

Метод определения информационной емкости изображения в крупногабаритных телескопах.

77-30569/413768

04, апрель 2012

Сычев В. В.

УДК.520

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
viktorsychev@list.ru

Введение

Анализ ситуации, сложившейся в телескопостроении в последние десятилетия, показывает, что в мире накопился большой опыт создания телескопов с увеличенным диаметром главного зеркала до 10 метров. Не останавливаясь на вопросах технологии и точности создания больших зеркал, являющихся серьезной проблемой, сдерживающей создание телескопов, автор попытался на основе известных положений теории информации разработать и предложить для оценочных расчетов критерий и методику определения информационной емкости визуального, фотографического и ТВ каналов для видимого диапазона длин волн. Метод предполагает учет влияния всех искажающих факторов, приводящих к значительному размытию получаемых изображений относительно дифракционных и, как следствие, снижению контраста, уменьшению разрешающей способности и падению информационной емкости. Это, в конечном счете, должно ограничивать максимальный диаметр главного зеркала телескопов. В качестве основного искажающего фактора при изложении сути методики взята атмосферная турбулентность. Метод может быть приемлем как для классических телескопов с монолитными зеркалами, так и для адаптивных телескопов с составными апертурами. Основные положения метода показывают, что увеличение

диаметра главного зеркала требует увеличения качества получаемых изображений и приближения к дифракционному пределу. Как это сделать и какими путями является темой отдельного рассмотрения.

1. Исходные положения

Для разработки метода воспользуемся следующими основными положениями и допущениями.

1. Будем считать, что телескоп имеет монолитное главное зеркало и изготовлен с идеальным качеством. При этом дифракционный предел углового разрешения рассчитывается в соответствии с [1] по формуле

$$\Psi_d = \frac{1,22\lambda}{D}, \quad (1)$$

здесь Ψ_d – угловое дифракционное разрешение [рад],

λ – длина волны излучения видимого диапазона [см],

D – диаметр главного монолитного зеркала телескопа [см].

Для случая составного нефазированного зеркала в формулу (1) необходимо подставить диаметр элементарного зеркала – $d_{эл}$.

2. На конечное качество изображения влияет только атмосферная турбулентность. При этом считается [2], что угол турбулентности $\Psi_{тур.}$, в пределах которого рассеивается свет от астрофизического объекта, независимо от диаметра главного зеркала телескопа составляет:

- при отличных изображениях – 0,2 ″;
- при хороших изображениях – 1,0 ″;
- при удовлетворительных – 2,0 ″.

3. При необходимости перехода от влияния одной турбулентности к суммарному воздействию всех возможных искажений – бюджету ошибок – будем считать, что все они независимы и равновероятны [3]. Их суммарное воздействие в угловой мере определяется как

$$\Psi_{\text{сум}}^2 = \sum \Psi_i^2 . \quad (2)$$

4. Телескоп как изображающая система относится к категории контрастно-ограниченных изображающих систем, поэтому ее информационная емкость или количество информации рассчитывается по формуле [5]

$$H = SR^2 \log_2(m+1). \quad (3)$$

Здесь S – площадь линейного поля в пространстве изображений [мм^2]

R – разрешение регистрирующего канала [лин/мм]

m – число градаций яркости, фиксируемых регистрирующим каналом и различаемых глазом.

Телескоп может строить изображения в разных фокусах, поэтому, например, для фотографического канала в главном фокусе и фокусе телескопа соответственно будем иметь $S_{\text{гл.}}^\phi, R_{\text{гл.}}^\phi, m_{\text{гл.}}^\phi$ и $S_{\text{т.}}^\phi, R_{\text{т.}}^\phi, m_{\text{т.}}^\phi$. Для ТВ канала будем иметь $S_{\text{гл.}}^{\text{ТВ}}, R_{\text{гл.}}^{\text{ТВ}}, m_{\text{гл.}}^{\text{ТВ}}$ и $S_{\text{т.}}^{\text{ТВ}}, R_{\text{т.}}^{\text{ТВ}}, m_{\text{т.}}^{\text{ТВ}}$.

Параметр H определяет не просто количество информации в некоторой конкретной картине, а максимальное количество, которое может воспроизводиться регистрирующим каналом (глаз, фотопленка, ТВ) в оптимальных для него условиях освещенности. Считается, что появление любого, даже не имеющего смыслового содержания изображения, равновероятно. Из этого следует, что чем больше информационная емкость системы, тем больше отличных друг от друга изображений может система воспроизвести [6].

5. Число градаций яркости m определяется по формуле [7, 8]

$$m = \frac{2,3}{\delta_{\text{пор}}} \lg k_1, \quad (4)$$

где $\delta_{\text{пор.}}$ – пороговый контраст, воспринимаемый глазом, принимается равным 0,03.

k_1 – максимальный контраст, равный $\frac{B_{\max}}{B_{\min}}$, воспринимаемый регистрирующим каналом.

Вместе с тем согласно [8] пороговый контраст, воспринимаемый глазом в реальных условиях астронаблюдений, может отличаться от 0,03 и может составлять для фотоканала $0,1 \div 0,3$, для ТВ – $0,1 \div 0,25$, для ЭОП с ТВ – $0,25$, для ЭОП – $1,0$, для ЭОП с фото – $1,0$, для электрофотографии – $0,02 \div 0,1$, что может привести к уменьшению величины m .

Для каждого канала величина k_1 различна и для оптимальных условий может достигать следующих максимальных величин:

- для глаза [9] $k_{1B} \leq 2000$,
- для фотопленки [10] $k_{1\Phi} \leq 300$,
- для ТВ изображения [7] $k_{1TB} \leq 150$.

Качество восприятия изображения человеческим глазом помимо разрешения зависит от контраста k_1 или количества градаций яркости m . Их отдельные значения, полученные из различных источников [11 – 16], приведены в таблице 1.

Помимо контраста k_1 для расчетов, применяемых в астрономии, используются и другие формулы [8]:

$$k_2 = \frac{B_{\max} - B_{\min}}{B_{\max}} . \quad (5)$$

$$k_3 = \frac{B_{\max} - B_{\min}}{B_{\min}} . \quad (6)$$

Причем значения k_i связаны соотношениями

$$k_2 = \frac{k_1 - 1}{k_1}, \quad (7)$$

$$k_3 = \frac{k_1 - 1}{1}. \quad (8)$$

Таблица 1. Качество восприятия изображений различными каналами

Канал	Визуальный		Фотографический		Телевизионный		
Качество	k_{1B}	m	$k_{1\Phi}$	m	k_{1TV}	m	Ψ
Отличное	46,6 [12]	≥ 128 [12]	45 [16]	127 [16]	100 [15] 45	150 [15] 128 140 [8]	33 [14] 200 [17]
Хорошее	$>2,61$ [12]	≥ 32 [12]					30 [12,13]
Удовлетв.	$>1,27$ [12]	8 [12]			30 [15]	113	27 [14] 25 [17]
Плохое	$<1,06$ [12]	2 [12]					

Примечание: Ψ – отношение сигнал/шум.

Необходимо отметить, что формула (4) и величины приведенных значений максимальных и порогового контраста применимы лишь для видимого диапазона длин волн, т.к. оконечным регистрирующим элементом является глаз человека. Очевидно, что для ИК диапазона контрасты и формулы, их определяющие, будут существенно отличаться и определяться тем или иным приемником излучения и его свойствами. Различные формулы контрастов и количества градаций яркости, предложенные различными авторами, можно найти в работах [7, 9, 17, 19 - 20].

6. По Роузу [18] для получения изображения с хорошим разрешением число элементов картины – N должно лежать в пределах $10^6 \div 10^7$, т.е.

$$N = SR^2 = 10^6 \div 10^7 \dots \quad (9)$$

Отсюда минимальное разрешение R должно быть

$$R \geq \sqrt{\frac{N}{S}} = \sqrt{\frac{10^6}{\pi r_i^2}}, \quad (10)$$

где r_i – радиус изображения линейного поля в фокусе главного зеркала или телескопа (в нашем случае для фотоканала это половина линейного поля, т.к.

размеры фотопленок однозначно перекрывают линейные поля, а для ТВ канала его можно принять равным половине диагонали ТВ трубки или ТВ матрицы).

7. Угловое поле визуального канала в пространстве объекта определено исходя из углового поля окуляра, принятого в нашем случае максимально возможным и равным 100° , а именно

$$\operatorname{tg} W_e = \frac{\operatorname{tg} W'}{\Gamma} = \frac{\operatorname{tg} 50^\circ}{\Gamma}. \quad (11)$$

Здесь Γ – визуальное увеличение телескопа, определяемое из соотношения

$$\Psi_{\text{диф}} = \frac{1,22\lambda}{D} = \frac{60'' \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{D} \text{ [рад]}, \quad (12)$$

где $60''$ - половинная величина разрешения глаза по Максутову [24]. Откуда

$$\Gamma = \frac{3 \cdot 10^{-4} D}{1,22\lambda}. \quad (13)$$

8. Угловое поле фотографического канала определяется диаметром линзового корректора, который в настоящее время из-за технологических ограничений не превышает 500 мм:

$$2W_p = \frac{D_{\text{кор}}}{f_i}. \quad (14)$$

Здесь $D_{\text{кор}}$ – диаметр линзового корректора,

f_i – фокусное расстояние главного зеркала $f_{\text{гз}}$ или телескопа $f_{\text{тел}}$.

9. Угловое поле ТВ канала определяется по формуле

$$2W_{\text{TB}} = \frac{D_{\text{TB}}}{f_i}, \quad (15)$$

где D_{TB} – диаметр ТВ приемника.

Для простоты расчетов D_{TB} взято равным 25 мм (диагональ 1" трубки).

Относительное отверстие главного зеркала телескопа принято равным 1 : 1,5, а относительное отверстие телескопа – 1 : 10.

10. Диаметр главного зеркала телескопа изменяется от 1,0 до 30 м. При этом первично считается, что зеркало монолитное и изготовлено с дифракционным качеством.

2. Разработка метода

На рис. 1а представлен ход лучей через объектив телескопа от астрофизического объекта в условиях идеальной и турбулентной атмосферы. Здесь $\Psi_{\text{диф}}$ и $\Psi_{\text{тур}}$ соответственно угловое дифракционное и турбулентное разрешение; $d_{\text{диф}}$ и $d_{\text{тур}}$ – линейный размер дифракционного и турбулентного кружков рассеяния изображения; $2W$ – угловое поле объектива телескопа; $D_{\text{из}}$ – линейное поле изображения; $D_{\text{тур}}$ – линейное поле изображения при турбулентной атмосфере, f_i – фокусное расстояние главного зеркала или объектива телескопа.

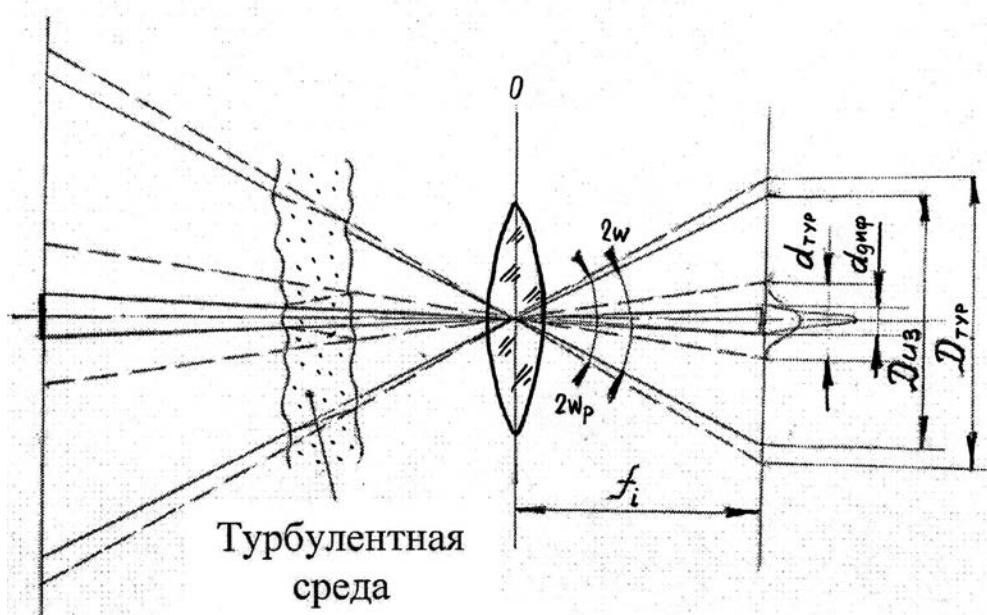


Рис. 1а. Ход лучей через объектив телескопа от астрофизического объекта в условиях идеальной и турбулентной атмосферы

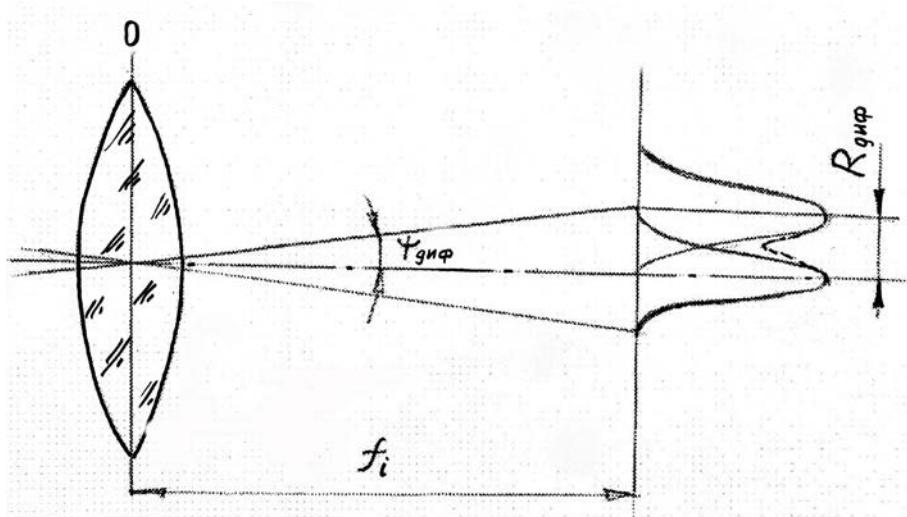


Рис. 16. К вопросу о дифракционной разрешающей способности объектива

Из рисунка следует, что площади идеального и турбулентного изображений определяются как

$$S_{\text{диф}} \cong S_{\text{мип}} = \pi f_i^2 \operatorname{tg}^2 W. \quad (16)$$

Дифракционная разрешающая способность (рис. 16) определяется величиной

$$R_{\text{диф}} = \frac{2}{d_{\text{диф}}} = \frac{1}{f_i g \Psi_{\text{диф}}}. \quad (17)$$

Подставляя (16) и (17) в (3), имеем

$$H = \pi \frac{\operatorname{tg}^2 W}{\operatorname{tg}^2 \Psi_{\text{диф}}} \log_2 (m + 1). \quad (18)$$

Данная формула определяет информационную емкость дифракционно ограниченного оптического визуального канала. При этом количество градаций яркости будет определяться по формуле (4), в которую вместо k_1 необходимо подставлять k_{1B} .

Разрешение, реализуемое регистрирующими фото и ТВ каналами, определяется по известной формуле

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{\text{диф}}} + \frac{1}{R_{\text{пер}}}, \quad (19)$$

где R – реализуемое разрешение,

$R_{\text{пер}}$ – разрешение регистратора: для фотографии это разрешение пленки

$R_{\text{пл}}$, для телевидения это разрешение ТВ канала, определяемое путем пересчета количества строк разложения z на высоту рабочей части фоточувствительной поверхности h_ϕ по приближенной формуле: $R_{\text{TB}} = \frac{z}{2h_\phi}$.

Информационная емкость регистрирующих (фото и ТВ) каналов для идеальных условий будет определяться формулой (3) с учетом выражений (16), (17) и (19). Таким образом,

$$H_p = \pi f^2 \operatorname{tg}^2 W_p \left(\frac{R_{\text{диф}} R_{\text{пез}}}{R_{\text{диф}} + R_{\text{пез}}} \right)^2 \log_2 (m+1), \quad (20)$$

где: W_p - половина углового поля регистрирующего канала.

Число градаций яркости будет также определяться по формуле (4), в которую вместо k_1 необходимо подставить для фотографического канала – $k_{1\phi}$, а для телевизионного - $k_{1\text{ТВ}}$.

В случае турбулентной атмосферы разрешение определяется как

$$R_{\text{myp}} = \frac{1}{f \operatorname{tg} \Psi_{\text{myp}}}. \quad (21)$$

И с учетом (17) можно записать:

$$R_{\text{myp}} = R_{\text{диф}} \frac{\operatorname{tg} \Psi_{\text{диф}}}{\operatorname{tg} \Psi_{\text{myp}}}. \quad (22)$$

Данная формула означает, что турбулентное разрешение идеальной оптической системы (объектива телескопа) может быть равно дифракционному лишь при $\Psi_{\text{тип}} = \Psi_{\text{диф}}$, а при $\Psi_{\text{тип}} > \Psi_{\text{диф}}$ оно падает пропорционально отношению $\frac{\operatorname{tg} \Psi_{\text{диф}}}{\operatorname{tg} \Psi_{\text{myp}}}$ тем больше, чем больше турбулентция атмосферы.

Преобразование исходных расчетных формул (3) и (4) для работы в условиях турбулентной атмосферы осуществим, исходя из двух условий.

– Первое: количество световой энергии в изображении идеальной дифракционной точки и размытой за счет турбулентности одинаково. Поэтому можно записать

$$E_{\text{диф}} \cdot \bar{S}_{\text{диф}} = E_{\text{myp}} \bar{S}_{\text{myp}}. \quad (23)$$

Или с учетом геометрических соотношений из рис. 1:

$$E_{\text{диф}} \cdot \pi f^2 \operatorname{tg}^2 \Psi_{\text{диф}} = E_{\text{мип}} \cdot \pi f^2 \operatorname{tg}^2 \Psi_{\text{мип}}. \quad (24)$$

Отсюда

$$E_{\text{мип}} = \frac{\operatorname{tg}^2 \Psi_{\text{диф}}}{\operatorname{tg}^2 \Psi_{\text{мип}}} E_{\text{диф}}. \quad (25)$$

В данном случае, как и в случае формулы (22), можно утверждать, что освещенность турбулентной точки будет меньше, чем дифракционной за исключением случая, когда $\Psi_{\text{туп}} = \Psi_{\text{диф}}$.

– Второе: контраст изображения светящейся точки на черном фоне изображения неба (темное поле) можно определить как

$$k_1 = \frac{E_{\max}}{E_{\phi}} = \frac{B_{\max}}{B_{\phi}}, \quad (26)$$

где E – освещенность точки,

E_{ϕ} – освещенность фона.

Соответственно для дифракционно и турбулентно ограниченных изображений точек будем иметь

$$k_{1\text{диф}} = \frac{E_{\max \text{диф}}}{E_{\phi}}, \quad k_{1\text{мип}} = \frac{E_{\max \text{мип}}}{E_{\phi}}.$$

Считая, что в обоих случаях освещенность фона одинакова, можно записать

$$\frac{k_{1\text{мип}}}{k_{1\text{диф}}} = \frac{E_{\max \text{мип}}}{E_{\max \text{диф}}}. \quad (27)$$

Подставляя в (27) формулу (25), получим

$$\frac{k_{1\text{мип}}}{k_{1\text{диф}}} = \frac{\operatorname{tg}^2 \Psi_{\text{диф}}}{\operatorname{tg}^2 \Psi_{\text{мип}}} \quad (28)$$

или

$$k_{1\text{мип}} = k_{1\text{диф}} \frac{\operatorname{tg}^2 \Psi_{\text{диф}}}{\operatorname{tg}^2 \Psi_{\text{мип}}}. \quad (29)$$

Отсюда число градаций яркости изображения, получаемого в условиях турбулентной атмосферы, определяется формулой

$$m_{m_{typ}} = \frac{2,3}{\delta} \lg k_{1\partial u\phi} \frac{\operatorname{tg}^2 \Psi_{\partial u\phi}}{\operatorname{tg}^2 \Psi_{m_{typ}}} . \quad (30)$$

При расчетах числа градаций яркости в формулу (30) необходимо подставлять вместо коэффициента $k_{1\partial u\phi}$ для визуального канала - k_{1B} , для регистрирующих каналов - k_{1P} или более конкретно, для фотографии - $k_{1\Phi}$ и для ТВ наблюдения - k_{1TV} .

Данная формула не предусматривает влияние корреляции между соседними точками изображения (если изображение не точечное) и предполагает, что их освещенность (или яркость) независима друг от друга.

На практике, если одна из точек имеет определенную освещенность, то соседние точки будут, как правило, иметь зависящую от нее освещенность. Последнее ограничивает возможное максимальное значение интервала освещенности, а, следовательно, и возможное количество уровней градаций m , которое могут принять точки в зарегистрированном изображении, что приведет к снижению информационной емкости этого изображения. В данной работе вопросы количественной оценки потери H и m за счет корреляции не рассматриваются, т.к. предлагаемая методика носит оценочный характер. Этот вопрос может быть рассмотрен отдельно.

Формулы для определения информационной емкости визуального (18) и регистрирующих каналов (20) в условиях турбулентности с учетом преобразований примут вид

$$H_{em_{typ}} = \pi \frac{\operatorname{tg}^2 W_e}{\operatorname{tg}^2 \Psi_{m_{typ}}} \log_2 (m_{m_{typ}} + 1) \quad (31)$$

$$H_{pm_{typ}} = \pi f^2 \operatorname{tg}^2 W_p \left(\frac{R_{m_{typ}} R_{pez}}{R_{m_{typ}} + R_{pez}} \right) \log_2 (m + 1). \quad (32)$$

В таблице 2 для наглядности представлена сводка расчетных формул информационной емкости, числа градаций яркости, контрастов и разрешений как для идеальных, так и турбулентных условий атмосферы.

Таблица 2. Сводка основных формул

Идеальные условия	Турбулентные условия
Визуальный канал	
$H_{\epsilon} = \pi \frac{\operatorname{tg}^2 W_{\epsilon}}{\operatorname{tg}^2 \Psi_{\text{диф}}} \log_2 (m + 1)$ $m = \frac{2,3}{\delta} \lg k_{1\epsilon}$ $\operatorname{tg} W_{\epsilon} = \frac{\operatorname{tg} 50^\circ}{\Gamma}$ $\Gamma = \frac{3 \cdot 10^{-4} D}{1,22 \lambda}$	$H_{\text{втмп}} = \pi \frac{\operatorname{tg}^2 W_{\epsilon}}{\operatorname{tg}^2 \Psi_{\text{мп}}} \log_2 (m_{\text{мп}} + 1)$ $m_{\text{мп}} = \frac{2,3}{\delta} \lg \frac{\operatorname{tg}^2 \Psi_{\text{диф}}}{\operatorname{tg}^2 \Psi_{\text{мп}}} k_{1\epsilon}$
Фото, ТВ канал	
$H_p = \pi f^2 \operatorname{tg}^2 W_p \left(\frac{R_{\text{диф}} R_{\text{пеэ}}}{R_{\text{диф}} + R_{\text{пеэ}}} \right)^2 \log_2 (m + 1)$ $m = \frac{2,3}{\delta} \lg k_{1p}$ $\operatorname{tg} W_{\phi} \leq \frac{D_{\text{коп}}}{2f_i}$ $\operatorname{tg} W_{TB} \leq \frac{D_{TB}}{2f_i}$	$H_{\text{птмп}} = \pi f^2 \operatorname{tg}^2 W_p \left(\frac{R_{\text{мп}} R_{\text{пеэ}}}{R_{\text{мп}} + R_{\text{пеэ}}} \right) \log_2 (m + 1)$ $m_{\text{мп}} = \frac{2,3}{\delta} \lg \frac{\operatorname{tg}^2 \Psi_{\text{диф}}}{\operatorname{tg}^2 \Psi_{\text{мп}}} k_{1p}$ $R_{\text{мп}} = R_{\text{диф}} \frac{\operatorname{tg}^2 \Psi_{\text{диф}}}{\operatorname{tg}^2 \Psi_{\text{мп}}}$ $k_{\text{мп}} = k_{\text{диф}} \frac{\operatorname{tg}^2 \Psi_{\text{диф}}}{\operatorname{tg}^2 \Psi_{\text{мп}}}$

Из таблицы 2 наглядно видно, что все параметры $H_{\text{туп}}$, $m_{\text{туп}}$, $k_{\text{туп}}$ и $R_{\text{туп}}$ зависят от соотношения $\frac{\operatorname{tg} \Psi_{\text{диф}}}{\operatorname{tg} \Psi_{\text{мп}}}$. Поэтому качество атмосферы и возможность уменьшения ее влияния с помощью методов и средств адаптивной оптики позволит существенно повысить качество полученного изображения и, соответственно, информационную емкость телескопа.

На рис. 2 – 5 в соответствии с предложенными формулами представлены кривые R, k, m и H по результатам расчета.

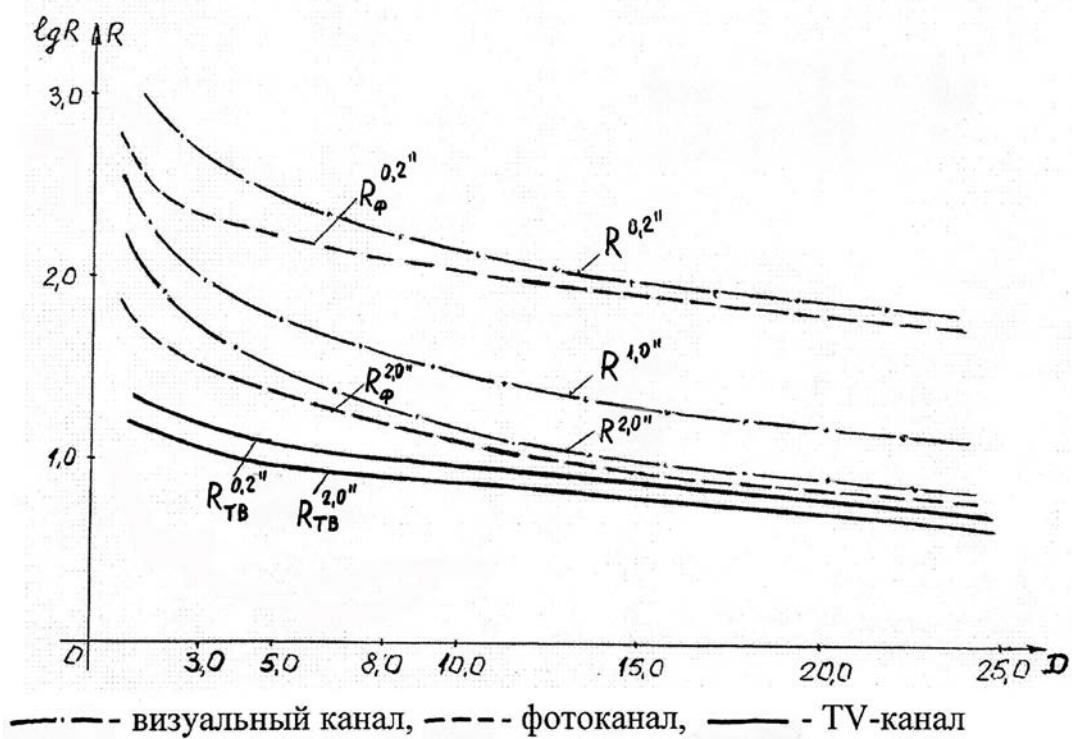


Рис. 2. Кривые зависимости разрешения телескопа R от диаметра главного зеркала D [м]

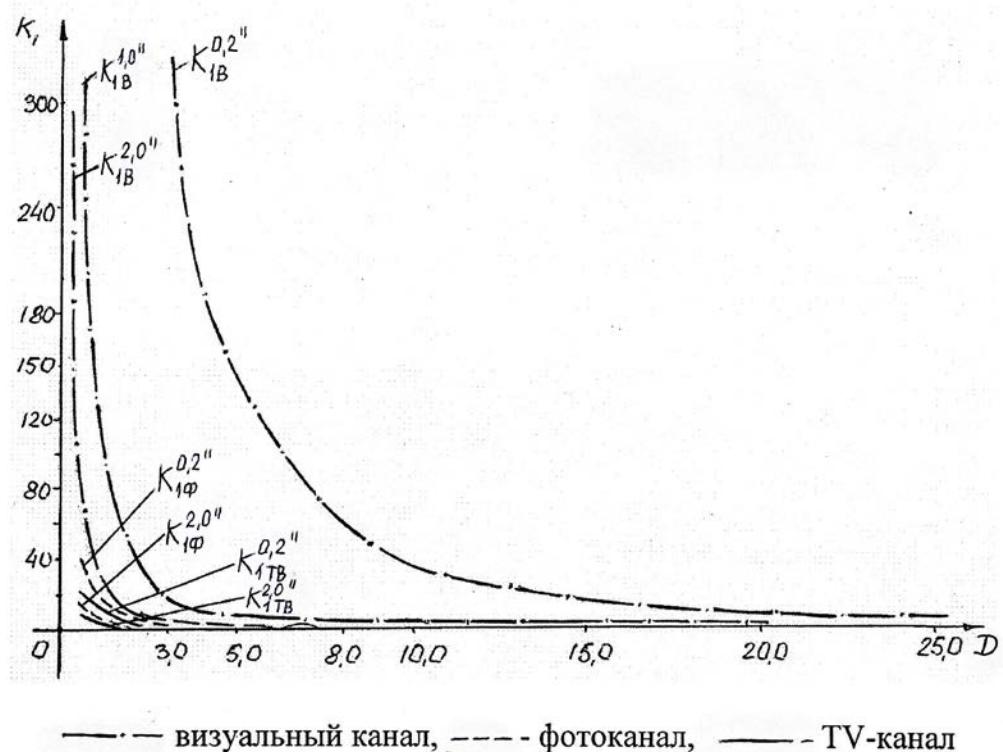


Рис. 3. Кривые зависимости максимального контраста изображения k_1 от диаметра главного зеркала D [м]

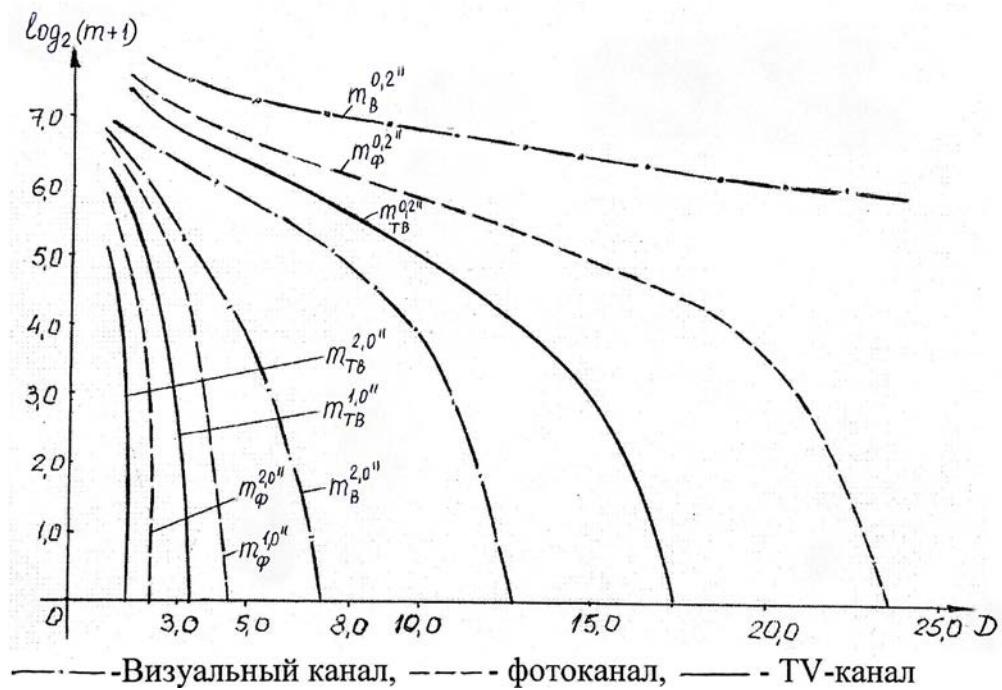


Рис. 4. Кривые зависимости числа градаций яркости m от диаметра главного зеркала D [м]

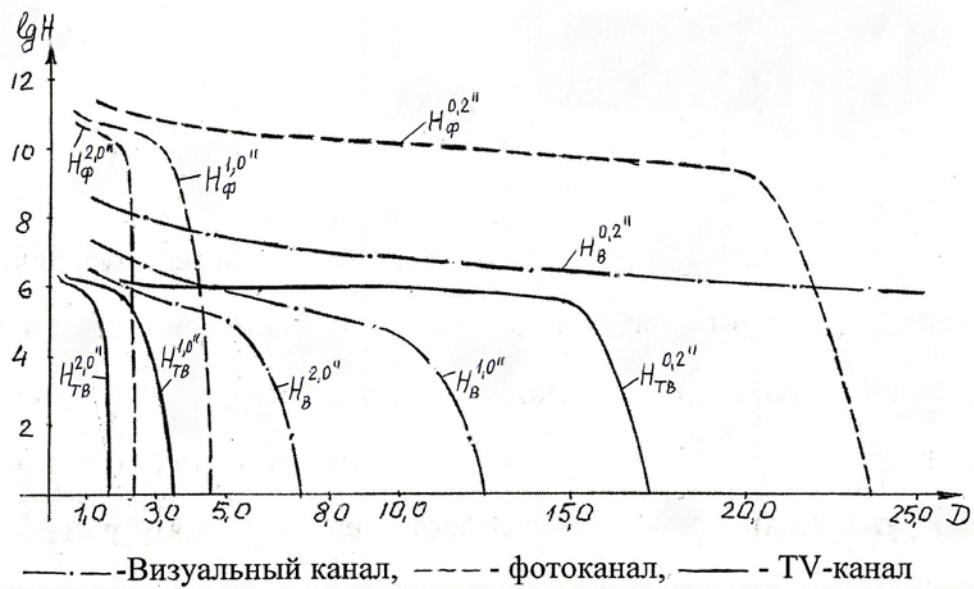


Рис. 5. Кривые зависимости информационной емкости H от диаметра главного зеркала D [м]

Анализ кривых на рисунках 2, 3, 4, 5 показывает, что понятие «информационная емкость», являясь комплексным параметром, определяемым произведением количества точек изображения (пикселей) на число градаций яркости, в идеальных условиях (дифракционное качество, отсутствие внешних

и внутренних ошибок) при заданном относительном отверстии есть величина постоянная для всех значений диаметров главного зеркала телескопа.

Наибольшей информационной емкостью обладает фотографический канал ($\sim 10^{10} \div 10^{11}$ бит), средней – визуальный ($\sim 10^8$ бит), наименьшей – телевизионный ($\sim 10^6$ бит), что объясняется особенностями параметров сравниваемых каналов. Так, визуальный канал, имея лучшее разрешение и большую контрастную чувствительность, практически на порядок проигрывает фотографическому в угловом поле в связи с тем, что размеры фотопленок обеспечивают практически полное заполнение поля изображения в фокусе главного зеркала или телескопа в целом. ТВ канал проигрывает по всем позициям (разрешению, угловому полю, контрастной чувствительности), но обладая другим преимуществом, не рассматриваемым в данной статье, позволяет осуществить электронную обработку сигналов.

Наличие турбулентности атмосферы в данном случае $0,2''$, $1''$ и $2''$ или других эквивалентных ошибок, ведущих к размытию изображений, приводит к падению информационной емкости тем большему, чем больше диаметр главного зеркала. При этом, чем больше ошибки и чем больше диаметр главного зеркала, тем быстрее падает информационная емкость. Поэтому с ростом диаметра главного зеркала существенно возрастает роль адаптивной коррекции искажений ВФ, а также средств минимизации искажений различной природы возникновения. Так для визуального канала она падает до нуля при диаметрах главного зеркала от ~ 40 м ($\Psi_{\text{тип}} = 0,2''$) до 7 м ($\Psi_{\text{тип}} = 2''$); для фотографического канала – при диаметрах от 23 м ($\Psi_{\text{тип}} = 0,2''$) до $2,5$ м ($\Psi_{\text{тип}} = 2''$); для ТВ канала от 17 м ($\Psi_{\text{тип}} = 0,2''$) до $2,5$ м ($\Psi_{\text{тип}} = 2''$).

Это объясняется логарифмическим характером восприятия глазом изображений в видимом диапазоне длин волн (3) и (4).

Отношение информационной емкости телескопа, работающего в условиях турбулентности или других ошибок, к информационной емкости телескопа, работающего в идеальных условиях, вполне может служить критерием эффективности телескопа по информационному признаку.

Заключение

Данная работа явилась одной из попыток создания нового метода определения информационной емкости, позволяющей оценить целесообразность создания и внедрения телескопов с большим диаметром главного зеркала до 30 м для регистрации изображений астрофизических объектов при заданных величинах искажающих факторов (турбулентность и другие ошибки), приводящих к размытию получаемых изображений и падению информационной емкости.

Предложенные аналитические выражения, базирующиеся на физиологических особенностях глаза, как конечного регистратора изображений, применимы лишь для видимого диапазона длин волн. Их доработка к ИК диапазону спектра потребует учета используемых приемников, их контрастных чувствительностей, значительных изменений в передаче контрастов ИК диапазона и может явиться содержанием дальнейших работ.

Если наши подходы и выкладки верны и учитывая, что телескопы, как правило, являются комплексными системами, содержащими, в том числе, визуальный, фотографический и ТВ каналы, можно предположить, что при наличии ошибок $>0,2''$, создавать телескоп наземного базирования с диаметром главного зеркала более 25 м для регистрации изображений чрезвычайно удаленных астрономических объектов нецелесообразно. Это еще раз подтверждает аналогичный вывод, сделанный автором в марте 2000 года [25] с точки зрения бюджета ошибок. Поэтому созданию телескопов с диаметрами от 30 до 100 м должно предшествовать проведение работ по поиску путей существенного повышения качества получаемых изображений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gordon Walker. Astronomical Observations an Optical Perspective. Cambridge University press, 1987, p. 17.
2. Михельсон Н.Н. Оптические телескопы. Теория и конструкция / Н.Н. Михельсон. – М.: Наука, 1976.- 84 с.
3. Стешенко Н.В., Сычев В.В. Адаптивные оптические системы в крупногабаритном

телескопостроении // Итоги науки и техники: сб. науч. тр. – ВИНИТИ, Москва, 1990. – С. 107 – 167.

4. Карапетян Б.О. Информационные критерии оценки эффективности астрофизических наблюдений / Б.О. Карапетян, В.С. Осканян // ДАН АрССР, LXVII, - 1978 – С. 302 – 307.
5. Гребенников О.Ф. Основы записи и воспроизведения изображения / О.Ф.Гребенников - М.: Искусство, 1982. – 39 с.
6. Голдовский Е.М. Введение в кинотехнику / Е.М. Голдовский - М.: Искусство, 1968. – 64 с.
7. Гуревич С.Б. Эффективность и чувствительность ТВ систем / С.Б. Гуревич – М.: Энергия, 1964. – 118 с.
8. Никонов В.Б. Телевизионная астрономия / В.Б. Никонов - М.: Наука, 1974. – 124 с.
9. Выходец А.В. Телевизионная передача кинофильмов / А.В. Выходец - М.: Связь, 1975. – 89 с.
10. Гонт Л. Экспозиция в фотографии / Л. Гонт - М.: Мир, 1984. – 113 с.
11. Волентюк А.Н Оптическое изображение при дистанционном наблюдении / А.Н. Волентюк, Н.Г.Предко // Минск.: Наука и техника, 1991. – 69 с.
12. Михайлов А.А. Курс астрофизики и звездной астрономии / А.А. Михайлов - М.: Наука, 1973. – 94 с.
13. Шмаков П.В. Телевидение / П.В. Шмаков - М.: Связь, 1976. – 19 с.
14. Лебедев Д.С. Телевидение и теория информации / Д.С Лебедев, И.И. Цуккерман // М.: Энергия, 1965. – 116 с.
15. Зубарев Ю.Б. Передача изображения / Ю.В Зубарев, Г.Л. Глариозов // М.: Радиосвязь, 1982. – С. 54 – 57.
16. Соул Х. Электронно-оптическое фотографирование / Х. Соул - М.: Военное издательство МО, 1972. – 404 с.
17. Карасик В.Е. Лазерные системы видения / В.Е. Карасик, В.М. Орлов М. // МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 27 с.
18. Роуз А. Зрение человека и электронное зрение / А. Роуз - М.: Мир, 1977. – 33 с.
19. Хилтнер В.А. Методы астрономии / В.А. Хилтнер - М.: Мир, 1967. – 19 с.
- 20.Фризер Х. Фотографическая регистрация информации / Х. Фризер - М.: Мир, 1978. – 670 с.
21. Красковский Р.А. Успехи научной фотографии / Р.А. Красковский – М : Наука, 1964. – 111 с.
22. Вержбицкая Г.М., Прокофьева В.В. Оценка эффективности астрономических ТВ

систем // «Новая техника в астрономии», сб. науч. тр. - Л.: Наука, 1984. – С. 113-118.

23. Шеннон Р. Проектирование оптических систем / Э. Бетенски, Р. Хопкинс, Р. Шеннон и др.; под ред. Р. Шеннона, Дж. Вайанта; пер. с англ. под ред. И. В. Пейсахсона.- М.: Мир,1983.- 430 с.

24. Максутов Д.Д. Астрономическая оптика / Д.Д. Максутов - Л.: Наука, 1979. – 118 с.

25. Sychev V.V., Belkin N.D., Deulin E.A. The problems of the 25-m class supertelescope designing, Proc. SPIE, vol.4004, pp.330-339, 2000.

Method for determination picture information capacity in large-sized telescopes.

77-30569/413768

04, April 2012

Sychev V.V.

Russia, Bauman Moscow State Technical University

viktorsychev@list.ru

The author proposes a method for determination picture information capacity of visual, photographic and TV - images in telescopes, considering the influence of different distorting factors (physical, technological, instrument). The example of atmospheric turbulence shows that the presence of distorting factors (or one factor) results in considerable reduction in image contrast and, as a result, in low resolution, decrease in brightness gradations and drop in picture information capacity. It's possible to determine picture information capacity of a telescope when diameter values of the telescope's primary mirror (variable value) and angular dimensions of the real image of object (constant value) are known. Calculations show that increase in the diameter of the primary mirror with a given angular value of the image's circle of smearing results in reduction in picture information capacity in real-time testing. Therefore with the study of the problem on creation of telescopes with an increased diameter of the primary mirror it is necessary to simultaneously improve image quality of both due to minimization of influence of distorting factors of the telescope itself and by means of adaptive correction of this influence. The proposed method allows to determine maximum permissible dimensions of the telescope's primary mirror and, correspondingly, possible price of the entire work on creation and installation of a telescope. It's only possible when a specific value of storage capacity and angular dimensions of the image of point are known. The method is applicable for both classical and adaptive telescopes.

Publications with keywords: [large-dimension telescopes](#), [the storage capacity of image](#), [adaptive optical systems](#)

Publications with words: [large-dimension telescopes](#), [the storage capacity of image](#), [adaptive optical systems](#)

References

- 1.Gordon Walker. *Astronomical Observations an Optical Perspective*. Cambridge Universitypress, 1987, 17 p.

2. Mikhelson N.N. *Opticheskie teleskopy. Teoriia i konstruktsii* [Optical telescopes. Theory and design]. Moscow, Nauka, 1976. 84 p.
3. Steshenko N.V., Sychev V.V. *Adaptivnye opticheskie sistemy v krupnogabaritnom teleskopostroenii* [Adaptive optical systems in large-sized telescope construction]. *Itogi nauki i tekhniki: sb. nauch. tr.* [The results of science and technology: collection of scientific papers]. Moscow, VINITI, 1990, pp. 107 – 167.
4. Karapetian B.O. *Informatsionnye kriterii otsenki effektivnosti astrofizicheskikh nabliudenii* [Information criteria for evaluating the effectiveness of astrophysical observations]. *Doklady Akademii Nauk ArSSR* [Reports Of Academy Of Sciences of ArSSR], 1978, vol. 68, pp. 302 – 307.
5. Grebennikov O.F. *Osnovy zapisi i vosproizvedeniia izobrazhenii* [Basic recording and image playback]. Moscow, Iskusstvo, 1982. 39 p.
6. Goldovskii E.M. *Vvedenie v kinotekhniku* [Introduction to cinetechnics]. Moscow, Iskusstvo, 1968. 64 p.
7. Gurevich S.B. *Effektivnost' i chuvstvitel'nost' TV sistem* [The effectiveness and sensitivity of TV systems]. Moscow, Energiia, 1964. 118 p.
8. Nikonov V.B. *Televizionnaia astronomiia* [Television astronomy]. Moscow, Nauka, 1974. 124 p.
9. Vakhodets A.V. *Televizionnaia peredacha kinofil'mov* [TV transmission of films]. Moscow, Sviaz', 1975. 89 p.
10. Gaunt L. *Practical exposure in photography*. First Edition. UK, Focal, 1981, 192 p. (Russ. ed.: Gont L. *Ekspozitsii v fotografii*. Moscow, Mir, 1984. 113 p.).
11. Volentiuk A.N., Predko N.G. *Opticheskoe izobrazhenie pri distantsionnom nabliudenii* [An optical image of the remote observation]. Minsk, Nauka i tekhnika, 1991. 69 p.
12. Mikhailov A.A. *Kurs astrofiziki i zvezdnoi astronomii* [Course of astrophysics and stellar astronomy]. Moscow, Nauka, 1973. 94 p.
13. Shmakov P.V. *Televidenie* [Television]. Moscow, Sviaz', 1976. 19 p.
14. Lebedev D.S., Tsukerman I.I. *Televidenie i teoriia informatsii* [Television and information theory]. Moscow, Energiia, 1965. 116 p.
15. Zubarev Yu.B., Glariozov G.L. *Peredacha izobrazhenii* [Image transfer]. Moscow, Radiosviaz', 1982. 224 p.
16. Soule H.V. *Electro-optical photography at low illumination levels*. New York, John Wiley & Sons, 1967. 392 p. (Russ. ed.: Soul Kh. *Elektronno-opticheskoe fotografirovanie*. Moscow. Voennoe izdatel'stvo. 1972. 404 p.).
17. Karasik V.E., Orlov V.M. *Lazernye sistemy videniia* [Laser vision system]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2001. 27 p.
18. Rose A. *Vision: human and electronic*. New York, Plenum Press. 1973. 197 p. (Russ. ed.: Rouz A. *Zrenie cheloveka i elektronnoe zrenie*. Moscow, Mir, 1977. 216 p.).
19. Hiltner W.A. *Astronomical techniques*. University of Chicago Press, 1962. 635 p. (Russ ed.: Khiltner V.A. *Metody astronomii*. Moscow, Mir, 1967. 19 p.).

20. Frizer Kh. *Fotograficheskaiia registratsiia informatsii* [Photographic recording of information]. Moscow, Mir, 1978. 670 p.
21. Kraskovskii R.A. *Uspekhi nauchnoi fotografii* [The successes of scientific photography]. Moscow, Nauka, 1964. 111 p.
22. Verzhbitskaia G.M., Prokof'eva V.V. Otsenka effektivnosti astronomiceskikh TV sistem [Evaluating the effectiveness of astronomical television system]. *Novaia tekhnika v astronomii: sb. nauch. tr.* [A new technique in astronomy: collection of scientific papers]. Leningrad, Nauka, 1984. pp. 113-118.
23. Betenski E., Khopkins R., Shannon R., et al. *Proektirovanie opticheskikh sistem* [Design of optical systems]. Moscow, Mir, 1983. 430 p.
24. Maksutov D.D. *Astronomicheskaiia optika* [Astronomical optics]. Leningrad, Nauka, 1979. 118 p.
25. Sychev V.V., Belkin N.D., Deulin E.A. The problems of the 25-m class supertelescope designing. *Proc. SPIE*, 2000, vol. 4004, pp. 330-339.