В. А. МАЛАРЕВ, Е. М. НЕПЛОХОВ, И. К. ПАВЛОВ, Г. А. ТАМБОВСКИЙ

О ТЕЛЕВИЗИОННОМ ГИДИРОВАНИИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ТЕЛЕСКОПОВ

В последние годы в астрономической практике все шире стали применяться телевизионные средства наблюдения [1,2]. В связи со строительством крупнейшего в мире телескопа БТА, телескопа ЗТА-2,6 *м*, АЗТ-12 и других возникла необходимость в применении телевизионных средств для гидирования за объектом. Это вызвано тем, что в крупных телескопах фокальные плоскости оптических систем часто располагают в местах, труднодоступных для наблюдателя. К таким труднодоступным местам можно отнести фокальную плоскость гида телескопа БТА, первичный фокус с кассетой Ричи телескопов ЗТА-2,6 *м* и АЗТ-12. В гиде телескопа БТА установлена телевизионная камера с высокочувствительной передающей трубкой типа суперортикон, которая передает изображение гидируемой звезды на экран видеоконтрольного устройства ВКУ, расположенного на центральном пульте управления ЦПУ [3]. Применение телевизионной камеры с суперортиконом для первичного фокуса телескопов ЗТА-2,6 *м* и АЗТ-12 связано со значительными трудностями. Такая камера имеет большие габариты и, кроме того, выделяет значительное количество тепла, которое приводит к сильным искажениям оптического изображения. Поэтому на телескопах ЗТА-2,6 *м* и АЗТ-12 предполагается установить камеры с видиконами. Камера с видиконом имеет малые габариты и небольшой вес. Она может быть установлена непосредственно на микроскопе кассеты Ричи. Эта камера не будет вносить существенных тепловых помех, так как выделяет незначительное количество тепла. Применение дистанционного управления каретками кассеты Ричи в сочетании с телевизионным способом передачи изображения позволит полностью решить задачу гидирования в первичном фокусе. Наблюдатель, располагаясь в удобном месте за пультом телескопа, производит визуальное наблюдение за изображением звезды на экране ВКУ.

Настоящая статья посвящена рассмотрению некоторых вопросов, связанных с возможностью телевизионного гидирования, описанию экспериментальных работ и полученных первых результатов, в этом направлении.

Современные видиконы обладают достаточно высокой световой чувствительностью. Она ограничена шумами первого каскада усилителя. Типовая характеристика „свет—сигнал" отечественных видиконов приведена на рис. 1. В настоящее время разработаны усилители видеосигналов с достаточно низким уровнем шумов первого каскада.

Так, в [4] описан усилитель, величина шумов во входной цепи которого составляет $I_ш = 5 \cdot 10^{-9}$, а в полосе частот $\Delta f = 9$ *Мгц*.

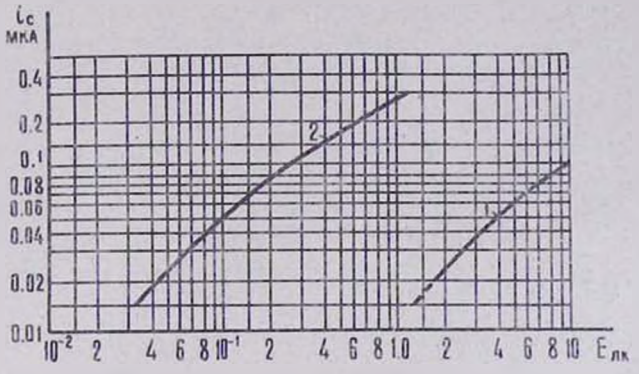

Рис. 1. Характеристика „свет—сигнал" видикона. 1. Видикон ЛИ-23. 2. Видикон ЛИ-421.

Նկ. 1. Վիդիկոնի «լույս-ազդանշան» բնութագիրը: 1. ԼԻ-23 վիդիկոն. 2. ԼԻ-421 վիդիկոն:

Отношение сигнал—шум на выходе видикона имеет вид:

$$\psi = \frac{i_c}{\sqrt{I_ш^2}}, \qquad (1)$$

где i_c — ток сигнала через нагрузочное сопротивление,

$I_ш$ — ток шумов первого каскада усилителя.

Как показывают расчеты [5], для уверенного обнаружения изображения светящегося объекта на экране ВКУ и осуществления гидирования по нему необходимо, чтобы сигнал на выходе видикона превышал шумы усилителя в 3 и более раз. Если принять, что $I_ш = 5 \cdot 10^{-9}$, а $\psi = 3$, то, как видно из рис. 1, этому сигналу на характеристике „свет — сигнал" соответствует освещенность светочувствительной поверхности видикона $E_{фк} = 0{,}03$ *лк*.

Звезды являются точечными источниками излучения, поэтому размер изображения звезды в фокальной плоскости определяется размерами и качеством изготовления оптики, а также атмосферной турбуленцией. Современные крупные объективы и зеркала изготавливаются таким образом, чтобы кружок рассеяния не превосходил долей секунд дуги. Атмосферная турбуленция накладывает серьезные ограничения на качество изображения. В астрономической практике принято счи-

тать условия наблюдения хорошими, если диаметр изображения турбулентного диска звезды в фокальной плоскости телескопа не превышает в угловой мере $\alpha_\tau = 0{,}8 - 1{,}2$ *сек дуги*.

Освещенность, создаваемая звездой на фотокатоде видикона, может быть найдена из формулы:

$$E_{ф.к} = E_0 \tau \frac{D^2}{d_\tau} (1 - a^2), \tag{2}$$

где τ — коэффициент пропускания оптической системы,

D — диаметр объектива (зеркала) телескопа,

d_τ — диаметр изображения объекта,

a — коэффициент экранирования главного зеркала вторичным,

E_0 — освещенность, создаваемая звездой на земной поверхности.

Значение E_0 может быть найдено из выражения [6]:

$$E_0 = 10^{-0.4(m + 13{,}89)} \cdot p^{\sec z}, \tag{3}$$

где p — коэффициент пропускания атмосферы,

z — зенитное расстояние звезды,

m — звездная величина.

Подставляя (3) в (2) и решая относительно m, получаем выражение для расчета звездной величины звезды, по которой возможно гидирование в первичном фокусе телескопа с помощью видикона:

$$m = 2{,}5[2 \lg D + \sec z \lg p + \lg \tau + \lg (1 - a^2) - \lg E_{ф.к} - \lg d_\tau] - 13.89. \tag{4}$$

Расчетные значения для ряда телескопов приведены в табл. 1. При расчете принималось: $d = 0{,}1$ *мм*, $E_{ф.к} = 0{,}03$ *лк*, $z = 45°$, $\tau = 0{,}6$, $p = 0{,}6$, $a = 0{,}4$.

Таблица 1

D зеркало телескопа в *см*	m
125 (ЗТЭ)	9,0
260 (ЗТА)	10,5
600 (БТА)	12,5

Из таблицы видно, что видикон, установленный на телескопе ЗТА-2,6 *м*, позволит производить гидирование по звездам до 10,5 звездной величины. Для выполнения большинства астрономических работ требуется, чтобы система гидирования могла работать по звездам до 12-й звездной величины. Чтобы выполнить это условие, необходимо повысить чувствительность камеры с видиконом примерно в 10 раз. В будущем будут разработаны более чувствительные види-

коны, а в настоящее время чувствительность видикона может быть повышена путем применения режима накопления сигнала.

Если в обычном режиме при времени накопления $t = 0{,}04$ *сек* сигнал с видикона считывается каждый кадр, то в режиме накопления сигнал будет считываться через несколько кадров, а в промежутке между считываниями будет происходить накопление сигнала. Для целей гидирования вполне допустимо применять время накопления $t = 0{,}5 \div 1$ *сек* [7]. При таком времени накопления хорошо подтверждается закон взаимозаместимости [8], т.е. пропорционально времени накопления экспозиции может быть снижена величина освещенности фотокатода. Измерения показывают, что при увеличении времени накопления до $t = 0{,}5$ *сек* пороговая освещенность фотокатода видикона ЛИ-421 составит $E_{ф.к} = 5 \cdot 10^{-3}$ *лк*. Подставляя это значение освещенности в выражение (4), получим значение звездной величины, по которой будет работать телевизионный гид в режиме накопления. Расчетные значения m при $t = 0{,}5$ *сек* приведены в табл. 2.

Таблица 2

D зеркала телескопа в *см*	m
125 (ЗТЭ)	10,6
260 (ЗТА)	12,1
600 (БТА)	14,1

Как видно из таблицы, при увеличении времени накопления до 0,5 *сек* чувствительность телевизионного гида возрастет на 1,6 звездной величины.

В астрономической практике принято считать, что гидирование должно производиться с погрешностью не хуже чем 1/5 диаметра изображения турбулентного диска звезды. Как отмечалось ранее, при наблюдениях размер изображения турбулентного диска звезды чаще всего составляет $\alpha_т = 0{,}8 - 1{,}2$ *сек* дуги, следовательно, погрешность гидирования не должна превышать $\Delta\alpha_т = 0{,}16$ *сек* дуги.

Приведенная к фокальной плоскости телескопа, эта погрешность в линейной мере составит:

$$\Delta_т = \frac{F \cdot \nabla\alpha_т}{206205}, \tag{5}$$

где F — фокусное расстояние в *мм*.

В телескопе ЗТА-2,6 *м* $F = 10000$ *мм*, при этом $\Delta_т = 0{,}008$ *мм*.

Погрешность системы телевизионного гидирования телескопа может быть представлена двумя составляющими:

$$\Delta\alpha_т = \Delta\alpha_{пр.} + \Delta\alpha_{теп.},$$

где $\Delta\alpha_{гир.}$ — погрешность гидировочного привода, $\Delta\alpha_{теп.}$ — погрешность собственно телевизионной системы. Погрешность гидировочного привода определяется качеством изготовления системы подвижек кассеты Ричи. Этот вопрос в данной статье не анализируется.

Погрешность телевизионной системы будет определяться величиной погрешности, допускаемой оператором при совмещении изображения светящейся точки (звезды) со штрихом оптической марки (перекрестием) по экрану ВКУ. Как известно [9], визуальное совмещение точки со штрихом может быть произведено с погрешностью $\delta = 10—30''$ в зависимости от качества изображения. Можно предположить, что при наблюдении на телевизионном экране совмещение точки со штрихом будет производиться с ошибкой $\delta_т = 30''$.

В телевизионной системе с видиконом передача изображения от фотокатода на экран ВКУ обычно производится с увеличением $K = 10—30$. Следовательно, точность совмещения изображения точки со штрихом в плоскости фотокатода видикона может быть определена из выражения:

$$\Delta = \frac{1}{206205} \cdot \frac{L \cdot \delta_т}{K}. \qquad (6)$$

Если принять $\delta_т = 30''$, $K = 15$, $L = 250$ *мм*, то получим $\Delta = 0{,}0025$ *мм*.

Приведенная к фокальной плоскости телескопа эта погрешность в угловой мере составит:

$$\Delta\alpha = \frac{L \cdot \delta_т}{F \cdot K} = \frac{250 \cdot 30}{10000 \cdot 15} = 0'',05. \qquad (7)$$

Оценивая полученный результат, можно сказать, что телевизионная система обеспечит требуемую точность гидирования.

Для экспериментальной проверки телевизионного способа гидирования был изготовлен макет. За основу макета взята промышленная телевизионная установка ПТУ-26*м*. В качестве светоприемников использовались видиконы ЛИ-23 и ЛИ-421. В телевизионной передающей камере были сделаны некоторые переделки. Видикон с отклоняющей системой и первым каскадом усилителя был вынесен из камеры. Это дало возможность установить видикон непосредственно на микроскопе кассеты Ричи. В качестве ВКУ использовался телевизионный приемник ВЛ-100 „Электроника" с размером экрана 120·160 *мм*. Линейное увеличение изображения в телевизионном канале составило $K = 13$. Испытания проводились в два этапа. На первом этапе в январе и июле 1969г. телевизионный гид испытывался на кассете Ричи 215-сантиметрового рефлектора (ЗТЭ). При испытаниях использовались видиконы типа ЛИ-23 и ЛИ-421. Видикон ЛИ-23 имеет низкую чувствительность, поэтому гидирование с ним производилось по звездам

5,3 величины. С видиконом ЛИ-421 гидирование производилось по звездам 7,5-8,0 величины, снималось скопление М-15 (рис.2). Качество полученных снимков хорошее. Производилось наблюдение двойных звезд.

При наведении телескопа на двойную звезду $\varepsilon_{1,2}L_{уч.}$ с расстоянием компонент 2,8-2,9 *сек* дуги на экране ВКУ отчетливо наблюдались две звезды, однако с узкой перемычкой между ними.

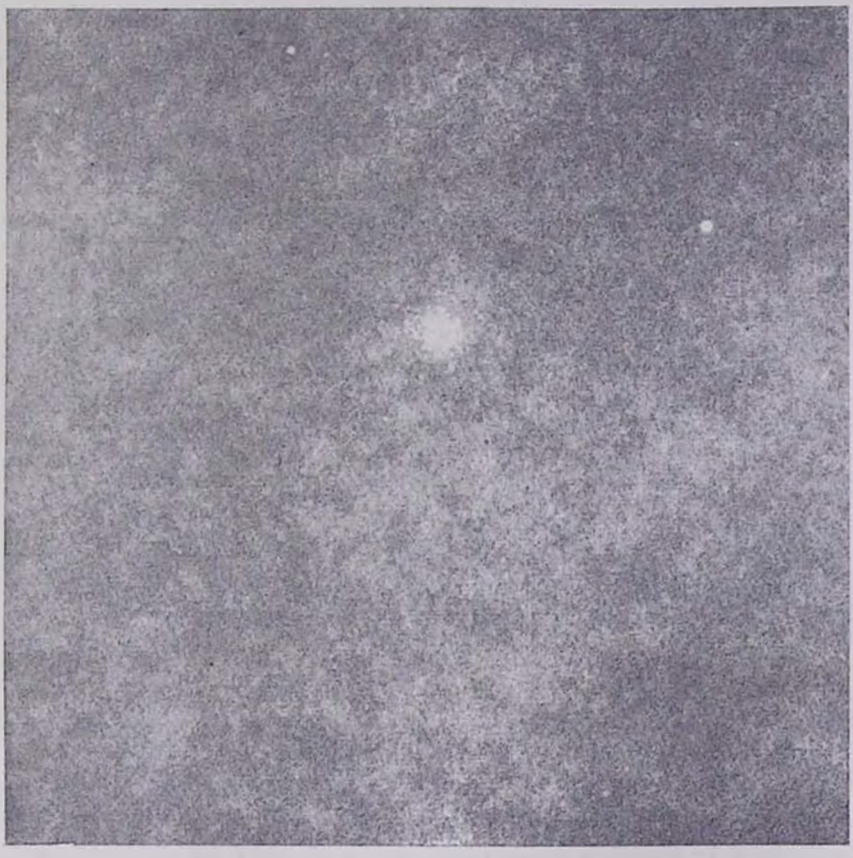

Рис. 2. Снимок шарового скопления. Экспозиция 30 *мин.*
Նկ. 2. Գնդաձև աստղակույտի լուսանկարը: Լուսակայումը 30 րոպե է:

Второй этап испытания телевизионного гида проводился в июле 1971 г. на телескопе ЗТШ-2,6 *м*. Видикон устанавливался в первичном фокусе главного зеркала. На экране ВКУ уверенно наблюдались изображения звезд 10,33 величины при $z = 45 - 50°$.

Этот результат хорошо согласуется с расчетными значениями, приведенными в табл. 1. Производились наблюдения двойных звезд.

На экране ВКУ отчетливо наблюдались компоненты двойной звезды с расстоянием между ними 2 *сек* дуги, при этом диаметр турбулентного диска звезды $\alpha_т$ был не более 2 *сек* дуги.

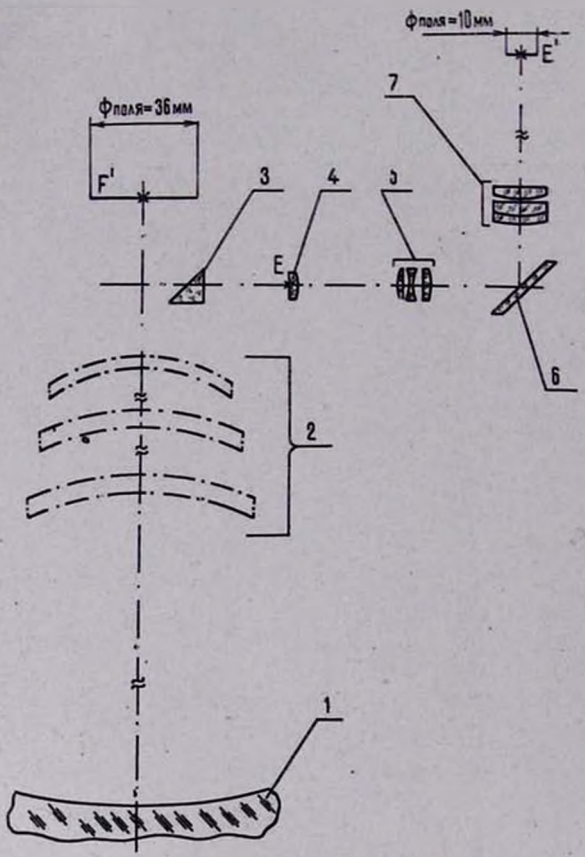

Рис. 3. Оптическая схема гидировочного микроскопа кассетной части первичного фокуса. 1. Главное зеркало $D=2.6$ *м*. 2. Линзовый корректор. 3. Призма. 4. Сетка-коллектив. 5. Объектив. 6. Зеркало. 7. Объектив, F'—плоскость фотопластинки. E—плоскость фотокатода видикона.

Նկ. 3. Առաջնային կիզակետի բիբեզապանակային մասի ուղեկցումային մանրադիտակի օպտիկական սխեմա: 1. Գլխավոր հայելի D=2.5 մ. 2. Ոսպնյակային ուղղիչ, 3. Պրիզմա, 4. ցանցակոլեկտիվ. 5. Օբյեկտիվ. 6. Հայելի. 7. Օբյեկտիվ F'—լուսանկարչական բիբեղի հարթությունը. E—վիդիկոնի լուսակաթոդի հարթությունը.

Для получения фотоснимков при телевизионном гидировании видикон устанавливался на микроскоп кассетного устройства (рис. 3 и 4). Эквивалентный фокус оптической системы в этом случае составил $F=20$ *м*. На экране ВКУ наблюдались изображения звезд 8-й звездной величины. Размер изображения звезд на фотокатоде составил $d=$ $=0{,}2-0{,}25$ *мм*. Получен ряд снимков звездного неба с экспозицией 30 *мин*. Качество снимков хорошее, погрешность от гидирования ма-

ла и не выходила за пределы изображения турбулентного диска звезды.

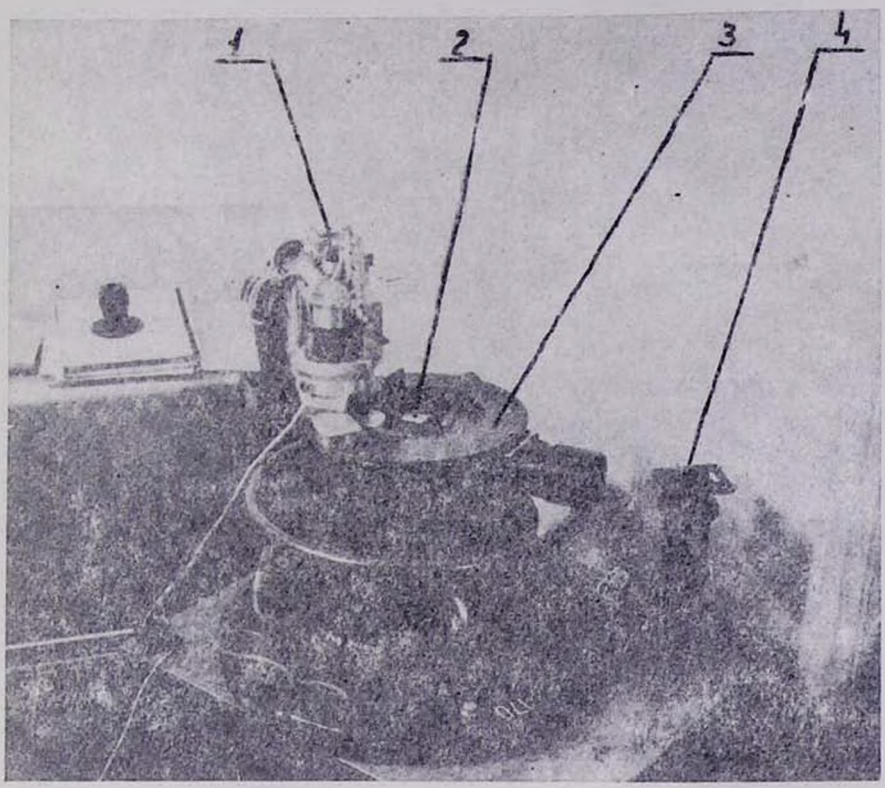

Рис. 4. Общий вид кассеты первичного фокуса. 1. Приставка с видиконом. 2. Кассета для фотопластинки 36×36 *мм*. 4. Кассетная часть первичного фокуса телескопа ЗТШ-2.6 *м*. 4. Переходник для установки видикона по центру кассетной части.

Նկ. 4. Առաջնային կիզակետի բիրեղապանակի ընդհանուր տեսքը. 1. Կցիչը վիդիկոնի հետ, 2.36×36 մմ չափերով բիթեղի բիրեղապանակը; 3. ЗТШ-2.6 մ աստղադիտակի առաջնային կիզակետի բիրեղապանակային մասը. 4. Բիրեղապանակային մասի կենտրոնում վիդիկոնի տեղակայման սարքը:

Для оценки предельной точности способа телевизионного гидирования производились лабораторные испытания макета на стенде „Искусственная звезда". На рис. 5 показана схема оптики стенда. Искусственная звезда в виде светящейся точки создается коллиматором 1. В фокальной плоскости коллиматора установлена точечная диафрагма 2. Обьектив 3 проектирует изображение „звезды" на фотокатод передающей трубки 4. В ходе пучка лучей от „звезды" установлены измерительные клинья 5 с микрометрическими перемещениями и шкалой

для отсчета величины смещения изображения в фокальной плоскости объектива 3. Шкала отградуирована в *сек* дуги. Цена деления 0″,2. Через светоделительный кубик 6 оптическая марка проектируется объективом 7 на фотокатод передающей трубки в виде светящегося перекрестия на темном фоне. На экране ВКУ оператор наблюдал изображение „звезды" и марки. С помощью измерительных клиньев изображение „звезды" совмещалось с изображением марки. В этом по-

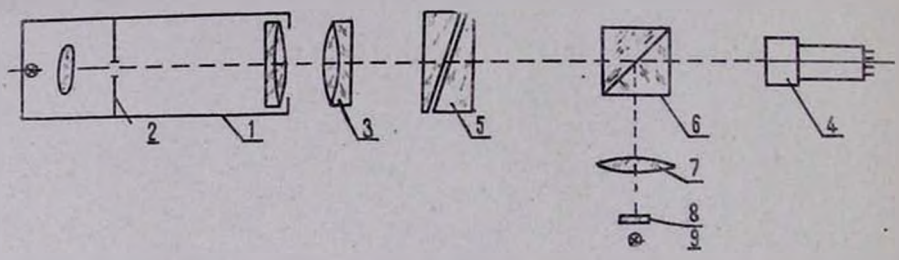

Рис. 5. Оптическая схема стенда „Искусственная звезда". 1. Коллиматор с осветителем. 2. Точечная диафрагма. 3. Объектив. 4. Передающая трубка. 5. Измерительные клинья. 6. Светоделительный кубик. 7. Объектив.

Նկ. 5. «Արհեստական աստղ» տեսնդի օպտիկական սխեմա: 1. Կոլիմատոր լուսավորիչի հետ, 2. Կետային դիաֆրագմ, 3. Օբյեկտիվ. 4. Հաղորդափողակ, 5. Չափիչ սեպեր, 6. Լուսաբաժանող խորանարդ, 7. Օբյեկտիվ:

ложении записывались показания шкалы клиньев. Затем оператор разворотом клиньев смещал изображение „звезды" в сторону и возвращал его обратно до совмещения с изображением марки. Делалась серия таких наводок. В связи с тем, что клинья отклоняли „звезду" только по одной координате, измерения производились раздельно по координатам. Делалась серия наводок „звезды" на горизонтальный штрих, затем передающая трубка совместно с отклоняющей системой разворачивалась на 90° вокруг продольной оси, после чего производилось наведение „звезды" на вертикальный штрих марки. Угловое смещение „звезды" на 1″ вызывало линейное смещение изображения „звезды" на 3,7 *мкм*. Опыт проводился с различными диафрагмами в коллиматоре: d=30, 50, 100 *мкм*. Марка при всех измерениях имела ширину штриха 20 *мкм*.

В табл. 3 приведены значения среднеквадратичной погрешности наведения точки на штрих по экрану ВКУ.

Результирующая погрешность определялась как:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2_{\text{гор}} + \sigma^2_{\text{верт.}}}. \qquad (8)$$

Как видно из таблицы, среднеквадратичная погрешность наведения на изображение „звезды" диаметром $d = 30$ *мкм* почти в два раза больше, чем на изображение с диаметром $d = 100$ *мкм*. Это может быть объяснено тем, что ширина штриха, на который произво-

дилось наведение, была соизмерима с размером изображения „звезды", при этом штрих заслонял „звезду". Во втором случае глаз оператора отмечал момент, когда штрих делил изображение „звезды" на две равные части, в этом случае точность наведения повышалась.

Таблица 3

d	$\sigma_{гор}$		$\sigma_{верт.}$		σ	
мкм	*сек дуги*	*мкм*	*сек дуги*	*мкм*	*сек дуги*	*мкм*
30	0.44	1.9	0.37	1.6	0.57	2.1
50	0.25	1.1	0.32	1.4	0.41	1.5
100	0.21	0.8	0.25	1.1	0.33	1.2

В заключение следует сказать, что в настоящее время отечественная промышленность разрабатывает телевизионную передающую трубку типа „Секон" [10], которая явится дальнейшей модернизацией видикона. Эта трубка, подобно видикону, имеет небольшие размеры и малый вес, но обладает большой светочувствительностью, примерно на два порядка. Применение этой трубки для целей гидирования позволит повысить чувствительность телевизионного гида примерно на 4 — 5 звездных величин.

Выводы: 1. Видикон, установленный в первичном фокусе телескопа типа ЗТШ, даст возможность проводить гидирование по звездам до 10,33 величины.

2. Среднеквадратичная погрешность системы телевизионного гидирования составит ± 2 *мкм* в плоскости фотокатода передающей трубки.

Ленинградское оптико-механическое
отделение

16 ноября 1971 г.

Վ. Ա. ՄԱԼԱՐԵՎ, Ն. Մ. ՆԵՊԼՅՈՒԵՎ, Ի. Կ. ՊԱՎԼՈՎ, Դ. Կ. ՏԱՄԲՈՎՍԿԻ

ԱՍՏՂԱԴԻՏԱԿՆԵՐԻ ՀԵՌՈՒՍՏԱՏԵՍԱՅԻՆ ՈՒՂԵԿՑՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Քննարկվում է աստղադիտակի առաջնային կիզակետում Ռիչիի թիթեղապանակի հեռուստատեսային ուղեկցման մի եղանակ։ Ցույց է տրված, որ վիդիկոնով հեռուստատեսային սիստեմը, հնարավորություն է տալիս առաջնային կիզակետում ուղեկցումը կատարել մինչև 10.3 աստղային մեծություն ունեցող աստղերով 260 սմ հայելու տրամագծով աստղադիտակի դեպքում։

Հեռուստատեսային ուղեկցման փորձարկումները կատարվել են ЗТЭ և ЗТШ աստղադիտակների վրա։ Հաղորդող սարքի լուսակատոդի հարթության մեջ ուղեկցման սիստեմի միջին քառակուսային սխալը կազմում է ±2 մմկ։

V. A. MALAREV, E. M. NEPLOKHOV, I. K. PAVLOV, G. K. TOMBOVSKI

ON THE TV-GIDING OF ASTRONOMICAL TELESCOPES

Summary

The method of TV-giding of the Richi plate-holder in the prime focus of the telescope is considered. It is shown that with the TV vidicon system the giding in the prime focus of the telescope with 260 *cm* diameter mirror could be done with stars having magnitudes up to $10^m.3$. The results of testing of theTV-gide with ЗТЭ and ЗТШ telescopes are given. The mean squere error of the TV-giding system is ± 2 *mkm* in the photocatode plane of the TV-tube.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Н. Ф. Купревич*, Известия ГАО, № 163, 133, 1960.
2. *А. Н. Абраменко, Прокофьева В. В.*, Изв. Крымской астрофиз. обсер., 38, 252, 1967.
3. *Б. К. Иоаннисиани*, Оптико-механическая промышленность. № 4, 37, 1970.
4. *И. Н. Пустынский, Коновалов В. Ф., Лутошкин Н. П., Иукович В. М., Подлипенский В. В., Казанцев Г. Д., Ильин А. Г., Рогалев В. Г.*, Техника кино и телевидения, № 2, 55, 1968.
5. *К. В. Михалков*, Основы телевизионной автоматики. Изд. „Энергия", 1967.
6. „Курс Астрофизики и звездной астрономии", т. 1. Гостехиздат, М.-Л., 1951.
7. *П. В. Николаев, Рожнова И. П., Сабинин Ю. А.* Сб. „Автоматизированный электропривод", Изд. „Наука". М.-Л., 1967.
8. *П. Ф. Броцлавец, Россевлевич И. А., Хромов Л. А.* Космическое телевидение, Изд. „Связь", М., 1967.
9. *В. А. Афанасьев*, „Оптические измерения. Изд. „Недра". М., 1968.
10. *Н. Я. Венедиктов, Малахов И. К.* „Техника кино и телевидения". № 7, 72, 1962.