ОБОЗРЕНИЕ
ПРИКЛАДНОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ
Том 19 МАТЕМАТИКИ Выпуск 3
2012

П. А. Б а к у т, Е. А. Г р и ш и н, Ю. П. Ш у м и л о в (Москва, ОАО НПК «СПП»). **Анализ качества пространственно-временной дискретной разгрузки зеркала телескопа большого диаметра при наблюдении удаленных космических объектов.**

При эксплуатации телескопов большого диаметра, следящих, в том числе, и за низкоорбитальными космическими объектами (КО), возникает и решается проблема статической и динамической гравитационной разгрузки зеркала телескопа. Ставится и решается задача оценки искажений изображений удаленных КО, которые обусловлены неточностью разгрузки по апертуре телескопа, и их анализа. Это необходимо для формулировки требований к точности разгрузки, с одной стороны, и оценки возможности эффективной алгоритмической и технической компенсации этих искажений, включая адаптацию, с другой.

Положим, что актюаторы, выполняющие роль компенсаторов нагрузки, расположены равномерно по апертуре. Воспользуемся выражением для отнормированного распределения интенсивности в дифракционном пятне в плоскости регистрации при воздействии актюаторов при случайных угловых и продольных смещениях, которые моделируют неточность компенсации гравитационных нагрузок:

$$h(\overline{p}) = \left| \sum_{k=1}^{N} \int_{A_k} \exp\left\{ ik/(L(\overline{r}\overline{p})) + i\varphi_k(\overline{r}) \right\} d^2\overline{r} \right|^2,$$

где A – площадь апертуры главного зеркала, $i=\sqrt{-1}$, $k=2\pi/\lambda$, λ – длина волны, $\overline{r}$ — радиус-вектор в плоскости апертуры, $\overline{p}$ — радиус-вектор в плоскости изображения, L — расстояние от плоскости апертуры до плоскости изображения. Модель распределения интенсивности в фокальной плоскости при воздействии актюаторов представим в виде результирующего распределения от N эквивалентных апертур, равных количеству актюаторов, A_k — площадь k-й апертуры, $\varphi_k(\overline{r}) = k\delta_k + k\overline{\alpha}_k(\overline{r}-\overline{r}_k)$ есть случайная функция, δ_k – продольное смещение, $\overline{\alpha}_k$ — угловое смещение, $\overline{r}_k$ — радиус-вектор центра k-й апертуры. Среднее значение $\langle h(\overline{p})\rangle$ и дисперсию $\sigma^2_{h(\overline{p})}$ можно аналитически вычислить, лишь ограничив разложение $e^{i\varphi_k(\overline{r})}$ двумя членами. Полагая $\varphi(\overline{p})$ гауссовской с нулевым средним и проводя усреднение отдельно по δ и α, получим

$$\begin{aligned}\langle h(\overline{p})\rangle \;=\; & 4A^2[J_1(x)/x]^2(1-(k\sigma_\delta)^2) + (k\sigma_\delta)^2\, N\, 4A_k^2[J_1(y)/y]^2 + (\sigma_\alpha L)^2 8A^2[J_1(x)/x] \\ & \times\left[(kR/L)(1/p)\,J_3(x) - (1/p^2)J_2(x)\right] + (\sigma_\alpha L)^2 N[2\pi R_k^2(1/p)J_2(y)]^2,\end{aligned}$$

где J_i — Бесселевы функции первого рода и соответствующего $(i=1,2,3)$ порядка, $x = kRp/L$, $y = kR_kp/L$. Вычисления по этой формуле показывают, что определяющее влияние на расплывание и смещение пятна оказывает σ_α, причем ввиду асимметрии разгрузки пятно также расплывется асимметрично. Для оценки искажений во всем их диапазоне на основе модели была создана программа, позволяющая анализировать случайное распределение интенсивности в зависимости от σ_α и σ_δ. Были сгенерированы случайные выборки величин α и δ, распределенных по гауссову закону, и построены изображения точечных КО при различных σ_α и σ_δ, $D = 3,12$ м, $L = 78$ м, $\lambda = 0,55 \cdot 10^{-6}$ м, $N = 86$. Результаты: если увеличивать с нулевого значения дисперсию σ_δ, то до 10^{-8} различий между искаженным и неискаженным изображениями не наблюдается, далее до 10^{-7} появляется совсем незначительное отличие искаженного изображения от идеального; если увеличивать дисперсию σ_α от 10^{-8} рад до $6 \cdot 10^{-8}$ рад, то высота пика средней интенсивности уменьшается в три раза и изображение смещается из-за естественной асимметрии разгрузки, и в конце концов, при $\sigma_\alpha = 10^{-6}$ рад пик исчезает — *изображение размывается*. При моделировании было отмечено появление (при $N = 5$) и исчезновение (при $N = 18$) пятенной структуры изображения, которая была предсказана в работе [1].

Важным результатом этого этапа исследований является вывод об усредняющем технологическом факторе, который при его достаточно значительной статистике можно оценить но искажения, вносимые им, не поддаются компенсации. Этот фактор необходимо учитывать при определении порога обнаружения в высокоточных системах обнаружения. Важным результатом является также и определение количества статистических испытаний, при которых достигается результат минимального отношения $\sigma/\langle h \rangle$. Практически он означает определение времени, за которое в рамках σ_α, σ_δ скажется усредняющий фактор уже качественного характера — температурные изменения, быстровозникающие эффекты и т. д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shumilov Y. P.*, *Bakut P. A.*, , *Grishina I. A.*, *Sychev V. V.* Estimation of the telescope image quality with segmented primary mirror. — In: Proceedings of SPIE's International Symposium on Astronomical Telescope and Instrumentation Munich, Germany, March 2000, v. 4003, p. 262–269.