

УДК 520.8.05

**Методика и результаты наблюдений геостационарных ИСЗ со спутниковой кассетой СКА-2**

Ю. Н. Иващенко

Приведено описание методики наблюдений геостационарных ИСЗ на двойном широкоугольном астрографе (ДША) со спутниковой кассетой СКА-2. Для оценки точности полученных результатов в течение семи ночей 87 астронегативов с тремя различными ИСЗ. Точность наблюдений составляла  $\pm 0.5''$  для геостационарных ИСЗ и  $\pm 1.0-1.5''$  для квазигеостационарных. Сделан вывод о том, что для дальнейшего повышения точности наблюдений комплекс аппаратуры СКА-2 необходимо дополнить устройством для визуального определения параметров видимого движения ИСЗ.

*METHODS AND RESULTS OF OBSERVATIONS OF GEOSTATIONARY ARTIFICIAL SATELLITES WITH THE SATELLITE PLATEHOLDER SKA-2, by Ivashchenko Yu. N.*— Methods of observation of geostationary artificial satellites carried out by a wide-angle astrograph with special equipment are discussed. The results of observations of 3 satellites are presented. The observation accuracy for geostationary objects is  $\pm 0.5''$  and for quasistationary ones is  $\pm 1.0-1.5''$ . It is concluded that to increase the accuracy of satellite observation the plateholder should be equipped with a device in the focal plane of the astrograph for visual determination of satellite orbital parameters.

Для регулярных фотографических наблюдений геостационарных ИСЗ в ГАО АН УССР разработана спутниковая кассета астрономическая (СКА-1), принцип работы которой описан в [2]. В 1984 г. создан новый вариант кассеты — СКА-2, который отличается от СКА-1 возможностью компенсации видимого движения ИСЗ в двух взаимно перпендикулярных направлениях с переменной скоростью от 0.0002 до 4.0 мм/с. СКА-2 устанавливается на двойном широкоугольном астрографе ( $D=40$  см,  $F=2$  м). Фотографирование ИСЗ и опорных звезд проводится на фотопластинки ZU-21 размером  $24 \times 24$  см. Управление циклом фотографирования осуществляется с помощью электронно-логического блока (ЭЛБ), а регистрация моментов времени — с помощью эталонной службы времени (ЭСВ). Точность регистрации моментов времени составляет  $1 \cdot 10^{-3}$  с, а точность привязки к шкале UTC равна  $(2-4) \times 10^{-3}$  с.

Процесс фотографирования ИСЗ заключается в следующем. При включенном часовом механизме ДША на фотопластинке экспонируются изображения звезд, причем продолжительность экспозиции выбирается от 20 до 140 с в зависимости от звездной величины опорных звезд. Затем пластинка приводится в движение по двум координатам со скоростью, необходимой для компенсации видимого движения ИСЗ. При необходимости скорость перемещения пластинки может плавно изменяться. Время экспозиции ИСЗ при  $m=12^m$  составляет около 2 мин. Затем пластинка останавливается для повторной экспозиции звезд. За полный цикл фотографирования на пластинке можно получить (рис. 1) два изображения ИСЗ и три изображения каждой звезды (программа 1) или одно изображение ИСЗ и два изображения каждой звезды (программа 2). Программу 1 выгодно применять для поиска ИСЗ, когда необходимо найти изображение спутника и уверенно отличить его от дефектов фотопластинки. Однако второе изображение ИСЗ получается при этом на значительном удалении от оптического центра, и правильная компенсация его перемещения усложняется из-за возрас-

тающего влияния кривизны суточной параллели. В связи с этим для высокоточных наблюдений лучше применять программу 2.

Точность фотографических наблюдений ИСЗ с помощью СКА-2 зависит от временных задержек распространения электрических сигналов в цепях аппаратуры, временных задержек начала движения и остановки пластинки, вызванных возможным наличием люфтов в редукторах, по отношению к моменту формирования сигналов «пуск» и «стоп»,

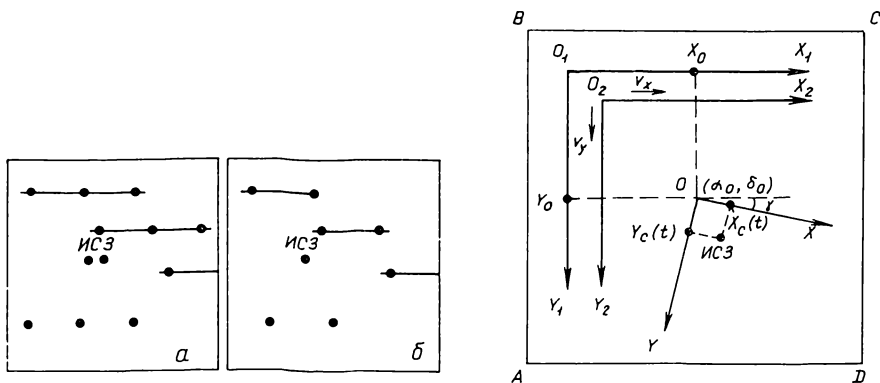


Рис. 1. Изображения звезд и ИСЗ на негативах, полученных по программам 1 (а) и 2 (б)

Рис. 2. Положение тангенциальных ( $XOY$ ) и инструментальных ( $X_1O_1Y_1$ ,  $X_2O_2Y_2$ ) систем координат на пластинке  $ABCD$

от ошибок измерений изображений ИСЗ на координатно-измерительном приборе «Аскорекорд», а также от случайных и систематических ошибок в положениях звезд опорного каталога.

Задержки сигналов в электрических цепях определены с помощью осциллографа путем непосредственных измерений на каждом из участков цепи. Максимальная задержка сигналов в цепях составляет  $3 \times 10^{-7}$  с, что соответствует систематической ошибке в положении геостационарного ИСЗ  $5 \cdot 10^{-5}$  секунд дуги. Такая погрешность пренебрежимо мала по сравнению с точностью фотографических позиционных наблюдений ИСЗ (примерно  $1''$ ).

Задержки моментов начала движения и остановки пластинки по отношению к регистрируемому моменту времени определялись с помощью двух независимых синхронизированных шкал времени. Первая из них регистрировала моменты формирования сигналов «пуск» и «стоп», а вторая — моменты начала движения и остановки пластинки. В результате около 200 измерений установлено, что запаздывание начала движения и остановки по отношению к сигналам «пуск» и «стоп» не превышает  $0.009 \pm 0.005$  с. Это соответствует ошибке  $0.14 \pm 0.08''$  в положении геостационарного ИСЗ для ДША. Поправка учитывается во всех регистрируемых моментах при обработке наблюдений.

Точность определения положений ИСЗ со СКА-2 существенно зависит от точности измерений изображений на астронегативах, которая в свою очередь зависит от правильной компенсации видимого перемещения ИСЗ. Известно, что контрастное и круглое изображение точечного объекта на фотопластинке можно измерить с точностью до  $1/10$  его диаметра. Диаметры пригодных для обработки изображений звезд на фотопластинках, полученных на ДША, составляют  $0.03$ — $0.05$  мм ( $3$ — $5''$ ). В случае наблюдений со СКА-2 неточность компенсации перемещения ИСЗ приводит к вытягиванию его изображений на пластинках. Чтобы смещение изображения ИСЗ на пластинке за время экспозиции не влияло на его форму и размеры, оно не должно превышать  $0.01$ — $0.02$  мм ( $1$ — $2''$ ).

Получим условия, при которых СКА-2 позволяет реализовать указанную точность компенсации видимого движения ИСЗ. Пусть пластинка  $ABCD$  (рис. 2) перемещается в фокальной плоскости телескопа по направлениям  $BA$  и  $BC$ ;  $XOY$  — система тангенциальных координат, связанных с оптическим центром фотопластины  $O$ , причем ось  $OY$  направлена по касательной к кругу склонений в сторону северного конца оси мира, а ось  $OX$  — по касательной к параллели в сторону увеличения прямых восхождений;  $X_1O_1Y_1$  — система координат, оси которой направлены параллельно направляющим СКА-2 в сторону движения пластинки. Начало этой системы  $O_1$  выбирается произвольно. Наконец, система  $X_2O_2Y_2$  связана с подвижной пластинкой, причем в момент начала  $t_0$  экспозиции ИСЗ она совпадает с системой  $X_1O_1Y_1$ .

Связь между всеми системами координат выражается следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} X_1 &= X \cos \gamma + Y \sin \gamma + X_0, & X_2 &= X_1 - v_x(t - t_0), \\ Y_1 &= Y \cos \gamma - X \sin \gamma + Y_0, & Y_2 &= Y_1 - v_y(t - t_0), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\gamma$  — угол между осями систем  $XOY$  и  $X_1O_1Y_1$ ;  $v_x$ ,  $v_y$  — компоненты скорости движения пластинки.

Запишем уравнения движения изображения ИСЗ в системе  $XOY$  с помощью формулы для связи идеальных и сферических координат:

$$\begin{aligned} X_c(t) &= \frac{\sin(\alpha_c(t) - \alpha_0) \cos \delta_c(t)}{\cos \delta_c(t) \cos \delta_0 + \sin \delta_c(t) \sin \delta_0 \cos(\alpha_c(t) - \alpha_0)}; \\ Y_c(t) &= \frac{\sin \delta_c(t) \cos \delta_0 - \cos \delta_c(t) \sin \delta_0 \cos(\alpha_c(t) - \alpha_0)}{\cos \delta_c(t) \cos \delta_0 + \sin \delta_c(t) \sin \delta_0 \cos(\alpha_c(t) - \alpha_0)}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\alpha_c(t)$ ,  $\delta_c(t)$  — координаты ИСЗ в момент  $t$ ;  $\alpha_0$ ,  $\delta_0$  — координаты оптического центра. Движение геостационарного ИСЗ на небесной сфере в независимой экваториальной системе координат удобно представить в следующем виде:

$$\alpha_c(t) - \alpha_0 = t - T_0 + \Delta_t(t - t_0); \quad \delta_c(t) = \delta_0 + \Delta_\delta(t - t_0), \quad (3)$$

где  $T_0$  — момент прохождения ИСЗ через оптический центр;  $\Delta_t$ ,  $\Delta_\delta$  — скорости изменения часового угла и склонения ИСЗ. Для сокращения дальнейших выкладок ограничимся рассмотрением равномерного движения ИСЗ на интервале экспозиции, хотя на практике для каждого конкретного объекта в (3) сохраняются все слагаемые со значимыми коэффициентами. Подставляя (3) в (2) и разлагая выражения для  $X_c(t)$  и  $Y_c(t)$  в ряд с точностью до первой степени относительно  $\Delta_t$  и  $\Delta_\delta$ , получаем

$$\begin{aligned} X_c(t) &= A \{ \sin(t - T_0) \cos \delta_0 + \Delta_t(t - t_0) \cos \delta_0 - \\ &\quad - 0.25A\Delta_\delta(t - t_0) \sin 2\delta_0 \sin [2(t - T_0)] \}; \\ Y_c(t) &= A [B + \Delta_\delta(t - t_0) \cos \delta_0 - AB\Delta_\delta(t - t_0) \sin \delta_0 \cos(t - T_0)], \end{aligned} \quad (4)$$

где  $A = [\cos^2 \delta_0 + \sin^2 \delta_0 \cos(t - T_0)]$ ;  $B = \sin \delta_0 \cos \delta_0 [1 - \cos(t - T_0)]$ .

В выражениях для  $X_c(t)$  и  $Y_c(t)$  первые слагаемые отражают проекцию суточной параллели  $\delta = \delta_0$  на фотопластинку, вторые — влияние изменения часового угла и склонения на его тангенциальные координаты, а третьи — влияние изменения склонения ИСЗ на проекцию суточной параллели. Заметим, что для геостационарных и квазигеостационарных ИСЗ, траектории которых для наблюдателя в северном полушарии проектируются на небесную сферу в зоне  $-15^\circ < \delta < 0^\circ$ , влияние третьих слагаемых незначительно (ими можно пренебречь). Раз-

лагая (4) по степеням  $(t-T_0)$  с точностью до членов первой степени (можно показать, что члены более высоких степеней пренебрежимо малы на интервале  $|t-T_0| \leq 5$  мин), получаем

$$X_c(t) = \frac{1}{M} [a_1(t-T_0) \cos \delta_0 + \Delta_t(t-t_0) \cos \delta_0];$$

$$Y_c(t) = \frac{1}{M} [a_2(t-T_0)^2 \sin 2\delta_0 + \Delta_\delta(t-t_0)],$$
(5)

где  $M$  — масштаб ДША в "/мм;  $a_1 = 15.041''/с$  — скорость вращения небесной сферы на экваторе;  $a_2 = 1/3647$  — коэффициент пропорциональности, возникающий при переводе  $(t-T_0)$  из радиан в секунды времени;  $\Delta_t, \Delta_\delta$  выражены в угловых секундах на секунду времени;  $t-T_0$  — в средних секундах времени;  $X_c, Y_c$  — в миллиметрах. Подставляя  $X_c$  и  $Y_c$  из (5) в (1), получим выражения для координат ИСЗ  $X_{2c}, Y_{2c}$  в системе  $X_2O_2Y_2$ . Для неподвижного изображения ИСЗ на фотопластинке должно выполняться условие:  $dX_{2c}/dt = 0$ ;  $dY_{2c}/dt = 0$ . Это приводит к следующим выражениям для скоростей  $v_x$  и  $v_y$ :

$$v_x = \frac{dX_{1c}}{dt} = \frac{1}{M} \{(a_1 + \Delta_t) \cos \delta_0 \cos \gamma + [2a_2 \sin 2\delta_0 (t - T_0) + \Delta_\delta] \sin \gamma\};$$

$$v_y = \frac{dY_{1c}}{dt} = \frac{1}{M} \{[2a_2 \sin 2\delta_0 (t - T_0) + \Delta_\delta] \cos \gamma - (a_1 + \Delta_t) \cos \delta_0 \sin \gamma\}.$$
(6)

В случае совпадения направлений осей координат  $XOY$  и  $X_1O_1Y_1$  ( $\gamma = 0$ ) имеем  $v_x = \frac{1}{M} (a_1 + \Delta_t) \cos \delta_0$ ,  $v_y = \frac{2}{M} a_2 \sin 2\delta_0 (t - T_0) + \Delta_\delta$ , а для гео-стационарного ИСЗ ( $\Delta_t = 0$ ,  $\Delta_\delta = 0$ ) и  $\gamma = 0$  на интервале  $|t - T_0| \leq 3$  мин получаем  $v_x = (a_1/M) \cos \delta_0$ ,  $v_y = 0$ .

Компоненты скорости фотопластинки  $v_x$  и  $v_y$  на практике задаются периодами следования импульсов  $T_x$  и  $T_y$  на шаговые двигатели, причем  $T_x = k/(c v_x)$ ,  $T_y = k/(c v_y)$ , где  $k$  — шаг резьбы винтов редукторов;  $c$  — число обмоток шагового двигателя. Таким образом, для компенсации движения ИСЗ необходимо иметь численные значения позиционно-го угла  $\gamma$  установки СКА-2, масштаба телескопа  $M$  и шага резьбы винтов  $k$ . Заметим, что применение средних (приближенных) значений отмеченных величин не обеспечивает нужной точности компенсации. Кроме того, следует оценить влияние членов при  $(t-T_0)$  в (6), учитывающих кривизну параллели. Расчеты показывают, что этими членами можно пренебречь на интервале  $(t-t_0) \leq 6$  мин, если ИСЗ проходит через оптический центр в середине экспозиции.

Для определения величин, необходимых для компенсации видимого движения ИСЗ, проведено исследование ДША и СКА-2. Установка СКА-2 по позиционному углу осуществляется с помощью двух нониусов; их нуль-пункты соответствуют отсчетам позиционного круга касетной части ДША, при которых пластинка в фокальной плоскости телескопа двигалась параллельно движению экваториальных звезд при выключенном часовом механизме. Масштаб ДША определен геометрическим методом [4], по которому обработано 12 фотографий астрометрического стандарта Московской зенитной зоны [6]. Шаг резьбы винтов определен путем сравнения длины пути, пройденного пластинкой, и числа импульсов, поступивших при этом на шаговый двигатель. Помимо перечисленных параметров найдены их зависимость от температуры, положение оптического центра на фотопластинке и кривизна направляющих СКА-2. Результаты исследования ДША и СКА-2 приведены в табл. 1, где  $S_{300}$ ,  $S_{200}$  и  $S_{100}$  обозначают возможные смещения изоб-

ражения ИСЗ на фотопластинке за 300, 200 и 100 с, вызванные ошибками определения каждого параметра.

Кроме перечисленных параметров для компенсации движения ИСЗ необходимо иметь численные значения  $\Delta t$ ,  $\Delta \delta$  и (в общем случае) их изменения во времени. Точность определения этих величин должна быть не хуже  $0.01''/с$  при времени экспозиции 200 с. Не располагая эфеме-

Таблица 1. Численные значения параметров ДША и СКА-2

| Параметр                                     | Значение     | Погрешность   | $S_{300}$ | $S_{200}$ | $S_{100}$ |
|--|--------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| Нуль-пункт позиционного угла                 |              |               |           |           |           |
| $\gamma_1$                                   | 180°05'      | $\pm 1.5'$    | 1.8"      | 1.3"      | 0.7"      |
| $\gamma_2$                                   | 90°06'       | $\pm 1.5'$    | 1.8       | 1.3       | 0.7       |
| Масштаб $M$ , "/мм                           | 102.86       | $\pm 0.01$    | 0.9       | 0.6       | 0.3       |
| $dM/dt$ , "/(мм·град)                        | 0.005        | —             | —         | —         | —         |
| Шаг резьбы $k$ , мм                          | 0.5005       | $\pm 0.00014$ | 1.3       | 0.8       | 0.4       |
| $dk/dt$ , мм/град                            | 0.00003      | —             | —         | —         | —         |
| Кривизна направляющих, мм                    | $\leq 0.003$ | —             | 0.3       | 0.3       | 0.3       |
| Вероятная ошибка компенсации перемещения ИСЗ | —            | —             | 4.0       | 2.2       | 1.0       |

ридами ИСЗ, для решения поставленной задачи мы использовали визуальные наблюдения ИСЗ на гиде ДША ( $D=19.2$  см,  $F=3$  м,  $M_2=68.32''/мм$ ), который снабжен двухкоординатным окулярным микрометром с ценой деления 0.01 мм. Визуальные наблюдения фотометрических стандартов показали, что в гиде видны объекты до  $13^m$ , а окулярным микрометром можно проводить уверенные измерения положений объектов  $12^m$ . Измеряя относительные изменения координат ИСЗ  $\Delta X$  и  $\Delta Y$  за время  $\Delta t$  в поле зрения гида, можно определить искомые величины  $\Delta t$  и  $\Delta \delta$  по формулам  $\Delta t = (\Delta X/\Delta t) M_2$ ,  $\Delta \delta = (\Delta Y/\Delta t) M_2$ .

Для вычисления периодов следования импульсов  $T_x$  и  $T_y$  и их изменения в процессе экспозиции комплекс аппаратуры СКА-2 снабжен мини-ЭВМ, которую в дальнейшем планируется использовать как управляющее устройство вместо ЭЛБ.

С учетом изложенного методика наблюдений ИСЗ с кассетой СКА-2 сводится к следующему.

1. По эфемеридам с помощью гида ДША проводится визуальный поиск ИСЗ. Часовой механизм ДША останавливается, крест нитей гида наводится на объект, снимаются отсчеты микрометра, которые вводятся в ЭВМ. Восемь—десять повторных наведений креста нитей на ИСЗ проводятся с интервалом 1—2 мин.

2. Визуально оценивается блеск ИСЗ и в соответствии с этим определяется время его экспозиции.

3. СКА-2 устанавливается по позиционному углу на угол  $\gamma_1$ , если склонение  $\delta$  ИСЗ увеличивается, или на угол  $\gamma_2$ , если  $\delta$  уменьшается.

4. На ЭЛБ устанавливаются  $T_x$  и  $T_y$  и их изменения за секунду, время экспозиции звезд и ИСЗ (программа наблюдений 2).

5. Вставляется кассета с фотопластинкой, ДША устанавливается так, чтобы ИСЗ находился в оптическом центре в середине экспозиции, открывается заслонка телескопа и подается команда «пуск». После окончания цикла фотографирования на пластинке экспонируется одно изображение ИСЗ и два изображения каждой звезды (рис. 1).

После проявления и сушки фотопластинки измеряются на «Аско-рекорде»: сначала — геометрический центр изображения ИСЗ, а затем — две группы опорных звезд, равномерно расположенных вокруг него в радиусе примерно  $1^\circ$ . Положение ИСЗ относительно первой группы звезд соответствует моменту начала экспозиции  $t_n$ , а относительно второй группы — моменту конца экспозиции  $t_k$ .

В результате обработки измерений на ЭВМ получаем экваториальные координаты ИСЗ  $\alpha_n, \delta_n, \alpha_k, \delta_k$  на моменты  $t_n$  и  $t_k$ , причем  $\alpha_n = \alpha_n^* + 0.5S_{\alpha}$ ,  $\delta_n = \delta_n^* + 0.5S_{\delta}$ ,  $\alpha_k = \alpha_k^* - 0.5S_{\alpha}$ ,  $\delta_k = \delta_k^* - 0.5S_{\delta}$ , где  $\alpha_n^*, \delta_n^*, \alpha_k^*, \delta_k^*$  — координаты ИСЗ на моменты  $t_n$  и  $t_k$ , неискаженные смещением изображения на пластинке;  $S_{\alpha}, S_{\delta}$  — проекции вектора смещения изображения ИСЗ на пластинке за время экспозиции. Для уменьшения влияния этого смещения на точность положений ИСЗ выводятся координаты на средний момент  $t_c = 0.5(t_n + t_k)$  по формулам  $\alpha_c = 0.5(\alpha_n + \alpha_k)$ ,  $\delta_c = 0.5(\delta_n + \delta_k)$ .

Для оценки точности наблюдений по изложенной методике получено в течение семи ночей 87 астропегативов с изображениями трех различных ИСЗ. За ночь для каждого ИСЗ получалось от 8 до 16 астропегативов. Два ИСЗ представляют собой геостационарные объекты ( $\Delta_t, \Delta_{\delta} \approx 0$ ), а третий — квазигеостационарный ( $\Delta_t, \Delta_{\delta} > 0.01''/c$ ). В качестве опорных использованы каталог-атлас для телевизионных наблюдений ИСЗ [7], каталоги SAO и ФОКАТ [5].

Вопрос об оценке точности наблюдений геостационарных ИСЗ рассмотрен в [3], где средняя квадратичная ошибка положения определяется по формуле  $\sigma_1 = (\sigma_{\text{сн}}^2 + \sigma_{\text{ред}}^2)^{1/2}$ . Здесь  $\sigma_{\text{ред}}^2 = x^2(\sigma_a^2 + \sigma_d^2) + y^2(\sigma_b^2 + \sigma_e^2) + \sigma_c^2 + \sigma_f^2 + [(\xi x)^2 + (\eta x)^2] \sigma_k^2 + [(\eta y)^2 + (\xi y)^2] \sigma_l^2$ , где  $\sigma_a, \sigma_b, \dots, \sigma_l$  — средние квадратичные ошибки постоянных из уравнений связи между измеренными и тангенциальными координатами звезд в методе редукций с восемью постоянными;  $x, y, \xi, \eta$  — измеренные и тангенциальные координаты ИСЗ соответственно;  $\sigma_{\text{сн}}$  — средняя квадратичная ошибка наведения на изображение ИСЗ при измерении на «Аскоркорде».

С другой стороны, точность наблюдений ИСЗ можно также оценить по отклонениям отдельных положений от сглаженной кривой, заданной в виде полиномов

$$\alpha_i = \sum_{j=0}^{N_1} a_j (T_i)^j; \quad \delta_i = \sum_{j=0}^{N_2} d_j (T_i)^j. \quad (7)$$

Здесь через  $\alpha_i, \delta_i$  обозначены наблюдаемые координаты ИСЗ на момент  $T_i$ , а  $N_1$  и  $N_2$  — степени полиномов, которые для каждого сеанса выбирались по критерию [8]. По отклонениям вычисляется средняя квадратичная ошибка

$$\sigma_2 = (\sigma_{\alpha}^2 + \sigma_{\delta}^2)^{1/2}; \quad \sigma_{\alpha} = \left( \sum_{i=1}^N \frac{v_{\alpha i}^2}{N - N_1} \right)^{1/2}; \quad \sigma_{\delta} = \left( \sum_{i=1}^N \frac{v_{\delta i}^2}{N - N_2} \right)^{1/2},$$

где  $N$  — число наблюдений за сеанс;  $v_{\alpha i}, v_{\delta i}$  — отклонения наблюдений от кривой (7). Подобным методом, например, оценивалась точность наблюдений геостационарных ИСЗ на камере ВАУ [1].

Оценки точности наблюдений приведены в табл. 2, в которой кроме величин  $\Delta_t, \Delta_{\delta}, \sigma_1, \sigma_{\alpha}, \sigma_{\delta}, \sigma_2$  даны средние значения диаметров  $d$  изображений ИСЗ на фотопластинках. Анализ результатов (табл. 2) позволяет сделать следующие выводы.

1. В настоящее время точность наблюдений геостационарных ИСЗ с помощью СКА-2 составляет около  $0.5''$ , а квазигеостационарных — примерно  $1.0-1.5''$ . Основными причинами неодинаковой точности определения координат этих объектов являются большая погрешность установки СКА-2 по позиционному углу и недостаточная точность определения компонентов скорости  $\Delta_t$  и  $\Delta_{\delta}$ , необходимых для отслеживания квазигеостационарных ИСЗ. Вследствие этого изображения получают несколько расширенными, на что указывает зависимость между диаметрами изображений  $d$  и оценками  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ . Для дальнейшего по-

вышения точности наблюдений ИСЗ комплекс аппаратуры СКА-2 целесообразно дополнить устройством для визуального обнаружения и определения параметров движения ИСЗ, что позволит определять скорость движения спутников с ошибкой не хуже  $0.01''/с$ . Таким образом будет достигнуто получение более качественных изображений геоста-

Таблица 2. Сведения о точности положений ИСЗ

| Номер ИСЗ | Количество пластинок | Параметры движения, $''/с$ |                 | $\sigma_t$ | $\sigma_\alpha$ | $\sigma_\delta$ | $\sigma_z$ | $d$   | Примечание        |
|-----------|----------------------|----------------------------|-----------------|------------|-----------------|-----------------|------------|-------|-------------------|
|           |                      | $\Delta_t$                 | $\Delta_\delta$ |            |                 |                 |            |       |                   |
| 1         | 16                   | 0.009                      | -0.010          | 0.55''     | 0.41''          | 0.49''          | 0.63''     | 5.1'' | Геостационар      |
| 1         | 11                   | 0.009                      | -0.010          | 0.47       | 0.15            | 0.34            | 0.37       | 4.3   | »                 |
| 1         | 13                   | 0.007                      | -0.009          | 0.41       | 0.45            | 0.62            | 0.77       | 4.7   | »                 |
| 2         | 11                   | 0.023                      | -0.200          | 0.87       | 0.66            | 0.67            | 0.94       | 7.9   | Квазигеостационар |
| 1         | 9                    | 0.010                      | -0.011          | 0.55       | 0.28            | 0.32            | 0.43       | 3.8   | Геостационар      |
| 3         | 8                    | 0.006                      | 0.0             | 0.65       | 0.30            | 0.31            | 0.43       | 4.5   | »                 |
| 2         | 9                    | 0.0                        | -0.094          | 1.08       | 1.26            | 1.37            | 1.87       | 8.8   | Квазигеостационар |
| 3         | 10                   | 0.014                      | 0.0             | 0.45       | 0.29            | 0.34            | 0.44       | 3.2   | Геостационар      |

ционарных и квазигеостационарных ИСЗ, а следовательно, и определение их координат с точностью около  $0.3-0.5''$ .

2. По нашему мнению, для наблюдений ИСЗ наиболее подходит каталог ФОКАТ, в котором сочетается сравнительно большая плотность звезд (около десяти на квадратный градус) и высокая точность координат в случайном отношении. Этим он выгодно отличается от каталога SAO и каталога-атласа для телевизионных наблюдений ИСЗ, который имеет барьерную структуру и поэтому может быть использован только в определенные моменты времени.

1. Башарин А. М., Рева В. Г., Русин Ю. В. Исследование точности определения угловых координат геостационарных спутников по результатам наблюдений камерой ВАУ в Звенигороде // Науч. информ. Астрон. совет АН СССР.— 1986.— 58.— С. 23—30.
2. Дума Д. П. Проблема определения высокоточных координат искусственных небесных тел фотографическим способом // Астрон. журн.— 1984.— 61, вып. 1.— С. 184—190.
3. Дума Д. П., Иващенко Ю. Н., Шокин Ю. А. Опыт определения высокоточных координат геостационарных ИСЗ с помощью широкоугольного астрографа и специальной кассеты // Кинематика и физика небес. тел.— 1986.— 2, № 2.— С. 86—88.
4. Киселев А. А., Кияева О. В., Калциченко О. А. Геометрический метод астрометрической редукции фотографий и его применение для калибровки широкоугольных камер // Изв. Глав. астрон. обсерватории в Пулкове.— 1976.— № 194.— С. 149—157.
5. Положенцев Д. Д., Поттер Х. И. Об опорном фотографическом каталоге южного неба // Астрометрия и астрофизика.— 1979.— Вып. 39.— С. 63—66.
6. Шокин Ю. А., Евстигнеева И. М. Широкоугольный астрометрический стандарт в Московской зенитной зоне // Тр. Гос. астрон. ин-та им. П. К. Штернберга.— 1983.— 55.— С. 3—20.
7. Шокин Ю. А., Пономарев Д. И., Евстигнеева И. М. Каталог-атлас опорных звезд для телевизионных определений угловых координат стационарных объектов // Задачи современной астрометрии в создании инерциальной системы координат.— Ташкент: Фан, 1981.— С. 191—203.
8. Eichhorn H., Cole C. S. Problems in data compilation // Celest. Mech.— 1985.— 37.— P. 263—275.