

СОВЕТ "ИНТЕРКОСМОС" ПРИ АН СССР
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ АН СССР
ОДЕССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ МВ И ССО УССР

НАУЧНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

ВЫПУСК 2

Оптико-электронные приборы



МОСКВА
«МЕТАЛЛУРГИЯ»
1983

7. Meier R. R., Mänge P. — Planet. Space Sci., 1970, v. 18, p. 803.
8. Weller C. S. — SPIE, 1981, v. 272, p. 216.
9. Oshio T., Masuoka T., Watanabe N. — Journ. Geomag. Geoelectr., 1975, v. 27, p. 279.
10. Meier R. R., Prfnz D. K. — Journ. Geoph. Res., 1971, v. 76, p. 4608.
11. Anderson D. N. — Journ. Geoph. Res., 1972, v. 77, p. 4782.
12. Carruthers G. R., Page T. — Science, 1972, v. 177, p. 788.

УДК 528.711.7 : 629.78

Н. П. Петков, Ц. Н. Гогошева, М. М. Гогошев,
А. К. Кузьмин, В. Н. Ангаров

ФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ СКАНИРУЮЩАЯ СИСТЕМА ЭМО-5 НА БОРТУ ИСЗ "ИК-БОЛГАРИЯ-1300"

Исследования оптических эмиссий верхней атмосферы Земли связаны как с изучением элементарных процессов в низкотемпературной плазме (столкновений, диссоциации, ионизации, рекомбинации, возбуждения, дезактивации и т.д.), так и с изучением глобального свечения верхних слоев атмосферы — регистрацией отдельных дискретных форм полярных сияний и динамичной авроральной картины в целом, которая непосредственно обусловлена процессами, происходящими далеко за пределами ионосферы — в магнитосфере Земли. Высыпания частиц и продольные токи в авроральных областях; разогрев верхней атмосферы ионно-циклотронными волнами абзизи плазмопаузы; возникновение гравитационных волн в средних широтах; процессы, связанные с динамикой нейтральных ветров и электрического дрейфа ионосферной плазмы в районе геомагнитного экватора и т.д., проявляют себя в свечении верхней атмосферы и могут регистрироваться путем измерений интенсивности ряда атомных, ионных, молекулярных оптических эмиссий в широком диапазоне длин волн [1–3].

Успешные фотометрические наблюдения проводились на борту ряда спутников: OGO-2 [4, 5], OGO-4 [6, 7], OGO-6 [8], OVI-10 [9], AE-C [10], ISIS-II [11, 12], "Космос-215" [13], "Космос-224" [14], ESROIA (AURORAE) [15], серии DMSP [16, 17], TAIYO [18], "Интеркосмос-19" [19], "Салют-4" [20], "Салют-6" [22], — а с 1981 г. проводятся по научным программам спутников: Dynamic Explorer A, B [22], "Ореол-3" [23], "ИК-Болгария-1300" ("ИК-Б-1300"). Последний был запущен 7.08.1981 г. на близкую к круговой полярную орбиту высотой 850 км и имеет постоянную трехосную ориентацию с точностью $1,5^\circ$ по каждой оси.

Сканирующая фотометрическая система ЭМО-5 на борту ИСЗ ИК-Б-1300 предназначена для измерения на неосвещенных участках орбиты интенсивности ряда эмиссий, излучаемых компонентами верхней атмосферы в видимой области.

Измерения направлены на решение следующих научных задач: комплексное исследование явлений в ионосфере и магнитосфере вместе с другими приборами, измеряющими потоки электронов и ионов с энергиями > 500 эВ, переменное и постоянное магнитные поля, электрическое поле, а также характеристики (концентрация, температура) околоспутниковой плазмы n_e , I_e и т.д.; регистрация структуры и динамики аврорального овала, регистрация дуг в авроральной зоне и полярной шапке [24]; регистрация тропических (экваториальных) дуг в целях исследования процессов в экваториальной аномалии; регистрация SAR дуг и водородных дуг вблизи плазмопаузы; изучение глобального распределения ночного "airglow" и связанных с ним аэрономических процессов в F-области ионосферы.

Фотометрическая система ЭМО-5 состоит из двух фотометрических каналов: счет фотонов $СФ$ и сканирование сияний $СС$. В первом канале $СФ$ за время 1,5 с и с частотой 1 раз в 16 с в подспутниковой области ионосферы измеряется интенсивность следующих эмиссий:

$\lambda 6300-6364 \text{ \AA} [O I]$ — красный дублет атомарного кислорода; эта эмиссия измеряется двухфильтровым методом с максимумами пропускания фильтров: $\lambda 6304 \text{ \AA}$ и $\lambda 6345 \text{ \AA}$;

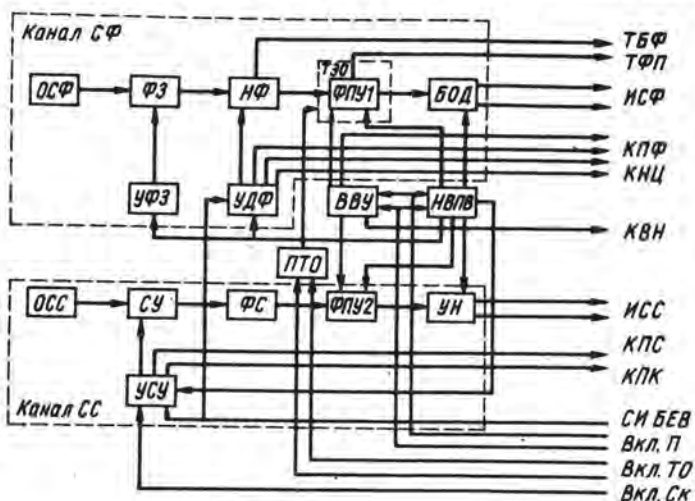
$\lambda 5577 \text{ \AA} [O I]$ — зеленая эмиссия атомарного кислорода;

$\lambda 4861 \text{ \AA} (H\beta)$ — линия бальмеровской серии водорода;

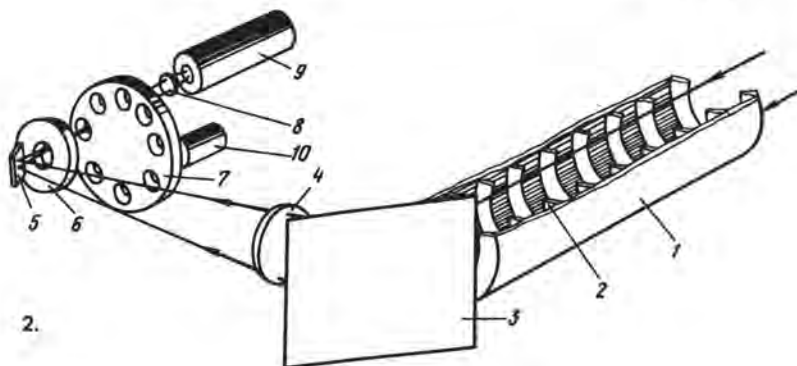
$\lambda 4278 \text{ \AA} (N_2^+)$ — молекулярная линия 1-й положительной системы азота;

$\lambda 7319 \div 7330 \text{ \AA} [O II]$ — дублет ионизованного кислорода.

Во втором канале ($СС$) регистрируется пространственное распределе-



1.



2.

Рис. 1. Функциональная блок-схема фотометрической системы ЭМО-5

Рис. 2. Оптическая схема канала $СФ$

ние свечения эмиссии $\lambda 6300 \text{ \AA}$ в полосе $\pm 160 \text{ км}$ поперек проекции орбиты на ионосферные высоты.

Функциональная блок-схема системы показана на рис. 1. В состав канала $C\Phi$ входят: оптическая схема $ОС\Phi$; фотозатвор $\Phi З$, управляемый схемой защиты $У\Phi З$; набор интерференционных светофильтров $Н\Phi$, перемещающийся циклически с помощью дискретного привода с управлением $УД\Phi$; узел фотоумножителя-предусилителя $\Phi ПУ-1$ с термоэлектрическим охладителем $ТЭО$; блок предварительной обработки данных $БОД$; источник питания термоохладителя $ПТО$; высоковольтный источник питания фотоумножителя $ВВУ$. В состав канала $С\Phi$ входят: оптическая схема $ОСС$; сканирующее плоское зеркало $СУ$, приводящееся в движение дискретным приводом (сканер) с управлением $УСУ$; интерференционный светофильтр $\Phi С$; узел фотоумножителя с предусилителем $\Phi ПУ-2$; усилитель напряжения $УН$; источник питания фотоумножителя $ВВУ$. Электрические цепи каналов $C\Phi$ и $С\Phi$ питаются от общего низковольтного источника $НВПВ$.

Оптические схемы каналов $C\Phi$ и $С\Phi$ — ломаные, П-образные. Свет, попадая в поле зрения канала $C\Phi$ (рис. 2), проходит коническую бленду 1 с защитными диафрагмами 2, попадает в расположенный после первого отклоняющего зеркала 3 объектив 4 и фокусируется на диафрагму фотозатвора 6, расположенного после второго отклоняющего зеркала 5. Далее свет проходит через интерференционный светофильтр, расположенный на диске 7, и попадает на линзу Фабри 8, а затем — на входной зрачок фотоумножителя 9. Поле зрения канала $C\Phi$ — конус $\pm 1,5^\circ$, коэффициент ослабления светозащитной бленды $\sim 10^4$ на угле 15° . Диск со светофильтрами, вращающийся с периодом 16 с при помощи шагового двигателя 10, имеет восемь дискретных позиций: шесть позиций использовано для измерений интенсивности приходящего света, одна — для полетной калибровки канала $C\Phi$ от эталонного люминесцентного источника света и одна для измерения импульсов темнового счета фотоумножителя $\Phi ЭУ-119$. В канале $C\Phi$ применен ряд методов и средств повышения пороговой чувствительности измерительного тракта [25]. $\Phi ЭУ$ канала $C\Phi$ включен в режиме счета отдельных квантов. Термоэлектрический охладитель $ТЭО$, установленный вблизи фотокатода $\Phi ЭУ$, позволяет снизить температуру фотокатода на 30°C по отношению к корпусу, что приводит к значительному понижению темнового шума $\Phi ЭУ$. Кроме того, кольцо постоянного магнита вокруг фотокатода использовано для отклонения от первого динода паразитных фотоэлектронов, вылетевших с нерабочей части фотокатода.

Узел $\Phi ПУ-1$ имеет в своем составе импульсный усилитель с динамическим диапазоном выше 10^6 . Блок предварительной обработки (рис. 3) включает: амплитудный дискриминатор $АД$ типа "окно", формирователь импульсов $\Phi И$; счетчик импульсов $С$ с последовательным двукратным изменением коэффициента пересчета. После дискриминации и формирования импульсы накапливаются в счетчике в течение $\Delta t_n = 1,5 \text{ с}$ во время остановки диска со светофильтрами в одной из позиций. Сумма импульсов запоминается в буферной памяти и держится в ней $\sim 0,5 \text{ с}$. Процесс счета импульсов и их сумма регистрируются телеметрией в виде 12-раз-

рядного параллельного кода: $C\Phi_M$ (мантисса) — 8 разрядов и $C\Phi_X$ (характеристика) — 4 разряда. Счетчик представляет собой сочетание двух C_1 и C_2 счетчиков с логической схемой управления ЛУ коэффициентом пересчета [26]. Сумма сосчитанных импульсов определяется по формуле $N = (M+1) \sum_{i=0}^X 2^i + L2^X$, где $L = 0, 1, 2, \dots, M$ — число разрядов в счетчике C_1 (мантисса); $X = 0, 1, 2, \dots, x$ — число разрядов в счетчике C_2 (характеристика). Число M определяет точность счетчика, а X — масштаб. Ем-

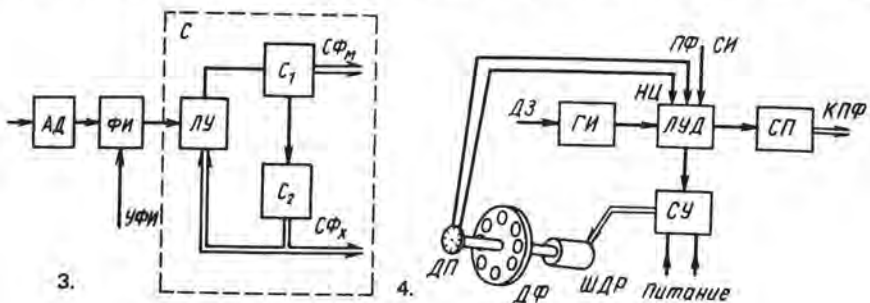


Рис. 3. Блок-схема узла предварительной обработки сигнала в канале $C\Phi$

Рис. 4. Блок-схема узла управления дискретным приводом диска со светофильтрами

кость счетчика, в котором $M = 255$ и $X = 15$, — выше 10^7 импульсов, а точность счета $\sim 0,4\%$.

Интервалы времени набора импульсов Δt_H и запрета набора импульсов Δt_3 задаются управляющим сигналом УПИ, который через $\Phi И$ разрешает или запрещает поступление импульсов в счетчик C с выхода $\Phi И$.

Управление дискретным приводом с шаговым двигателем (рис. 4), переводящим диск из позиции в позицию, синхронизовано 1 Гц импульсом системы бортового единого времени БЭВ. Шаговый двигатель с редуктором $\mathcal{W}ДР$ управляется по положению выходного вала при помощи оптоэлектронных датчиков $ДП$ позиции фильтров $ПФ$ и начала цикла измерения $НЦ$. Схема управления $СУ$ привода (неревверсивная с униполярной коммутацией) использует импульсное нарастание тока в обмотках $\mathcal{W}ДР$ во время коммутации и практически ничего не потребляет во время остановки диска на оптической позиции. При отсутствии сигнала с компаратора датчика оптической защиты $ДЗ$ канала $C\Phi$ импульсы с выхода генератора $ГИ$ частотой 100 Гц поступают на схему логики управления движением диска $ЛУД$, которая вырабатывает управляющие сигналы УФИ в интервале Δt_H и Δt_3 . В течение Δt_H диск стоит на оптической позиции измерения, а в течение Δt_3 переходит в следующую позицию. Интервал времени рассчитан с запасом 30% от минимально необходимого для передвижения диска в следующую позицию. Информация о том, какой светофильтр находится на позиции измерения $КПФ$, и о начале каждого цикла измерения (позиция "0") $КНЦ$ поступает со счетчика позиций фильтров $СП$ на телеметрию в виде 4-разрядного параллельного кода. Узел защиты канала $C\Phi$ вырабатывает управляющий сигнал на закрытие фотозатвора, когда интенсивность падающего на фоторезистор света выше заданной пороговой величины $\sim 10^5$ релей или при отключении питания фотометрической системы. При срабатывании узла оптической защиты диск со светофильтрами останавливается.

Оптическая схема канала *СС* показана на рис. 5. Свет, попадая в поле зрения канала *СС*, проходит прямоугольную светозащитную бленду 1 с диафрагмами 2 и П-образную оптическую схему. После сканирующего зеркала 3 объектив 5 фокусирует свет на диафрагму 7 через неподвижное отклоняющее зеркало 6. Пройдя интерференционный светофильтр 8 и линзу Фабри 9, параллельный пучок света падает на входной зрачок фотокатода ФЭУ 10, имеющий диаметр 5 мм. Поле зрения канала *СС* — конус 3° . Сканирование на $\pm 15^\circ$ осуществляется с помощью зеркала, которое

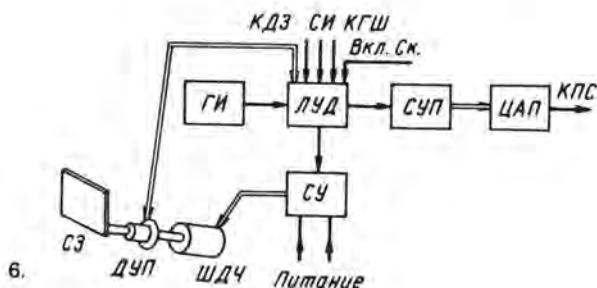
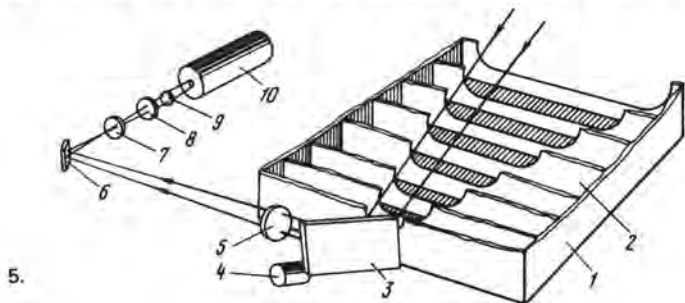


Рис. 5. Оптическая схема канала *СС*

Рис. 6. Блок-схема узла управления дискретным приводом сканирующего зеркала

отклоняется от среднего положения на $\pm 7^\circ,5$. Движение сканирующего зеркала между двумя крайними положениями непрерывное, полный период сканирования равен 2 с.

Фотоумножитель ФЭУ-119 в канале *СС* включен в режиме измерения среднего тока. Входное сопротивление предусилителя 100 МОм. Усилитель напряжения УН (см. рис. 1) имеет две перекрывающихся линейных шкалы: чувствительную ЧШ и грубую ГШ с общим динамическим диапазоном 3,5 порядка. Пороговая чувствительность канала *СС* ~ 50 релей.

Управление движением сканирующего зеркала построено на использовании дискретного привода с шаговым двигателем (рис. 6) и синхронизовано 1 Гц импульсом системы бортового единого времени. Шаговый двигатель с червячной передачей ШДЧ управляется при помощи сигналов от датчиков углового положения сканирующего зеркала ДУП. Сигналы ДУП — это прямая информация о положении угла, так как датчики работают на просвет от светодиода на фототранзистор. Схема управления

СУ приводом (реверсивная, с униполярной коммутацией) содержит узел импульсно нарастающего тока в обмотках двигателя во время коммутации. Сканер включается по разовой команде с Земли при условии отсутствия запрещающего сигнала с компаратора защиты грубой шкалы КГШ и компаратора датчика оптической защиты КДЗ канала СС. В случае отсутствия запрета через схему логического управления движением ЛУД импульсы от генератора ГИ частотой 75 Гц поступают на схему управления СУ привода, и сканер приходит в движение. Контроль углового положения сканирующего зеркала КПС осуществляется через каждые $2^{\circ},5$. Сигнал контроля, выходящий на телеметрию, — ступенчатое напряжение (13 уровней) — вырабатывается цифроаналоговым преобразователем ЦАП через счетчики угловых положений СУП сканирующего зеркала. При получении системой разовой команды на выключение сканера зеркало останавливается в среднем положении, что соответствует направлению поля зрения канала в надир. То же происходит в случае поступления запрещающего сигнала от узла оптической защиты, но в этом случае реле времени через 30 с вновь запускает сканер. Защита канала СС осуществляется путем отключения высокого напряжения на ФЭУ. Высоковольтное питание ФЭУ автоматически включается при отсутствии запрещающего сигнала от КДЗ. Калибровка канала СС в полете производится от светодиода, излучающего в красной области спектра. Светодиод "загорается" на 5 с после подачи питания на систему.

Конструкция фотометрической системы ЭМО-5 двублочная — блок датчика и блок электроники. Блок датчика содержит оптические схемы каналов СФ и GC, кинематические цепи и дискретные приводы диска с фильтрами и сканирующего зеркала, фотоумножители с предусилителями, высоковольтные источники питания, узлы оптических защит каналов СФ и СС, а также интерфейсные схемы передачи информации о положении диска и сканирующего зеркала. Блок датчика негерметичен, надежно работает при температурах от -20 до $+50^{\circ}\text{C}$. Блок электроники содержит схемы накопления информации, схемы управления дискретными приводами кинематических узлов, низковольтные источники питания, интерфейсные схемы согласования с телеметрической системой. Блок электроники работает в гермоотсеке спутника. Потребляемая мощность фотометрической системы ЭМО-5 ~ 27 Вт включая потребление системы активного охлаждения в канале СФ. Масса блока датчика 15 кг, блока электроники — 2 кг. Испытания системы на электромагнитную совместимость с другой научной аппаратурой комплекса, проведенные на космодроме, и работа на орбите показали, что система не создает паразитных помех и излучений.

Одновременные измерения ночных эмиссий $\lambda 6300 \text{ \AA}$ и $\lambda 5577 \text{ \AA}$ с Земли и со спутника "ИК-Болгария-1300" проведены на ряде орбит над астрономической обсерваторией в пос. Абастумани (Грузинская ССР) в период новолуния в конце декабря 1981 г.

Надежность фотометрической системы ЭМО-5 подтверждена ее длительной нормальной работой на орбите в составе комплекса научной аппаратуры спутника "ИК-Болгария-1300".

Первые научные результаты эксперимента ЭМО-5 были представлены на конгрессе КОСПАР в 1982 г. [27].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Jones A. V. "AURORA", Geophysics and Astrophysics Monographs, published by D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 1974. 302 p.
2. Omholt A. The optical aurora. Springer-Verlag, N.Y. 1971. 198 p.

3. *Серафимов К.* Космические исследования в Болгарии. София: Изд. БАН, 1979. 448 с.
4. *Reed E. I., Fowler W. B., Blamont J. E.* — Preprint of Goddard Space Flight Center, TMX-65926, 1972. 18 p.
5. *Reed E. I., Blamont J. E.* — Space Res., 1967, v. 7, p. 337.
6. *Reed E. I., Blamont J. E.* — NASA GSFC X-625-72-173, 1972. 26 p.
7. *Reed E. I., Fowler W. B., Blamont J. E.* — Journ. Geophys. Res., 1973, v. 78, N 25, p. 5658—5675.
8. *Thomas R. J., Donahue T. M.* — Journ. Geophys. Res., 1972, v. 77, N 19, p. 3557—3565.
9. *La Valle S. R., Elliott D. D.* — Journ. Geophys. Res., 1972, v. 77, N 10, p. 1802—1809.
10. *Hays P. B., Garignan G., Kennedy B. C.* et al. — Radio Science, 1973, v. 8, N 4, p. 369—377.
11. *Shepherd G. G., Fancott T., Nally J. Mc* et al. — Appl. Opt., 1973, v. 12, N 8, p. 1767—1774.
12. *Anger C. D., Fancott T., Nally J. Mc* et al. — Appl. Opt., 1973, v. 12, N 8, p. 1753—1766.
13. *Шеффер Е. К.* — Космические исследования, 1971, т. 9, вып. 1, с. 74.
14. *Краснопольский В. А.* — Геомагнетизм и аэрономия, 1970, т. 10, № 4, с. 637—642.
15. *Deer C. S., Sten T. A., Egeland A.* et al. — Scient. and Techn. Rev., 1970, v. 2, p. 233.
16. *Akasofu S.-I.* — Space Sci. Rev., 1974, N 16, p. 617—725.
17. *Berkey F. T., Kamide Y.* — Journ. Geophys. Res., 1976, v. 81, p. 4701—4714.
18. *Tohmatsu T., Suzuki K., Ogawa T.* — J. Geomag. Geoelect., 1975, v. 27, p. 295—301.
19. *Гогошев М., Петков Н.* — В кн.: Аппаратура для исследований внешней атмосферы. М.: Изд. ИЗМИРАН, 1980, с. 186—195.
20. *Гладышев В. А., Графова Л. И., Кузьмин А. К.* и др. — В кн.: Конструирование научной космической аппаратуры. М.: Наука, 1977, с. 77—88.
21. *Frank L. A., Graven J. D., Ackerson K. L.* et al. — Space Sci. Instr., 1981, v. 5, N 4, p. 369—394.
22. *Gogoshev M., Grechko G., Serafimov K.* et al. — Preprint IAF-81-31, XXXII congress IAF, Rome, Italy, 1981. 8 p.
23. *Gladyshev V. A., Kuzmin A. K., Muliarchic T. M.* et al. — Annales de Geophysique special issue "ARCAD-3", 1982, v. 8, N 5, p. 631—634.
24. *Hardy D. A.* — Journ. Geophys. Res., 1982, v. 87, A4, p. 2413—2430.
25. *Ангаров В. Н., Ефремкина Л., Гладышев В. А.* и др. — В кн.: полярные сияния и свечение ночного неба. М.: Изд. ВИНТИ, 1983, с. 31.
26. *Petkov N. P.* — Compt. rend. Acad. Bulg. Sci., 1981, N 34, p. 1367.
27. *Gogoshev M., Petkov N., Kuzmin A.* et al. — Adv. Space Res., 1983, v. 12, N 7, p. 115—120.

УДК 528.711 : 551.510.536.629.78

М. Н. Марков, В. Е. Түкиш

ПАНОРАМНЫЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭМИССИЙ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ

Многие проблемы исследования свечения верхней атмосферы (90—500 км) требуют получения информации в больших телесных углах (около $50 \times 50^\circ$) при высоком пространственном разрешении (2—5), поэтому полное число элементов исследуемого поля составляет $\sim 10^6$. При этом существенно упрощаются интерпретации оптических явлений, получение сведений о морфологии свечения и т. п.

Свечение верхней атмосферы может иметь крайне малую интенсивность, иногда в десятки раз меньше порога чувствительности человеческого глаза (< 1000 реле или $4 \cdot 10^{-10}$ Вт/(см² · ср)). Не останавливаясь на принципиальных возможностях того или иного способа приема и регистрации излучения, рассмотрим пределы чув-