

В. Д. Смирнов, И. Д. Егельский, А. Е. Бендюговский

## **ФОТОРЕГИСТРИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ КОСМИЧЕСКОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ**

Рассматриваются структура и особенности фоторегистрирующего комплекса, предназначенного для обслуживания метеорологической аппаратуры третьего поколения. Проведен теоретический анализ условий достижения возможных величин предельного разрешения и энергетической эффективности фоторегистрирующих устройств.

*Ключевые слова:* фоторегистрирующие устройства, чувствительность, контраст, поле зрения, оптическая система.

Появление космических метеорологических средств наблюдения поставило перед отечественной промышленностью ряд проблемных задач по созданию фоторегистрирующей аппаратуры. В частности, к таким задачам можно отнести разработку

- высокоразрешающей аппаратуры наблюдения;
- средств передачи информации на большие расстояния;
- высокоразрешающей аппаратуры для воспроизведения полученной информации.

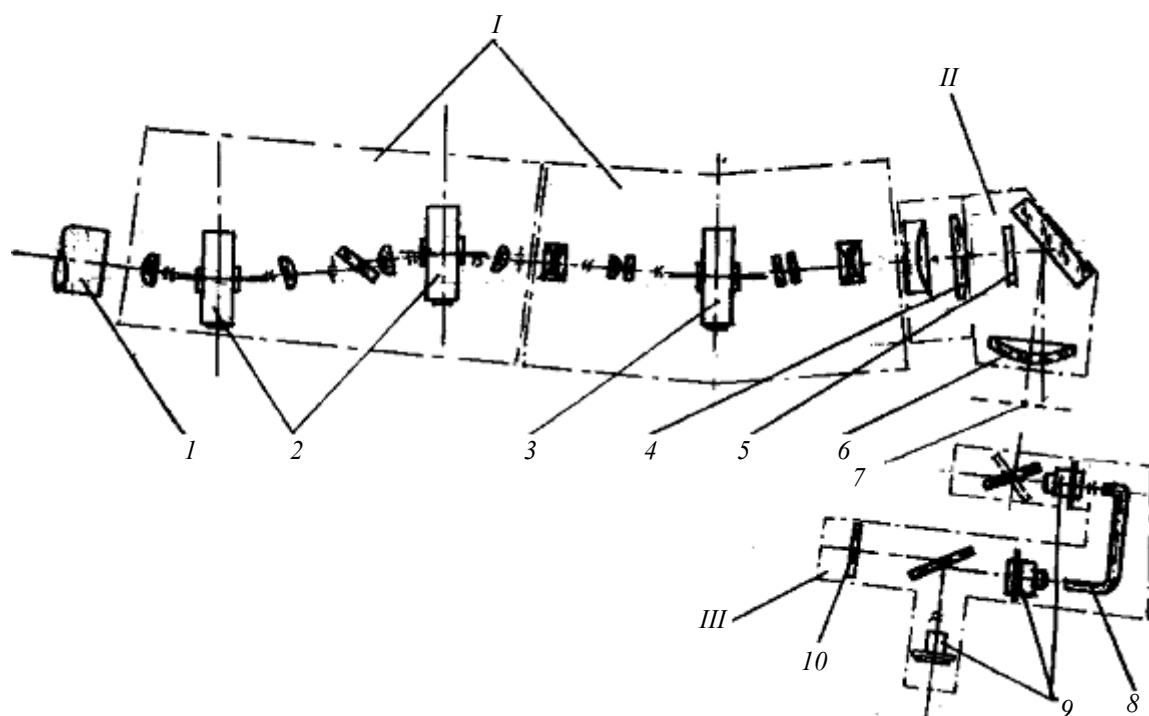
Последний из указанных видов технических средств (вариант такой аппаратуры был использован в бортовом фототелевизионном комплексе „Луна-3“ [1], разработанном в НИИ телевидения, Санкт-Петербург, и успешно осуществившем фотографирование обратной стороны Луны) в настоящее время выделился в отдельный класс прецизионных приборов. Теория и принципы работы этих приборов довольно сложны и в силу их специфики недостаточно освещены в технической литературе.

Первые комплексы устройств для воспроизведения получаемой информации (в частности, фоторегистрирующая аппаратура „Метеор“, разработанная в НИИ телевидения) включали в качестве обязательного элемента прецизионные электронно-лучевые трубки с „бегущим“

лучом [1—3]. Возрастающие требования к увеличению разрешающей способности системы, а также увеличению размеров поля зрения послужили основанием для создания более универсальной аппаратуры — аппаратуры третьего поколения. Разработка такой аппаратуры стала возможной только с появлением соответствующей лазерной техники (лазеров, лазерных диодов, лавинных фотодиодов), новых оптико-электронных блоков управления потоком излучения (акустооптических модуляторов, акустооптических дефлекторов и др.) и прецизионных высоко разрешающих оптических систем.

Одним из наиболее современных типов аппаратуры третьего поколения является оригинальный фоторегистрирующий комплекс высокого разрешения, предназначенный для воспроизведения информации космической метеорологической аппаратуры. Комплекс разработан в НИИ телевидения по единому проекту с Японией, США и Францией (аппаратура „Метеорит — Планета“: А. с. 1614122 СССР. Оптико-электронное устройство для воспроизведения информации; приоритет от 05.07.88 г.).

Основные отличия разработанной аппаратуры от аппаратуры первого и второго поколений определяются из структурной принципиальной схемы комплекса, представленной на рисунке, где использованы следующие обозначения: *I* — оптико-электронные блоки управления потоком лазерного излучения; *II* — оптическая система Петцваля с плоским полем и сканирующим зеркалом; *III* — контрольный блок фокусировки лазерного излучения; 1 — лазер; 2 — акустооптические модуляторы; 3 — акустооптический дефлектор; 4 — расширитель лазерного пучка; 5 — пространственный фильтр, согласованный со спектром воспроизводимого мало контрастного объекта; 6 — объектив плоского поля Петцваля; 7 — кадровое окно; 8 — волоконный жгут; 9 — микрообъективы; 10 — матричный ПЗС.



В блоке *I* (заменяющем трубку „бегущий луч“) использован лазер с оптоэлектронными узлами управления потоком излучения (акустооптическими модулятором и дефлектором). В блоке *II* определяющими узлами являются прецизионная оптическая система дифракционного качества, основой которой служит оригинальный объектив плоского поля, рассчитанный на основе условия Петцваля, и прецизионный блок зеркального сканера, фокусирующий (модулированный видеосигналом) поток в любую точку кадрового окна фоторегистрирующего

комплекса. Блок III осуществляет контроль и автоматическую фокусировку оптической системы на чувствительную поверхность накопителя информации.

Разрешающая способность и энергетическая эффективность разработанного варианта аппаратуры зависит от блоков I и II.

В состав блока I, помимо лазера и оптоэлектронных блоков управления потоком излучения, необходимо включить также расширитель лазерного пучка и все промежуточные оптические элементы. Прецизионная оптическая система (система плоского поля Петцваля) воспринимает монохроматическое излучение первого (лазерного) блока и проецирует это излучение в виде безаберрационной точки на чувствительные поверхности накопителя информации и многоэлементного приемника излучения.

Первый блок должен обеспечивать на выходе монохроматическое излучение лазерного пучка с высокой степенью коллимированности, определяемой из условия:

$$\Delta\alpha = \operatorname{arctg}(d_{\text{эл}}/f'), \quad (1)$$

где  $d_{\text{эл}}$  — диаметр чувствительного элемента матричного ПЗС (либо чувствительного элемента накопителя), мм;  $f'$  — фокусное расстояние оптической системы Петцваля, мм.

Условие, определяемое выражением (1), может быть реализовано только при выполнении следующих жестких требований:

— тщательной фильтрации лазерного излучения в плоскости его фокусирования (т.е. после прохождения излучения через первую линзу расширителя лазерного пучка);

— обеспечении большого увеличения на достаточно сложном оптическом блоке — расширителе лазерного пучка;

— тщательной сборке и юстировке каждого узла и оптического элемента первого блока.

При выполнении этих условий предельное (безаберрационное) разрешение ( $N$ ) всей системы в целом может достигнуть величины, определяемой только дифракционными явлениями на входном зрачке системы Петцваля:

$$N = 1/d_{\text{кр}} = \{2,44 \lambda(f'/D)\}^{-1},$$

где  $d_{\text{кр}} = 2,44 \lambda(f'/D)$  — диаметр дифракционного кружка рассеяния оптической системы, мм;  $D$  — диаметр входного зрачка системы Петцваля, мм.

Энергетическая эффективность аппаратуры находится также в прямой зависимости от эффективности работы блоков I и II. В частности, поскольку основной блок (оптическая система Петцваля) работает в телескопическом ходе лучей, к нему применима теория энергетической эффективности телевизионной аппаратуры, работающей по „бесконечно удаленному“ малоразмерному объекту [4]. Известно [4, 5], что для телескопических систем энергетическая эффективность оптической системы определяется ее коэффициентом усиления

$$K_y = \tau(D^2/d_{\text{кр}}^2), \quad (2)$$

где  $\tau$  — общий коэффициент пропускания оптической системы.

Анализ выражения (2) позволяет сделать предположение о возможности увеличения энергетической эффективности аппаратуры за счет уменьшения кружка рассеяния или увеличения входного зрачка системы. Действительно, учитывая, что для оптических систем дифракционного качества  $d_{\text{кр}} = 2,44 \lambda(f'/D)$ , необходимо равенство (2) преобразовать к виду

$$K_y = \tau[D^4/(2,44 \lambda f')^2]. \quad (3)$$

Из формулы (3) следует, что коэффициент усиления оптических систем дифракционного качества зависит от диаметра входного зрачка оптической системы Петцваля. Естественно, что увеличение входного зрачка системы возможно только при реализации большого оптического увеличения во входной оптической системе расширителя лазерного пучка в первом

блоке комплекса. При увеличении (в большую сторону) расширителя лазерного пучка резко возрастают aberrации последнего и в результате нарушается исходное условие (1).

Следовательно, энергетическая эффективность разработанной аппаратуры (как и ее разрешение) зависит от диаметра входного зрачка системы Петцваля при обязательном условии выполнения необходимых реальных увеличений на узле расширителя лазерного пучка, входящем в первый блок комплекса аппаратуры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Цыцулин А. К.* Телевидение и космос. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ „ЛЭТИ“, 2003.
2. *Бабенко В. С.* Оптика телевизионных устройств. М.: Энергия, 1964.
3. *Брацлавец П. Ф.* и др. Космическое телевидение. М.: Связь, 1973.
4. *Смирнов В. Д.* Оптические и оптико-электронные системы космического технического зрения для беспилотных летательных аппаратов. СПб.: Изд-во Петербург. ин-та печати, 2006.
5. *Смирнов В. Д.* Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника в полиграфии. СПб.: Изд-во Петербург. ин-та печати, 2000.

#### *Сведения об авторах*

*Всеволод Дмитриевич Смирнов*

— д-р техн. наук, профессор; НИИ телевидения, Санкт-Петербург;  
E-mail: niit@infos.ru

*Иван Денисович Егельский*

— НИИ телевидения, Санкт-Петербург; инженер

*Александр Евгеньевич Бендюговский*

— канд. техн. наук; НИИ телевидения, Санкт-Петербург

Рекомендована Институтом

Поступила в редакцию  
12.03.08 г.