

УДК 520.3/.8; 520.8-7

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА АБЕРРАЦИОННЫХ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ГАБАРИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИНФРАКРАСНЫХ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИХ СИСТЕМ**В.А. МАГЕРРАМОВ***Азербайджанский Технический Университет
370073, Баку, пр. Г.Джавида 25*

Для оптимизации конструкции сканирующего устройства вторичного зеркала инфракрасного телескопа рассчитаны aberrации оптических систем, в том числе, вносимых динамикой сканирующего устройства. Для оптимизации программы инфракрасных наблюдений с известными параметрами телескопа и наблюдаемого объекта, получены математические выражения для определения потока инфракрасного излучения звезды, требуемой пороговой чувствительности инфракрасного приемника и времени наблюдения, необходимого для достижения порога чувствительности приемника. Произведены варианты расчета габаритных параметров двухзеркальных оптических систем.

ВВЕДЕНИЕ

За последнее десятилетие значительно возрос интерес астрономов к исследованию холодных областей галактики, где в облаках газа и пыли наблюдаются процессы образования звезд и планет. Такое интенсивное развитие современной астрономии связано, прежде всего, с появлением новых и совершенствованием прежних методов наблюдений. Поэтому понятен интерес астрономов к проблеме создания совершенных наземных и космических систем приема инфракрасных (ИК) сигналов от космических объектов, позволяющих увеличить эффективную собирающую площадь излучения.

Технология создания и характеристики охлаждаемого ИК телескопа, продемонстрированные в баллонных, ракетных и спутниковых исследованиях неба в разных его ИК зонах способствовали развитию ИК астрономии, а фотометрическая аппаратура, работающая в этом диапазоне спектра, позволяет решать ряд важных прикладных задач, связанных с контролем космического пространства и исследованием земных ресурсов. Таким образом, разработка физических основ новых помехоустойчивых систем приема ИК сигналов космических объектов имеет не только научное, но и огромное практическое значение и поэтому, во многих развитых странах мира развернуты работы по созданию долгоживущих космических инфракрасных телескопов.

1. РАСЧЕТ АБЕРРАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ИК ТЕЛЕСКОПА

Практика показала, что даже объектив, не имеющий aberrаций, не может построить в фокусе точечное изображение звезды [1,2]. Исследование распределение освещенности E в изображении точечного источника, создаваемое идеальной оптической системой с круглым входным зрачком как функции оптического числа q показывает что, точечный источник света распределяет свою энергию по всей фокальной плоскости телескопа, но сугубо неравномерно - 83,8% энергии сосредоточено в кружке Эри [3, 4].

Линейный радиус дифракционного кружка Эри в фокальной плоскости можно выразить формулой $r = 1,2197\lambda \cdot \nabla_{\text{ЭКВ}}$ ($\nabla_{\text{ЭКВ}}$ - величина, обратная относительному отверстию A объектива, λ - длина волны света). Заметим, что эта формула теряет точность при малых $\nabla_{\text{ЭКВ}}$, т.е. для светосильных систем. Д.Д. Максutow и Г. М. Попов [3, 4] приводят таблицу значений r , выраженных в микронах, для разных значений $\nabla_{\text{ЭКВ}}$. Угловой радиус центрального кружка Эри, соответствующий первому темному кольцу дифракционного изображения, в секундах дуги имеет вид: $\theta = 251581,18 \cdot \lambda / D$. Мы пересчитали значения r и

θ для ИК области: $\lambda=5\div 35\text{мкм}$ и $V_{\text{жв}}=5\div 35$ для $D=0.2\div 1.4\text{м}$. Расчеты показали, что телескоп с диаметром 1.4м в идеальных условиях для $\lambda=20\div 35\text{мкм}$ мог бы построить изображение с угловым диаметром кружка Эри $3.5\div 6.2$ угловых секунд. Разумеется, атмосферная турбулентность не позволит получить изображение кружка Эри, но для космических ИК телескопов это достижимо.

Рассмотрим дифракционное изображение точечного объекта при наличии дефокусировки. Допустим что, объектив не имеет aberrаций, но плоскость установки не совпадает с центром кривизны сферической волновой поверхности на величину z , т.е. имеет место дефокусировка. Этот вопрос подробно рассмотрен в [5], откуда следует что, по мере роста дефокусировки z в дифракционном изображении начинает падать яркость центрального максимума, тогда как кольца увеличиваются в диаметре и светлые кольца приобретают большую яркость, а в темных появляется свет [4]. Тогда для точки, расположенной на оптической оси ($q=0$), при наличии дефокусировки $p_1 = \frac{\pi}{2\lambda} A^2 z$ освещенность E выражается формулой [4]:

$$E = E_0 \left(\frac{\sin \frac{p_1}{4}}{\frac{p_1}{4}} \right)^2 \quad (1)$$

где E_0 - освещенность на оси при $p_1 = 0$, т.е. при отсутствии дефокусировки.

Анализ (1) показывает, что при дефокусировке $p_1 = 4\pi n$, где n - целое число, в центре изображения звезды появляется темное кольцо. Согласно [2], резкость изображения заметно не ухудшается, если $p_1 \leq \pi$; тогда $z \leq 2\lambda \cdot V_{\text{жв}}^2$. При выполнении этого условия, освещенность в центре ядра превышает 80% от случая идеальной фокусировки. На Рис.1а показан график допустимых дефокусировок z_d для $\lambda=5\div 35\text{мкм}$ и $V_{\text{жв}}=5\div 35$. Например, для $\lambda=20\text{мкм}$ и $V_{\text{жв}}=30$ допустимое значение дефокусировки z_d составляет 37мм.

На практике стремятся рассчитать и изготовить такую оптическую систему, чтобы ее aberrации не выходили из пределов, определяемых назначением системы [1, 3, 4]. Поэтому важно определить максимальную величину aberrации, при которой качество изображения заметно не ухудшается. Определим допуск на различные aberrации, следуя [4].

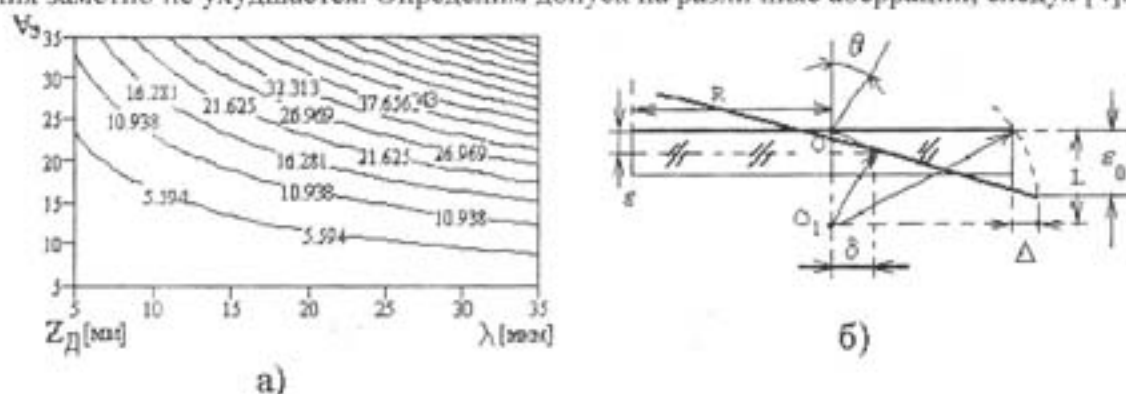


Рис.1

График допустимой дефокусировки(а) и схема колебание ВЗ телескопа (б).

Рассмотрим, прежде, всего допуск на сферическую aberrацию 3-го порядка. Очевидно, что можно найти наилучшую фокусировку, при которой допустимая величина среднеквадратического отклонения Δ^2 (деформации) минимальна; при этом сфера сравнения пересекает поверхность волны на краю зрачка, а фокусировка осуществляется на середину длины отрезка продольной сферической aberrации. При этих условиях максимальное отклонение волновой поверхности относительно сферы сравнения не

превышает $\lambda/4$, т.е. соответствует допуску Рэлея. Максимально допустимая продольная абберрация [4] $\Delta S_l^1 = 16 \cdot \lambda \cdot V_{\text{экр}}^2$. Сравнивая допустимую продольную абберрацию с допуском на дефокусировку, заключаем, что допуск на продольную сферическую абберрацию третьего порядка в восемь раз грубее.

В реальной системе обычно стремятся выполнить такую балансировку сферической абберрации на оси, чтобы Δ_l^1 была минимальной. При этом допуск на максимальную продольную сферическую абберрацию определяется выражением $\Delta S_l^1 = 24 \cdot V_{\text{экр}} \cdot \lambda$, где ΔS_l^1 - продольная сферическая абберрация.

Для случая чистой комы 3-го порядка в [2] даются следующие условия для максимальной деформации Δ_K волновой поверхности относительно сферы, центр которой совмещен с параксиальным изображением: $\Delta_K = 0.6 \cdot \lambda$, а для астигматизма 3-го порядка максимальное отклонение Δ_A волновой поверхности от сферы сравнения не должно превышать $\Delta_A = 0.17 \cdot \lambda$.

2. ВНЕОСЕВОЕ КОЛЕБАНИЕ ВТОРИЧНОГО ЗЕРКАЛА

Как известно, при ИК измерениях модуляция ИК излучения производится посредством колебания вторичного зеркала (ВЗ) телескопа. В идеале колебание зеркала должно происходить в вершине ВЗ, что не приводит к абберрации оптической системы. Такое колебание называется осевым колебанием ВЗ. Это условие усложняет конструкцию сканирующих устройств и требует разработки специальных опор качания. В реальных сканирующих устройствах выполнение указанного технического требования не всегда удается выполнить и поэтому, вращение ВЗ, называемым внеосевым колебанием ВЗ производят вне вершины зеркала, [6].

На Рис.16 схематически показано колебание ВЗ, где R - радиус зеркала, L - расстояние центра вращения «О₁» от вершины «О» ВЗ (при $L=0$ зеркало вращается в вершине «О» ВЗ), θ - угол поворота, δ - радиальное смещение вершины, Δ - смещение края и ε - осевое смещение вершины ВЗ приводящий к дефокусировке. Как видно из Рис.16 при осевом колебании зеркала вокруг вершины «О», происходит только смещение края Δ ВЗ. При внеосевом колебании ВЗ, например вокруг центра вращения «О₁», появляется боковое смещение края Δ , радиальное смещение вершины δ и осевое смещение вершины ε ВЗ, приводящие к дефокусировке.

Можно показать, что динамические параметры Δ , δ , ε связаны с R , L и θ следующими выражениями:

$$\delta = L \cdot \sin(\theta), \quad \varepsilon = L[1 - \cos(\theta)],$$

$$\Delta = \sqrt{R^2 + 2\varepsilon_0 L - \varepsilon_0^2} - R, \quad \varepsilon_0 = \varepsilon + R \cdot \sin \theta.$$

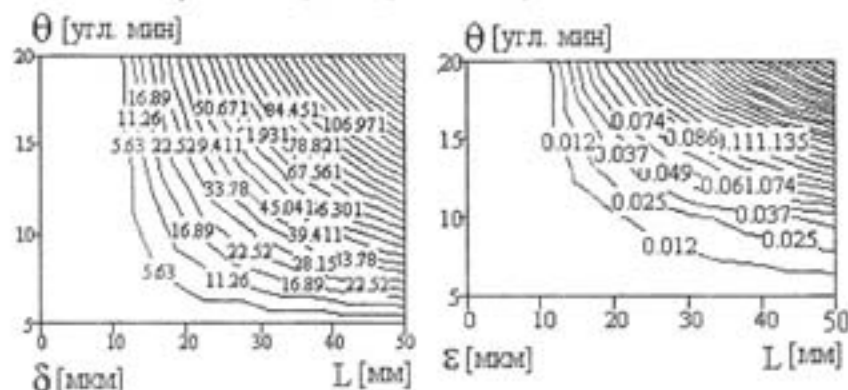


Рис.2

Радиальное δ и осевое ε смещение вершины ВЗ.

На Рис.2 показано радиальное δ и осевое ε смещение вершины вторичного зеркала.

Из сравнения графиков допустимой дефокусировки (Рис.1а) и осевого смещения вершины ВЗ, приводящих к дефокусировке (Рис.2), для телескопов с $V_{\text{ЗВ}} \geq 15$ на длине волны $\lambda \geq 10$ мкм, при угле поворота ВЗ $\theta \geq 10$ угловых минут показало что, погрешности, вносимые динамикой сканирующего устройства, осевым смещением вершины ВЗ, при внеосевом колебании ВЗ в пределах ± 25 мм относительно вершины зеркала ($\varepsilon = 0.012$ мкм), $5 \cdot 10^3$ раз меньше допустимой дефокусировки ($Z_d = 5,594$ мм).

3. РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИК ТЕЛЕСКОПА И НАБЛЮДАЕМОГО ОБЪЕКТА

Учитывая поток излучения звезды [7], для ИК излучения нами было получено [6].

$$F(\lambda) = 2.52 \cdot 10^{-28} \cdot \frac{T_{\phi}}{\lambda^2} \cdot 10^{\frac{11800}{T_{\phi}} - 0.4 m_v} \quad [\text{Вт/м}^2 \text{ Гц}] \quad (2)$$

где $T_{\text{В}}$ - яркостная температура источника [К], T_{ϕ} - температура фотосферы [К], m_v - визуальная звездная величина, λ - длина принимаемого излучения [мкм].

Тогда, звездная величина потока $F(\lambda)$ инфракрасного излучения будет:

$$m_v = 2.5 \cdot \lg \left[\frac{2.52 \cdot T_{\phi} \cdot 10^{\frac{11800}{T_{\phi}} - 28}}{\lambda^2 \cdot F(\lambda)} \right] \quad (3)$$

Вычисления показали, что поток ИК излучения в стандартных фотометрических полосах, полученный из выражения (2), для $m_v = 0.0$ и $T = 1000$ К, хорошо согласуется с потоком ИК излучения, полученным в [8].

Расчет логарифма потока ИК излучения звезды $F(\lambda)$, для звездной величины $m_v = 0.0 \div 5.5$ и температуры фотосферы $T_{\phi} = 2500 \div 12500$ К при длине волны $\lambda = 10$ мкм показан на Рис.3а.

При наблюдениях звезды с угловыми размерами $\theta_{\text{ЗВ}}$, когда $\theta_{\text{ЗВ}} < \theta$ ($\theta_{\text{ЗВ}}$ - половинный угловой размер звезды, θ - половина угла поля зрения телескопа), телескоп с главным зеркалом, диаметром D и площадью $A_{\text{ВХ}} = \pi D^2/4$, получает от источника на частоте ν удельную мощность [9]: $P_{\text{ЗВ}} = A_{\text{ВХ}} \cdot \Omega_{\text{ЗВ}} \cdot B_{\text{ЗВ}} = \Phi_{\text{ЗВ}} \cdot A_{\text{ВХ}}$ [Вт/Гц], где $\Omega_{\text{ЗВ}} = \pi \cdot \theta_{\text{ЗВ}}^2$ - телесный угол звезды; $\Phi_{\text{ЗВ}}$ [Вт/м²Гц] - спектральная плотность потока излучения от звезды, $B_{\text{ЗВ}}$ [Вт/м²Гц стер.] - яркость звезды на частоте ν .

Оптическая система телескопа обеспечивает на приемнике удельную мощность $P_{\text{ЗВ}}^1$, равную: $P_{\text{ЗВ}}^1 = \eta \cdot P_{\text{ЗВ}}$, где η - эффективность оптической системы.

Из всего спектра $P_{\text{ЗВ}}^1$ приемник излучения регистрирует сигнал в полосе частот от ν_1 до ν_2 , причем эффективная мощность, вызывающая электрический сигнал на выходе приемника, равна:

$$P_{\text{ЗВ}}^1 = \eta \cdot A_{\text{ВХ}} \int_{\nu_1}^{\nu_2} \Phi_{\text{ЗВ}} \cdot s(\nu) \cdot d\nu \quad [\text{Вт}] \quad (4)$$

где $s(\nu) = S(\nu)/S_m$ - нормированная спектральная чувствительность приемника; $S(\nu)$ - вольт-ваттная чувствительность приемника на частоте ν , $S_m = S(\nu_m)$ - максимальное значение чувствительности на частоте из интервала (ν_1, ν_2) .

Для простоты и наглядности оценок предположим, что источник имеет в интервале (ν_1, ν_2) белый спектр т.е. $\Phi_{\text{ЗВ}} = F_N = \text{Const}$. Тогда из (4) найдем:

$$P_{\text{ЗВ}}^1 = \eta \cdot A_{\text{ВХ}} \cdot F_N \int_{\nu_1}^{\nu_2} s(\nu) \cdot d\nu = \eta \cdot A_{\text{ВХ}} \cdot F_N \cdot \Delta\nu_{\text{эфф}},$$

где $\Delta\nu_{эфф} = \int_{\nu_1}^{\nu_2} s(\nu) \cdot d\nu$ [Гц] - эффективная полоса частот чувствительности приемника.

Теперь, приравняв величину $P_{зв}^i$ к пороговой мощности приемника P_N , которая определяется при постоянной времени измерения $\tau=1$ сек., и, обозначая отношение сигнала к шуму N , найдем пороговую чувствительность телескопа в единицах спектральной плотности потока:

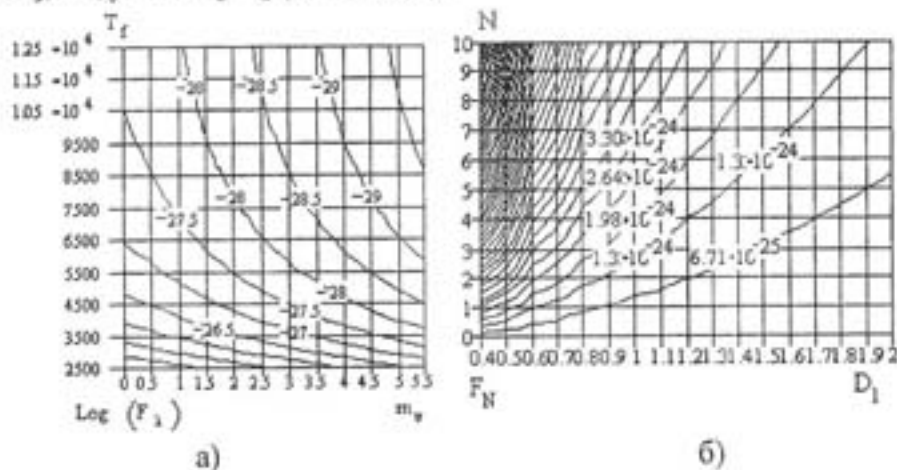
$$F_N = \frac{N \cdot P_N}{\eta \cdot A_{ex} \cdot \Delta\nu_{эфф}} \text{ [Вт / (стер. м}^2\text{)]} \quad (5)$$

где P_N - пороговая мощность приемника излучения [Вт/Гц^{1/2}].

Таким образом получаем выражение для потока F_N от источника излучения, выраженное через отношение сигнала к шуму N , параметры телескопа (η , A_{ex}) и приемника излучения (P_N , $\Delta\nu_{эфф}$).

Пользуясь этим соотношением, можно построить зависимость порогового потока F_N от диаметра зеркала D при заданных значениях эффективности оптической системы η и параметров приемника P_N и $\Delta\nu_{эфф}$ [9].

На Рис.3б приведены зависимости порогового потока F_N от диаметра зеркала D и отношения сигнал/шум N для ИК телескопа, при значениях параметров $\eta=0,35$ и $P_N=4 \cdot 10^{-12}$ [Вт], $\Delta\nu_{эфф}=3 \cdot 10^{13}$ [Гц] ($\lambda=10$ мкм).



модулированного потока равна: $W_{\text{эф}} = N \cdot F_N \cdot A_{\text{пр}} \cdot \eta \cdot \rho \cdot \Delta\nu = P_N \cdot \rho \cdot N$ [Вт], где η - общее пропускание телескопа, ρ - эффективность модуляции, $\Delta\nu$ - рабочая полоса пропускания.

Тогда, время наблюдения, необходимое для получения чувствительности $B = N \cdot P_N$ может быть рассчитано из:

$$t_{\text{наб}} = \left(\frac{\text{ЭМШ}}{W_{\text{эф}}} \right)^2 = 1,2524 \cdot 10^{-29} \frac{T_{\text{пр}}^5 \cdot A_0}{P_N^2 \cdot \rho^2 \cdot N^2} \text{ [сек]} \quad (7)$$

Учитывая (6) в (7), получим:

$$t_{\text{наб}} = 3,545 \cdot 10^{-3} \frac{T_{\text{пр}}^5 \cdot A_0 \cdot \lambda^6}{\eta^2 \cdot \rho^2 \cdot T_{\text{ф}}^2 \cdot D^6} \cdot 10^{2 \left(0,4 \eta - \frac{11800}{T_{\text{ф}}} \right)} \text{ [сек]} \quad (8)$$

В качестве примера, произведен расчет требуемой пороговой мощности приемника излучения (6) и времени наблюдения (8) для некоторых звезд [7], для телескопа диаметром $D=0,2+2\text{м}$, эффективностью телескопа $\eta=0,35$ и модулятора $\rho=0,45$ для длины принимаемых волн $\lambda=10\text{мкм}$, температурой приемника $T_{\text{пр}}=50\text{К}$, площадью приемника излучения $A_0=1\text{мм}^2$ и отношением сигнала к шуму $N=1$.

На Рис.4 показаны рассчитанные зависимости порогового потока приемника излучения P_N и логарифм $t_{\text{наб}}$ для этих звезд, при $P_N=4 \cdot 10^{12}$ [Вт].

Анализ полученных зависимостей (6) и (8) показывает, что если для наблюдения звезды с визуальной звездной величиной m_v , на ИК-телескопе диаметром главного зеркала D с общим пропусканием оптической системы η , эффективностью модулятора ρ , с приемником излучения с площадью фоточувствительной площадки A_0 , температурой $T_{\text{пр}}$, пороговой мощности P_N , необходимо время наблюдения (экспозиции) $t_{\text{наб}}$, то для наблюдения той же звезды на телескопе диаметром зеркала D^* с теми же параметрами, что и для телескопа с диаметром зеркала D , необходимо использовать приемник излучения с пороговым потоком:

$$P_N^* = \left(\frac{D^*}{D} \right)^2 \cdot P_N \quad (9)$$

и времени наблюдения:

$$t_{\text{наб}}^* = \left(\frac{D}{D^*} \right)^4 \cdot t_{\text{наб}} \quad (10)$$

Например для звезды $\beta\text{-CrV}$ с визуальной звездной величиной $m_v=3.7$ для выше принятых параметров, при диаметре ИК телескопа $D = 0.6\text{м}$ нами получены значения $P_N=7.284 \cdot 10^{-14}$ [Вт] и $t_{\text{наб}}=3.707\text{сек}$, тогда, согласно (9) и (10), для наблюдения той же звезды на телескопе диаметром $D^*=1.4\text{м}$, при тех же принятых параметрах η , ρ , A_0 и $T_{\text{пр}}$, получим необходимую пороговую мощность приемника $P_N^*=3.966 \cdot 10^{-13}$ [Вт], и время наблюдения $t_{\text{наб}}^*=0.125\text{сек}$.

Из уравнений (9) и (10) следует, что $n = D^*/D$ - кратное увеличение диаметра главного зеркала телескопа приводит к n^2 кратному увеличению требуемый пороговой чувствительности приемника излучения и n^4 кратному уменьшению времени наблюдения, что позволяет, при известных параметрах одного инструмента, легко пересчитать необходимые наблюдательные параметры другого инфракрасного телескопа.

Произведен расчет зависимости логарифма необходимого порогового потока приемника излучения P_N и логарифма времени наблюдения $t_{\text{наб}}$ от диаметра главного зеркала D и длины волны λ при $\eta=0.35$, $\rho=0.45$, $m_v=0.0$, $T_{\text{ф}}=10000\text{К}$, $N=1$, $A_0=0.0812\text{м}^2$, и $T_{\text{пр}}=50\text{К}$. Получено, что увеличение длины волны приводит к уменьшению необходимого порогового потока приемника излучения P_N и к увеличению времени наблюдения $t_{\text{наб}}$. Например, для выбранного диаметра главного зеркала D , увеличение длины волны от

10мкм до 30мкм приводит к уменьшению необходимого порогового потока приемника излучения P_N в 10^2 раз и к увеличению времени наблюдения $t_{наб}$ в $2 \cdot 10^5$ раз, соответственно.

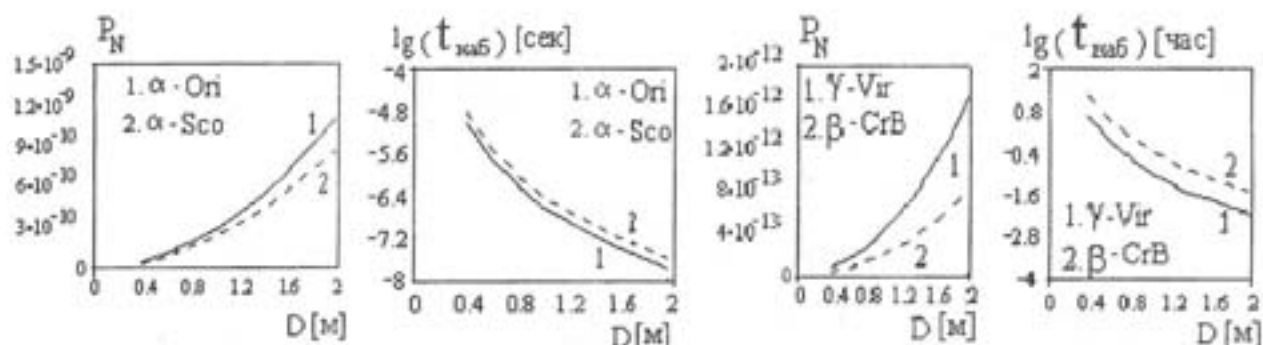


Рис.4
Зависимость P_N и $\lg(t_{наб})$ от D .

4. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ГАБАРИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗЕРКАЛЬНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Как правило, для использования наземных длиннофокусных телескопов при наблюдениях в ИК области спектра необходимо удалить бленду ВЗ, (которая определяет эффективную ширину полезного пучка, выполняя роль холодной диафрагмы [6, 8, 11]), так как за пределами ВЗ приемник ИК излучения должен "видеть" только небо.

Конструктивно удобно задавать оптическую систему диаметром главного зеркала D_1 , фокусным расстоянием F_1 , эквивалентным относительным отверстием $A_{экв}$ ($A_{экв} = D/F_{экв}$), выносом фокальной плоскости Δ и углом поля зрения $2w$. Этих данных достаточно для определения всех остальных конструктивных элементов наземной системы [1, 6, 11].

По методике [6, 11] были произведены расчеты оптической системы ИК телескопа. В качестве исходных параметров приняты: диаметр главного зеркала D равный 550мм, 600мм, 1000мм, 1520мм и 2000мм, эквивалентное обратное относительное отверстие $V_{экв}$ равное 15, 19, 23, 27, 31 и 35, обратное относительное отверстие главного зеркала V_1 , равное 1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 7.5 и 9.0, поле зрения $2\theta = 6$ угловых минут и длина волн $\lambda = 10$ мкм.

Проведенные расчеты показали что, для каждого из вариантов диаметра главного зеркала D_1 , при заданных V_1 и $V_{экв}$, можно построить достаточное количество оптических систем. Выбор того или иного варианта, зависит от многих конструктивных требований на ИК телескоп. В Таблице приведены параметры рассчитанных оптических систем, при $V_1 = 4.5$, $V_{экв} = 31$, $\beta = 0.145$ и $q = 0.158$.

В качестве примера, на Рис.5 приведена зависимость $D_2(V_1, V_{экв})$, $q(V_1, V_{экв})$ и $f_2(V_1, V_{экв})$ для $D_1 = 2000$ мм. Эти зависимости были использованы для превращения оптического телескопа ШАО ($D_1 = 2000$ мм и $f_1 = 9027.8$ мм) в инфракрасный телескоп - ИКТ ШАО. В Таблице вариант № 5 соответствует изготовленному варианту оптической системы ИКТ ШАО на основе которого был создан двухканальный фотометр со сканирующим вторичным зеркалом для инфракрасных наблюдений на 2-х метровом телескопе Шемахинской Астрофизической обсерватории [12].

Сравнение параметров оптического и инфракрасного 2-х метрового телескопа показало, что для инфракрасного варианта 2-х метрового телескопа обратное

относительное отверстие вторичного зеркала (V_2), эквивалентный фокус ($f_{\text{экв}}$), задний отрезок (Δ) и расстояние между зеркалами (d) возрастают, а, диаметр вторичного зеркала (D_2) уменьшается на 310%, 110%, 48%, 17% и 76%, соответственно.

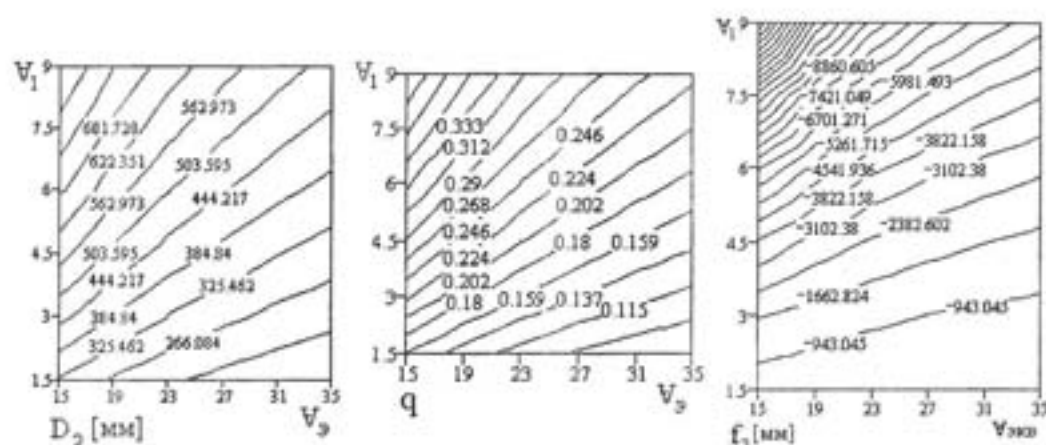


Рис.5

Зависимости $D_2(V_1, V_{\text{экв}})$, $q(V_1, V_{\text{экв}})$ и $f_2(V_1, V_{\text{экв}})$.

Таблица

Расчетные параметры оптических систем телескопов.

п/п	параметр	варианты оптической системы				
		1	2	3	4	5
1	D_1 , мм	550	600	1000	1520	2000
2	Δ , мм	605	660	1100	1672	2200
3	$f_{\text{экв}}$, мм	17050	18600	31000	47120	62000
4	d , мм	-2085	-2274	-3790	-5761	-7601
5	S_2^i , мм	2690	2934	4890	7433	9801
6	S_2^r , мм	-390.423	-425.915	-709.859	-1079	-1427
7	D_2 , мм	90.399	98.617	164.361	250	329.418
8	f_2 , мм	-456.721	-498.241	-830.401	-1262	-1670

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подытоживая вышеизложенное можно сделать следующие выводы:

1. Для оптимизации конструкции сканирующего устройства вторичного зеркала инфракрасного телескопа диапазона $5 \div 35$ мкм с обратными эквивалентными относительными отверстиями $5 \div 35$ рассчитаны aberrации их оптических систем и показано, что погрешности, вносимые динамикой сканирующего устройства, при смещении оси вращения вторичного зеркала в пределах ± 25 мм относительно вершины зеркала, находятся в допустимых пределах оптических aberrаций.

2. Для оптимизации программы инфракрасных наблюдений на телескопе с известными диаметром главного зеркала, эффективности телескопа и отношения сигнала к шуму регистрирующего устройства, при заданной длине волны принимаемого инфракрасного излучения звезды, с известной температурой фотосферы и визуальной

звездной величины, получены математические выражения для определения потока инфракрасного излучения звезды, требуемой пороговой чувствительности инфракрасного приемника и времени наблюдения, необходимого для достижения порога чувствительности приемника инфракрасного излучения.

3. Произведен габаритный расчет вариантов двухзеркальных оптических систем, позволяющих построить различные телескопические системы в зависимости от задачи наблюдения и конструктивного требования к инфракрасному телескопу.

1. Н.Н. Михельсон, *Оптические телескопы*, М., Наука, (1976) 512.
2. А. Марешаль и др., *Структура оптического изображения*. -М. Мир, (1964) 295.
3. Д. Д.Максутов, *Астрономическая оптика*. -М.: Л.: Гостехиздат, (1946) 368.
4. Г.М. Попов, *Современная астрономическая оптика*. -М., Наука, (1988) 192.
5. E.N. Linfoot, *Recent Advances in Optics*.-Oxford: Clarendon press, (1955) 287.
6. В.А. Магеррамов, *Техника инфракрасных наблюдений космических объектов (основы теории и расчета)*, Баку, Элм, (1999) 336.
7. Г.Б.Гельфрейх, Б.Г.Кузнецов, *Ученые записки ЛГУ*, № 337, вып.42, серия математических наук, Труды астрономической обсерватории, т. XXV, 1968, стр. 54 -57.
8. Г.Б.Шоломицкий, О.Ф.Прилуцкий, *Итоги науки и техники, сер. Исследование космического пространства*, 14 (1979) 172.
9. В.А.Магеррамов, *Ученые записки Аз. ТУ, Баку*, VII № 1 (1998) 90.
10. В.А.Магеррамов, *Ученые записки Аз. ТУ, Баку*, VII № 4 (1998) 133.
11. В.А.Магеррамов, *Ученые записки Аз. ТУ, Баку*, VII № 3 (1998) 124.
12. В.А.Магеррамов, *Двухканальный фотометр со сканирующим вторичным зеркалом для инфракрасных наблюдений на 2-х метровом телескопе Шемахинской Астрофизической обсерватории, Циркуляр ШАО*, № 99 (2000) 26.

İNFRAQIRMIZI TELESKOPIK SİSTEMLƏRİN ABERRASIYA, ENERQETİK VƏ QABARİT PARAMETRLƏRİNİN HESABLAMA XÜSUSİYYƏTLƏRİ

V.Ə.MƏHƏRRƏMOV

İnfraqırmızı teleskopun ikinci güzgüsünün sətirleyici qurğusunun konstruksiyasını optimallaşdırmaq üçün optik sistemin, və o cümlədən sətirleyici qurğunun hərəkətindən yaranan xətlər hesablanıb. Teleskopun və müşahidə obyektinin məlum parametrlərinə əsasən, infraqırmızı müşahidələri optimallaşdırmaq üçün, ulduzun infraqırmızı şüalanma səlini, infraqırmızı şüa qəbuledicisinin tələb etdiyi hədd həssaslığını və bu hədd həssaslığını təmin edə biləcək müşahidə vaxtını təyin edə biləcək riyazi ifadələr alınmışdır. İki gyzgülü optik sistemlərin qabarit parametrlərinin hesabınma variantları aparılmışdır

THE FEATURES of CALCULATION of the OPTICAL ABERRATIONS, RADIANT AND the DIMENSIONAL PARAMETERS in the INFRARED TELESCOPIC SYSTEM

V.A. MAHARRAMOV

In work optimisation the construction of scanning device of secondary mirror and observation programs for infra-red telescope are considered. For an infrared telescope was calculated the aberration of optical systems and dynamics error of the scanning device. The mathematical formula for definition the flow of infrared radiation the stars, threshold sensitivity of the infrared receiver and time of observation are received. The variants of the dimensional parameters of two-mirror optical systems are calculated in the end.

Редактор: А.Гулиев