

Ю. В. КУБЕРСКИЙ, В. А. МАЛАРЕВ

## К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Требования современной астрономической науки заставляют все шире применять телевизионные системы для поиска, наблюдения и гидрирования (слежения) по звездам. При этом значительно сокращается время, затрачиваемое на эти операции, по сравнению с существующими методами. Большой выигрыш во времени получается также при использовании телевизионной астрономической системы для фокусировки оптического телескопа. Эти обстоятельства позволяют в конечном счете значительно повысить эффективность использования рабочего времени телескопа.

Для управления телескопом телевизионная система может быть использована как в искателе (самостоятельном оптическом приборе), так и в системе местного гидрирования по свету, собираемому главным зеркалом.

Поскольку система местного гидрирования предусматривает отбор участка общего поля телескопа, то, исходя из небольшой вероятности попадания в этот участок достаточно яркой звезды, удобной для гидрирования, необходимо повышать чувствительность телевизионной системы.

Повышение чувствительности телевизионной поисковогидрирующей астрономической системы является одним из основных направлений развития подобного рода систем. В настоящее время наблюдается тенденция к замене фотографической камеры электронными устройствами в виде компактных телевизионных камер с высокой чувствительностью, причем чувствительность таких камер должна значительно превосходить чувствительность глаза.

Задачу повышения чувствительности телевизионных астрономических систем можно успешно решать, применяя синтезированные конструкции из электронно-оптического преобразователя (ЭОП) и высокочувствительной передающей трубки, например, секона или суперкремникона, соединенных с помощью элементов волоконной оптики. В настоящее время у нас в стране разработано несколько типов электронно-оптических преобразователей, позволяющих повысить чувствительность телевизионного тракта астрономических систем. При этом достигается большой выигрыш в экспозиции, дающей возможность производить наблюдение большего количества объектов за одну ночь наблюдений.

Отечественные ЭОП отличаются друг от друга [1] по габаритам, угловому размеру поля зрения и т. д. Они предназначены для различных задач визуального наблюдения при плохой видимости. Специфической особенностью применения ЭОП является обнаружение объектов в пороговых условиях, при этом решающую роль играют пороговые характеристики. Шумы ЭОП, наблюдаемые на экране (темновой фон, много-

электронные сцинтилляци. результаты обратной световой связи, автоэлектронная эмиссия и др.), существенно снижают контраст изображения, поэтому определение разрешающей способности ЭОП необходимо оценивать с учетом пороговой контрастной чувствительности глаза, соответствующей яркости экрана при конкретной освещенности фотокатода ЭОП.

В последнее время все более широкое распространение получает метод получения высокого усиления яркости, свободный от недостатков каскадного соединения ЭОП, при котором имеют место большие потери света между секциями. Он связан с использованием вторично-эмиссионного умножения электронов в каналах. Каналы собраны в матрицу—микрочанальную пластину (МКП),—которая размещается между фотокатодом и катодолуминесцентным экраном. Электронное изображение переносится с фотокатода на входную поверхность микрочанальной пластины либо с помощью электронной линзы, либо в равномерном поле. Разбитое каналами на элементы электронное изображение усиливается по интенсивности и переносится в равномерном ускоряющем поле с выхода МКП на экран.

Использование в ЭОП МКП позволяет сравнительно легко осуществлять автоматическую регулировку яркости, изменяя потенциал на МКП, что очень важно при гидировании звезд различной яркости. Автоматическая регулировка яркости вызвана необходимостью расширить яркостный диапазон звезд, воспроизводимых на экране видеоконтрольного устройства телевизионной астрономической системы. Воспроизведение на экране звезд, исходя из возможностей передающих трубок, возможно в пределах 6 звездных величин  $\sim 250$  раз (от самой слабой до самой яркой), в то время как на экране требуется воспроизводить звезды в пределах 20 звездных величин (от  $2^m$  до  $22^m$ ). Таким образом требуется автоматическая регулировка яркости в диапазоне  $\sim 10^4$  раз. Это значительно расширит возможности телевизионной астрономиче-

Таблица 1

Параметры	Однокамерные RCA (США)						ОП с микрочанальной пластиной (США)				
	8857/V1	8857/V2	4814/V1	4814/V2	8605/V1	8605/V2	L-4261	L-4263	S33031C	S33079	Mullard (Англия)
Диаметр рабочего поля фотокатода мм	18	18	25	25	40	40	18	40	18	25	18
Наибольшее напряжение, кВ	13	13	15	15	16	16	7,5	7,5	7	7	10
Интегральная чувствительность, мкА/лМ	>175	160	>175	160	>175	160	250	250	250	250	200
Усиление (световое)	>55	>22	>65	>22	>65	>22	25000	25000	Регулируемое до 100 000		
Разрешающая способность, пар. лин/мм	64	64	64	64	57	57	$\sim 30$	$\sim 30$	35	35	38
Электронно-оптическое увеличение	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	1	1	1	1	1

ской системы. О параметрах зарубежных однокамерных ЭОП с волоконно-оптическими окнами и ЭОП с микроканальным усилением можно судить по табл. 1 [1].

Для сочленения с ЭОП могут быть использованы телевизионные передающие трубки секон и суперкремникон. Эти трубки отличает высокая чувствительность ( $\sim 10^{-2} \div 10^{-3}$  лк) и достаточно высокая разрешающая способность по полю ( $\sim 500 \div 600$  линий). Кроме того, в секоне можно использовать эффект накопления сигнала, что в конечном счете значительно повышает его чувствительность. Основные параметры секонов и суперкремниконов приведены в табл. 2 [2].

Таблица 2

Тип трубки	Освещенность на фотокатоде, лк	Разрешающая способность, лин	Глубина модуляции на 400 лин	Темновой ток, нА	Обратный сигнал через 40 мс, %
Секон	$5 \cdot 10^{-2}$	500 ÷ 550	20	1	5
Суперкремникон	$5 \cdot 10^{-3}$	600	20	30	10 ÷ 15

Чувствительность суперкремникона обеспечивает усиление фототока в  $800 \div 1000$  раз и равна нескольким тысячным долям люкса.

Конструктивно секон и суперкремникон абсолютно идентичны, но суперкремникон требует большего ускоряющего напряжения в секции переноса (до 10 кВ) по сравнению с секоном (до 7 кВ).

При испытаниях передающей телевизионной камеры на суперкремниконе в БАО АН Армянской ССР на телескопе ЗТА-2,6 м в первичном фокусе была получена предельная проникающая способность— $16^m$ , что вполне соответствует предварительным расчетам чувствительности камеры с суперкремниконом для телескопа с диаметром зеркала 2,6 м.

При сочленении секона или суперкремникона с однокамерным ЭОП можно получить выигрыш в усилении до двух порядков, но при некотором снижении разрешающей способности. Таким образом, можно предположить, и лучшие результаты показывают это, что наиболее чувствительным может оказаться только синтез ЭОП с МКП с одной из передающих трубок этого типа, например, с суперкремниконом.

Наибольший выигрыш, вероятно, можно получить, используя в этих целях суперкремникон, но не следует забывать, что при работе с малыми освещенностями (менее  $10^{-3}$  лк) [3] отношение сигнал/шум будет весьма малым, что может существенно повлиять на вероятность опознавания объектов при пороговых условиях освещенности. При низких освещенностях шумы трубки превышают шумы предварительного усилителя.

Одним из методов повышения чувствительности современных телевизионных передающих трубок к свету является использование импульсного режима работы или так называемого режима накопления.

В литературе уже описывались [4, 5] данные исследований в режиме накопления передающих трубок типа суперортикон по точечным объектам. Эти исследования показали, что чувствительность суперортиконов в режиме накопления увеличивалась и росло отношение сигнал/шум. Указывалось, однако, что этот режим целесообразно использовать при малом количестве кадров накопления, так как при их увеличении заметного эффекта не было достигнуто.

Измерения, проведенные нами, показали, что накопление сигнала

на мишени передающей трубки типа секон можно с успехом проводить в достаточно широких пределах. Порог чувствительности секонов уменьшается с увеличением времени накопления от 1 до 20000 кадров. При увеличении числа кадров накопления выше этого предела начинает проявляться структура мишени и сигнал от фона темного тока. Измерения также показали, что накопление 128 кадров повышает чувствительность секона в 100 раз, что приблизительно равно увеличению чувствительности на  $4 \div 5$  звездных величин.

Что касается суперкремниконов, то данных по их работе в режиме накопления не имеется, хотя по материалам зарубежной печати суперкремниконы позволяют накапливать сигнал на своей мишени в достаточно широких пределах [6].

Большую перспективу в плане повышения чувствительности телевизионных астрономических систем представляет использование цифровой электронно-вычислительной машины (ЦЭВМ) как накопительной системы. Амплитуды видеопульсов в области линейного участка световой характеристики трубки пропорциональны яркости объекта, а их длительность—его размеру. Согласование работы телевизионной системы и ЦЭВМ производится специальным блоком ввода информации, включающим в себя кодирующее устройство и устройство ввода дополнительных данных: координаты наблюдаемой области, момент и условия наблюдений и т. д. Большой объем памяти машины может позволить накапливать сигнал достаточно длительное время [7].

Создание передающих камер на твердотельных многоэлементных фотоприемниках—приборах с зарядовой связью (ПЗС)—привело к созданию нового класса телевидения—твердотельного. Внедрение ПЗС в прикладное телевидение окажет большое влияние на развитие малокадрового телевидения. Принципиальной особенностью малокадрового телевидения является доставка видеoinформации в суженной полосе видеочастот, причем устройства обработки и кодирования видеoinформации допускают использование необратимых операций, тогда как в вещательном телевидении кодирование возможно только в рамках обратимых операций. Применение ПЗС в малокадровом телевидении позволит получить большое отношение сигнал/шум, так как сигнал на выходе матрицы велик и практически не зависит от скорости считывания, что существенно упрощает построение видеоусилителя. Повышение отношения сигнал/шум ведет к увеличению разрешающей способности, что в итоге ведет к повышению чувствительности. Применение малокадрового телевидения на ПЗС может дать ряд преимуществ по сравнению с вещательным телевидением, а именно: сдвиг спектральной чувствительности в длинноволновую область, упрощение преобразования в цифровую форму и возможность ввода узкополосного сигнала в ЦЭВМ.

Важным требованием к современной телевизионной астрономической системе является запись изображения на экране. В настоящее время широко применяются запоминающие электронно-лучевые трубки, способные накапливать информацию, сохранять ее в течение определенного времени и воспроизводить ее в визуальной или электрической форме [8]. Эти трубки могут быть использованы в запоминающих устройствах (ЗУ) телевизионных астрономических систем для длительного воспроизведения информации после одноразового экспонирования. Это даст возможность отождествления (сравнения) наблюдаемого участка звездного неба с астрономическими каталогами с достаточной быстротой и качеством. Наиболее перспективными в настоящее время для использования в телевизионных астрономических системах являют-

ся запоминающие электронно-лучевые трубки типа «Литокон». Они построены по типу видиконов с применением окисно-кремниевой мозаичной мишени и имеют высокую разрешающую способность, воспроизводят до 10 градаций яркости, имеют большой срок службы и обладают высокой механической прочностью. «Литокон» выполнены в габаритах одно- и полуторадюмовых видиконов, что позволит применить для них стандартные отклоняющие системы для обычных видиконов, выпускаемых нашими предприятиями.

Основные характеристики запоминающих электронно-лучевых трубок такого типа приведены в табл. 3.

Таблица 3

Тип, форма	Диаметр, дюйм	Разрешающая способность	Время записи	Время стирания	Время считывания, мин	Число полукадров	Выходн. сигнал, мкА
Литокон 1M—800H PLP (США)	1	800 линий на диаметр	1 кадр	—	12÷15	10	1,8
Литокон 1M—1200H PLP (США)	1,5	1200 линий на диаметр	—	—	10	—	0,5
Лабораторный образец RCA (США)	1	400 линий на высоту раstra	1 кадр (33мс)	1÷4 кадра (130 мс)	Несколько минут	6÷8	—
SP—5105 Silvanca (США)	1,5	1000 линий на диаметр	—	—	15	—	—
1238 Thomson CSF (Фр.)	1	800 линий на диаметр	1 кадр	1 кадр	10÷15	7	0,2
1239 Thomson CSF (Фр.)	1,5	1200 линий на диаметр	1 кадр	1 кадр	10÷15	7	0,2

Опыт разработки и эксплуатации телевизионных астрономических систем управления оптическими телескопами БТА-6 м (Специальная астрофизическая обсерватория АН СССР) и ЗТА-2,6 м (Бюраканская астрофизическая обсерватория АН Армянской ССР) [9—11] показывает, что без таких систем невозможно управление телескопом на современном уровне. С помощью телевизионных астрономических систем должны осуществляться: поиск и отождествление звездных объектов, выбор звезды, удобной для гидирования, наведение на звезду чувствительного элемента, полуавтоматическое и автоматическое гидирование телескопа, фокусировка изображения телескопа и контроль его качества.

В табл. 4 приведены расчетные значения яркости звезд, которые можно наблюдать в фокальных плоскостях телескопов, имеющих различные диаметры главных зеркал.

Таблица 4

Д, мм	300	700	1000	2600	6000
Глаз	14 <sup>m</sup> .5	16 <sup>m</sup> .3	17 <sup>m</sup> .1	19 <sup>m</sup> .1	21 <sup>m</sup> .1
Сочлененная система	15 <sup>m</sup> .5	17 <sup>m</sup> .3	18 <sup>m</sup>	20 <sup>m</sup>	22 <sup>m</sup>
Сочлененная система с накоплением	18 <sup>m</sup>	19 <sup>m</sup> .5	20 <sup>m</sup> .5	22 <sup>m</sup> .5	25 <sup>m</sup> .5

Исходя из вышесказанного, можно сделать заключение, что телевизионная астрономическая система может быть синтезирована для наблюдения слабых звездных объектов, их визуального контроля и гидирования по любой из звезд поля.

ՅՈՒ. Վ. ԿՈՒԲԵՐՍԿԻ, Վ. Ա. ՄԱԼԱՐԵՎ

ԱՍՏՂԱԳԻՏԱԿԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿԱԿԻՑ ՀԵՌՈՒՍԱՍԻՍԵՄԵՆՆԵՐԻ  
ՁԳԱՑՆՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՑՄԱՆ ՀԱՐՑԻ ՎԵՐԱԲԵՐՑԱԼ

Ա մ փ ո փ ու մ

Դիտարկված են աստագիտական հեռուստատեսիոնների կատարելագործման հարցերը՝ կապված ժամանակակից հաղորդիչ խողովակների, էլեկտրոնաօպտիկական ձևափոխիչների և հիշող խողովակների հետ: Բերված են ՁՏԱ—2.6 մ աստղադիտակի վրա կատարված փորձարկումների արդյունքները:

U. V. KUBERSKI, V. A. MALAREV

ON THE SENSITIVITY IMPROVEMENT OF THE MODERN  
ASTRONOMICAL TV SYSTEMS

Summary

The problems connected with improvement of television astronomical system on the basis of modern transmission tubes, image-tubes and memory are considered. The results of experiments with the telescope 3TA—2.6 m are presented.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Берковский, В. А. Гаванин, И. Н. Зайдель, Вакуумные фотоэлектронные приборы, М., Энергия, 1976.
2. Г. С. Вильдгубе, И. К. Малахов, Р. М. Степанов, В. А. Урвалов, Техника кино и телевидения, № 10, с. 42, 1977.
3. Г. А. Суцьев, В. А. Михайлов, Техника телевидения, вып. 2, с. 95, 1977.
4. Н. Н. Лобов, В. А. Обороин, Л. Л. Полосин, Труды РРТИ, вып. 33, 1972.
5. Н. Н. Лобов, Л. Л. Полосин, А. М. Бражков, Труды РРТИ, вып. 33, 1972.
6. A. Stirling, Colgate, Elliott P. Moore, John Colburn, Sit vidicon with magnetic intensifier for astronomical use. Applied optics, vol 14, № 6, June 1975.
7. Телевизионная астрономия. Под ред. В. Б. Никонова, ГРФМЛ, М., Наука, 1974.
8. Р. С. Харчикян, В. Л. Македонский, Техника кино и телевидения, № 12, с. 44, 1975.
9. В. А. Маларев, ОМП, № 7, с. 32, 1977.
10. В. А. Маларев, А. Б. Медведев, Е. М. Неплохов, Системы гидирования телескопов в сб. «Новая техника в астрономии», М.—Л. Наука, № 6, с. 72, 1979.
11. В. А. Маларев, Г. А. Тамбовский, Фотографическая камера с телевизионным гидированием в сб. «Новая техника в астрономии», М.—Л. Наука, № 6, с. 81, 1979.