l^M E_{A'}(M_{\gamma}), \quad (9)$$

где Ω_k — телесный угол, определяемый конфигурацией проекции излучающей зоны источника формы ξ из точки A' с учетом его экранирования на плоскость входного отверстия части прибора за K -й оптической поверхностью; $\beta_{\Sigma}(K)$ — линейное увеличение ОС части прибора за K -й оптической поверхностью; m_{1k} и m_k — соответственно линзовый и зеркальный компоненты ОС в секции конструкции прибора, расположенной перед K -й оптической поверхностью.

Первый член приведенной зависимости (с индексом Ω_k) определяет облученность в ПАИ от оптических компонентов, находящихся в секции конструкции ОЭУ перед K -й поверхностью, при $E_{A'}(N) \neq 0$ составляющая $E'_{A'}(M_{\gamma}^0) = 0$ и наоборот, если $E_{A'}(N) = 0$, засветка $E_{A'}(M_{\gamma}^0) \neq 0$.

Для расчета положения входного отверстия относительно K -й поверхности, определяемой выбранным m_i -м источником (табл. T1A... T1D1, см. рис. 2, а), необходимо найти изображение ПАИ ОЭУ в пространстве предметов при известном заднем вершинном отрезке S_0 (табл. T2A, см. рис. 2, а). При вычислении размера входного отверстия находят изображения диафрагм, расположенных за K -й поверхностью в пространстве предметов, и из центральной точки ПАИ

определяют наименьшее из них (изображений) по диаметру [7]. Алгоритмы вычислений изложенных задач, а также расчета линейного увеличения $\beta(k)$ за K -й поверхностью ОС строятся с использованием следующих соотношений геометрической оптики [7]:

$$\begin{aligned} S'_k &= n_{k+1}[(n_{k-1} - n_k)/r_k + n_k/s_k]^{-1}; \\ S_{k+1} &= -d_k + S'_k; \\ \beta_k &= n_k S'_k / n_{k+1} - s_k; \\ \beta_\Sigma &= \sum_{k=k_{\max}}^{k_{\text{и}}} \beta_k; \\ D_\Sigma(k) &= r_{k,\Delta}(\gamma) \beta_\Sigma. \end{aligned} \quad (10)$$

Соотношения (10) в вышеназванных алгоритмах используются в цикле вычислений по индексу K (от K_{\max} до $K_{\text{и}}$) с выборкой значений n_k, s_k, R_k из табл. $T2A$ (см. рис. 2, a) (на первом такте цикла $s_k = s_0$) и результатам вычислений $S'_{k\text{и}}$; $\beta_\Sigma(k)$; $D_\Sigma(k)$. При вычислении диаметра входного отверстия $D_\Sigma(k)$ по значению $K_{\text{и}}$ для анализируемого источника (табл. $T1A \dots T1G$, см. рис. 2, a) из табл. $T2A$ находят величины $\Delta^*K(\gamma)$, по которым из табл. $T2B$ при $\Delta^*K(\gamma) = \Delta$ определяются $S_{K,\Delta}(\gamma)$ и $r_{K,\Delta}(\gamma)$. Выходом из цикла расчетов по формулам (10) при этом являются расстояния от $K_{\text{и}}$ -й поверхности до (ПАИ) $S'_{K,\Delta}(\gamma)$ и $D_{\text{вх.зр}}$.

В зависимостях (6) и (8) имеет смысл для сокращения трудоемкости расчетов принять

$$\tau_\Sigma(\lambda) = \tau_{\lambda, i_x}(m - m_0) \left\{ \exp \left[- \sum_l^{m_0} k_\lambda (m_0 - 1) l_{i_x} (m_0 - 1) \right] \right\}.$$

Тогда потери излучения при вычислении $E_{A'}(N)$, $E_{A'}(M_\gamma^0)$, $E_{A'}(M_\gamma(K))$ в соотношении (10) могут быть определены по общеизвестным соотношениям [1]:

$$\begin{aligned} \tau_\Sigma(\lambda) &= S_\lambda \prod_l^{2N} (1 - \rho_k) \prod_l^N \exp(-k_\lambda d)_N \prod_l^{M(\gamma)} \rho(M_\gamma^0); \\ \rho_k &= [(n_k - n_{k-1}) / (n_k + n_{k-1})]^2. \end{aligned} \quad (11)$$

Значения параметров в указанных формулах и порядок выборки из табл. $T1A$; $T1B$; $T1G$; $T1D$, а также $T2A$; $T3 \dots T9$ приведены ранее (при $\nu = 1$ в выражении (11) проставляются значения n , иначе n_λ).

При известном положении ПАИ и входного отверстия относительно поверхности $K_{и}$, а также формы $\xi = 1-11$ анализируемого m_i -го источника (см. рис. 2, а, табл. T1A1... T1D1, T2B), воспользовавшись соотношениями аналитической геометрии [8], можно при заданной координате точки A в плоскости анализа ОЭУ определить конфигурацию излучающей области Ω_k в зависимости (10) в пределах входного отверстия (фиктивной излучающей поверхности).

В случае решения исходного интеграла (5) численным методом при выбранных координатах r и φ в пределах Ω_k , при вычислении $E_{A'}(N)$ необходимо определять длину хода излучения l_N в N -м компоненте ОС в заданном направлении (зависимости (6) и (7)). Воспользовавшись алгоритмом расчета хода луча через ОС, предложенным Федером [9], получим:

1. $1 = d_{k-1} - (x_{k-1}X_{k-1} + y_{k-1}Y_{k-1} + z_{k-1}Z_{k-1});$
2. $M_x = x_{k-1} + lX_{k-1} - d_k;$
3. $M^2 = x_{k-1}^2 + y_{k-1}^2 - l^2 - 2d_kx_{k-1} + d_k^2;$
4. $\cos i_k = (X_{k-1}^2 - M^2/r_k^2 + 2M_x/r_k)^{1/2};$
5. $L_k = 1 + (r_k^{-1}M^2 - 2M_x)/X_{k-1} + \cos i_k;$
6. $x_k = x_{k-1} + L_kX_{k-1} - d_k;$
7. $y_k = y_{k-1} + L_ky_{k-1};$
8. $z_k = z_{k-1} + L_kz_{k-1};$
9. $\cos i_k = [1 - (n_{k+1}/n_k)(1 - \cos^2 i_k)]^{1/2};$
10. $g = \cos i_k - (n_{k+1}/n_k) \cos i_k;$
11. $X_k = n_{k+1}X_{k-1}/n_k + g(1 - r_k^{-1}x_k);$
12. $Y_k = n_{k+1}Y_{k-1}/n_k - gr_k^{-1}y_k;$
13. $Z_k = n_{k+1}Z_{k-1}/n_k - gr_k^{-1}z_k.$

Организуя данный алгоритм в цикл по индексу K (от K_{\max} до $K_{и}$), можно найти длину хода излучения в N -м компоненте ОС как

$$l_N = [(X_k - X_{k-1})^2 + (Y_k - Y_{k-1})^2 + (Z_k - Z_{k-1})^2]^{1/2}.$$

Направляющие косинусы и координаты исходной точки при $K = K_{\max}$ определяются из зависимостей $Z_{k-1} = \cos \varphi_z$; $Y_{k-1} = \sin i_x$; $X_{k-1} = \cos i_x$; $y_{k-1} = (1 - X_{k-1}^2 - Z_{k-1}^2)^{1/2}$; $x_{k-1} = x_A = 0$; $z_{k-1} = z_A$; $y_{k-1} = y_A$.

Исследования по определению экранирования (через коэффициенты $K(\gamma)$) излучения m_i -го источника являются самостоятельными теоретическими вопросами и ввиду их объемности в данной работе не рассматриваются.

Таким образом, изложены основные теоретические положения при определении фоновой облученности ПАИ ОЭУ произвольной компоновки элементами их конструкции, позволяющие разработать программный модуль решения поставленной задачи на ЭВМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волосов Д. С., Цивкин М. В. Теория и расчет светооптических систем. – М.: Искусство, 1960. – 526 с.
2. Каледин С. Б., Коротков В. П., Пономарев В. М. Экспериментальная оценка возможности применения коэффициента экранирования для определения облученности в плоскости анализа ОЭП // Тр. МВТУ им. Н.Э. Баумана. – № 386. – С. 16–26.
3. Карташев Э. М. Аналитические методы решения задач теплопроводности и диффузии. – Л.: ЛИТМО, 1981. – 480 с.
4. Дутьнев Г. И., Тихонов С. В. Точные методы решения задач теплопроводности и диффузии. – Л.: ЛИТМО, 1981. – 80 с.
5. Голубь Б. И., Пахомов И. И., Хорохоров А. М. Собственное излучение элементов оптических систем оптико-электронных приборов. – М.: Машиностроение, 1978. – 141 с.
6. Пономарев В. М. Методы определения фоновой облученности ПАИ ОЭП собственным излучением элементов их конструкции // Тр. МВТУ им. Н.Э. Баумана. – 1989. – № 536. – С. 124–141.
7. Турыгин И. А. Прикладная оптика. – М.: Машиностроение, 1966. – 427 с.
8. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1984. – 831 с.
9. Слюсарев Г. Г. Методы расчета оптических систем. – Л.: Машиностроение, 1969. – 672 с.

Статья поступила в редакцию 23.03.2005



Пономарев Валерий Михайлович родился в 1940 г., окончил в 1963 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана. Канд. техн. наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры “Элементы приборных устройств”. Автор 80 научных работ в области внутриприборных фоновых засветок в оптико-электронных приборах.

V.M.Ponomarev (b.1940) graduated from Bauman Moscow Higher Technical School in 1963. Ph. D. (Eng.), senior researcher, ass. professor, of “Elements of Instrumental Devices” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 80 publications mainly in inside background exposure investigations and optical electronic instruments.

Игорь Степанович Потапцев родился в 1939 г., окончил в 1966 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана. Канд. техн. наук., и.о. зав. кафедрой “Элементы приборных устройств” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 40 научных работ в области приборов точной электромеханики и систем ориентации, стабилизации и навигации.



I.S. Potapcev (b. 1939) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1966 (“Instruments and Systems for Orientation, Stabilization and Navigation” department). Ph. D. (Eng), ass. professor, head of “Elements of Instruments” department of the Bauman Moscow State Technical University. Autor of over 40 publication in the field of instruments of precise elektromechanics and sistem of orientation, stabilization and navigation.

ЖУРНАЛ “ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА имени Н.Э. БАУМАНА”

В журнале публикуются наиболее значимые результаты фундаментальных и прикладных исследований и совместных разработок, выполненных в МГТУ имени Н.Э. Баумана и других научных и промышленных организациях.

Журнал “Вестник МГТУ имени Н.Э. Баумана” в соответствии с постановлением Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации включен в перечень периодических и научно-технических изданий, в которых рекомендуется публикация основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук.

Журнал издается в трех сериях: “Приборостроение”, “Машиностроение”, “Естественные науки” — с периодичностью 12 номеров в год.

Подписка по каталогу “Газеты, журналы” агентства “Роспечать”

| Индекс | Наименование серии | Объем выпуска | Подписная цена (руб.) | |
|--------|----------------------|---------------|-----------------------|--------|
| | | Полугодие | 3 мес. | 6 мес. |
| 72781 | “Машиностроение” | 2 | 250 | 500 |
| 72783 | “Приборостроение” | 2 | 250 | 500 |
| 79982 | “Естественные науки” | 2 | 250 | 500 |

Подписывайтесь и публикуйтесь!

Адрес редакции: 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5.
Тел.: (495) 263-62-60.
Факс: (495) 265-42-98; 263-67-07.
E-mail: press@bmstu.ru