

Г. Д. ФЕДОРУК

ЭЛЕКТРОННО-МЕХАНИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ТРАНСФОРМИРОВАНИЯ КООРДИНАТ ТОЧЕК

Использование средств автоматики, вычислительной техники, электроники для решения комплекса задач по преобразованию изображений фотоснимка заставляет несколько критически отнестись к устоявшейся конструкции обрабатывающих фотограмметрических приборов.

Многообразие методов получения снимков, используемой съемочной аппаратуры, видов готовой продукции обусловило наличие десятков фотограмметрических приборов.

Однако среди них трудно назвать хотя бы одну конструкцию, удовлетворяющую универсальности решения большинства задач по обработке фотоснимков.

Узлы прибора объединены в единую, как правило, механически связанную между собой систему. Большинство зарубежных конструкций осуществлено по принципу подобия геометрии съемки.

Изменение условий обработки приводило к моральному старению конструкции в целом.

Если создание такого рода приборов было оправдано раньше, то в настоящее время основное внимание должно быть уделено разработке приборов, использующих современные достижения техники.

Современный прибор должен удовлетворять следующим основным условиям: а) быть универсальным в отношении вида и параметров съемок; б) обеспечивать инструментальную точность измерений порядка нескольких микрон; в) иметь решающие устройства, обеспечивающие точность результатов, близкую к точности измерений, а при необходимости исправляющие результаты за любое число причин, которые могут быть выражены математически (кривизна Земли, рефракция, дисторсия и т. д.); г) дальнейшее совершенствование отдельных узлов прибора не должно исключать использование всей конструкции в целом; д) обеспечивать использование решающих и выходных устройств различного типа, исходя из класса точности производимых работ и их назначения; должен быть разработан комплект таких устройств, поставляемых заказчику в любой комбинации. Это условие позволит эксплуатировать прибор с большим экономическим эффектом. Кроме того, прибор должен быть быстродействующим, иметь автоматическое управление, что обеспечит его конкурентоспособность.

Принципиально такой прибор должен быть построен по принципу решения «математической» засечки и иметь примерно следующую конструкцию: измерительную часть типа стереокомпаратора с дифференциальными каретками, решающую часть и выходные устройства. Каждая часть должна быть скомпонована отдельным блоком.

Для обмена информацией между узлами прибора должна существовать система стандартизованных передаточных устройств немеханического типа.

При таком построении прибора, используя одну и ту же измерительную часть простым подключением различных решающих и выходных устройств, можно обслужить основной комплекс задач по фотограмметрической обработке различных съемок.

При этом не накладывается условий к типу решающих и выходных устройств.

По мере совершенствования они могут быть, безболезненно для конструкции в целом, заменены другими. (Прототипом такого прибора является «Аналитический плоттер» АР).

В качестве элементов, служащих для передачи информации между отдельными узлами прибора, в настоящее время широко используется сельсинная следящая система (хотя может быть использована и любая другая).

Использование сельсинов для передачи движений позволяет удобно разместить отдельные узлы прибора, разгрузить измерительную его часть, обеспечить взаимозаменяемость отдельных узлов и т. д.

Более того, с использованием сельсинов можно более рационально решать и логическую схему обрабатывающего прибора.

В Проблемной лаборатории МИИГАиК под руководством автора были проведены разработка, макетирование и исследование устройств трансформирования координат точек аэроснимков с использованием сельсинной следящей системы *.

Трансформирующие устройства позволяют отрабатывать поправки в измеренные на стереокомпарателе величины x и y снимка, обусловленные элементами ориентирования a , ω и b_z .

В основу построения поправок, вызванных угловыми величинами, положена известная зависимость:

$$\Delta r = \frac{r_t r}{f} \sin \alpha_i, \quad (1)$$

где Δr — поправка некоторого направления с началом в точке нулевых искажений;

r — расстояние до текущей точки от точки нулевых искажений на плановом снимке;

r_t — то же на горизонтальном снимке;

α_i — угол наклона снимка вдоль выбранного направления.

Замена текущего угла наклона α_i при компараторном решении постоянными углами вдоль осей x и y (α_x и α_y) приводит к системе уравнений поправок координат x и y , измеренных на приборе:

$$\begin{aligned} \Delta x' &= \frac{x_t x}{f} \sin \alpha_x, \\ \Delta y' &= \frac{y_t x}{f} \sin \alpha_x, \\ \Delta x'' &= \frac{x_t y}{f} \sin \alpha_y, \\ \Delta y'' &= \frac{y_t y}{f} \sin \alpha_y. \end{aligned} \quad (2)$$

* Подробное устройство, материалы предварительных исследований механизмов приводятся в статье асп. Б. А. Новаковского «Исследования возможностей использования сельсинов в конструкциях устройств трансформирования аэроснимков»

Откуда суммарные поправки будут равны:

$$\Delta x = \Delta x' + \Delta x'' = \frac{x_t x}{f} \sin \alpha_x + \frac{x_t y}{f} \sin \alpha_y,$$

$$\Delta y = \Delta y' + \Delta y'' = \frac{y_t x}{f} \sin \alpha_x + \frac{y_t y}{f} \sin \alpha_y. \quad (3)$$

Для реализации зависимостей (3) построен механизм, функциональная схема которого представлена на рисунке.

Имеется две аналогичные системы линеек. Каждая из линеек выполняет следующие функции:

Линейки L_1 и L_2 имеют перемещения вдоль осей xx механизма на величины x и y точек измеряемых снимков и могут наклоняться на углы γ_1 и γ_2 .

На линейки опираются ролик ползушки рычагов r_1 и r_2 , жестко скрепленных с угольниками $l_1 o_1 l_1'$, $l_2 o_2 l_2'$. При перемещении наклонных линеек происходит разворот угольников. Стороны угольников строят на расстоянии x_t и y_t от оси вращения некоторые поправки $\Delta x'$, $\Delta y'$, $\Delta x''$, $\Delta y''$.

Нетрудно доказать, что для определенных значений углов наклона линеек эти поправки будут соответствовать записанным формулам (3).

Из рисунка следует:

$$n_1 n_1' = x \operatorname{tg} \gamma_1$$

$$n_1 n_1' = r \operatorname{tg} \psi_1 = r \frac{(\Delta y')}{y_t} = r \frac{(\Delta x')}{x_t},$$

Откуда

$$(\Delta y') = \frac{x y_t}{r} \operatorname{tg} \gamma_1,$$

$$(\Delta x') = \frac{x x_t}{r} \operatorname{tg} \gamma_1.$$

Аналогично для второй системы линеек

$$(\Delta y'') = \frac{y y_t}{r} \operatorname{tg} \gamma_2,$$

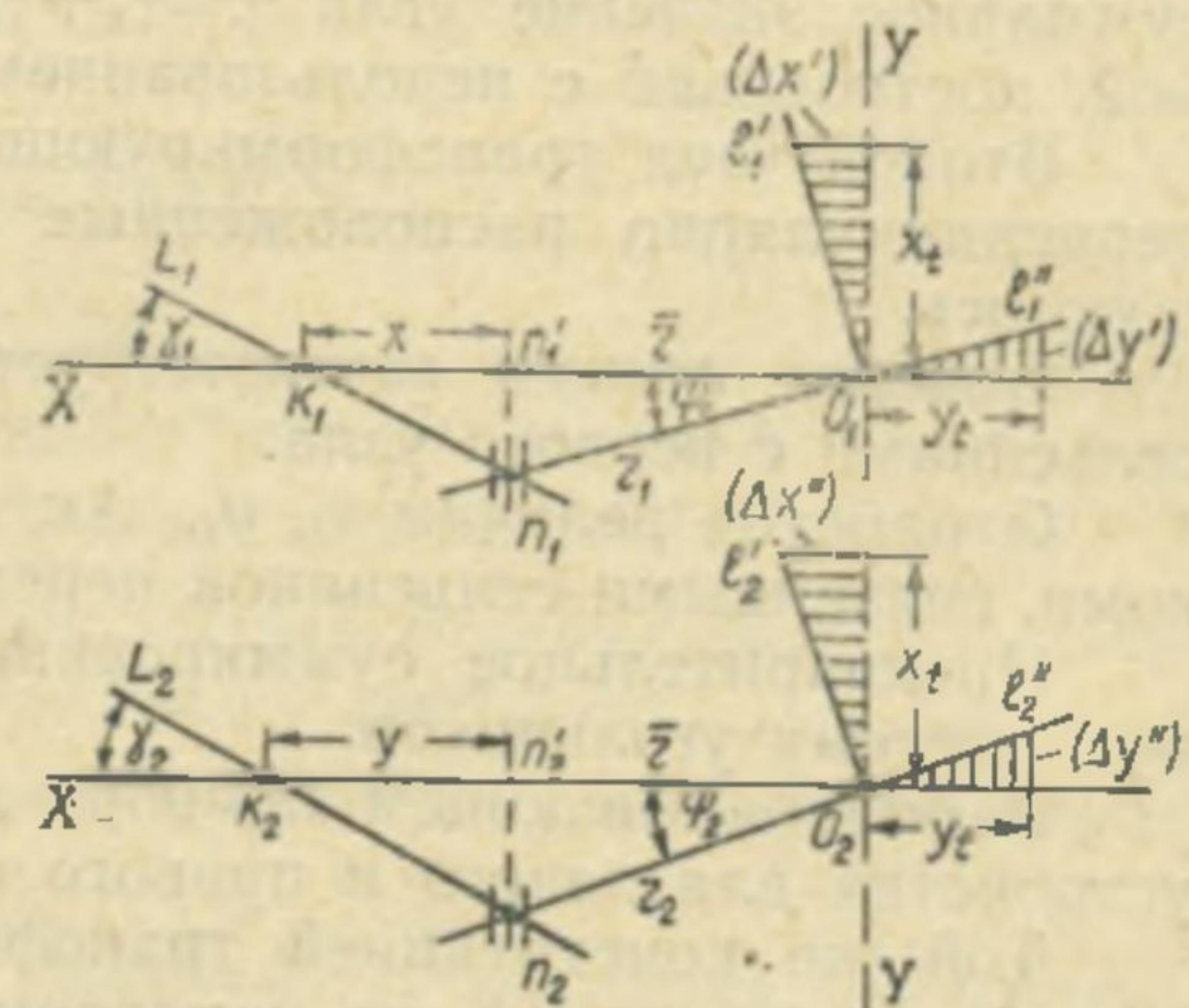
$$(\Delta x'') = \frac{y x_t}{r} \operatorname{tg} \gamma_2. \quad (3')$$

Из сравнения (3') с формулами (2) следует, что если установить наклоны линеек так, чтобы

$$\operatorname{tg} \gamma_1 = \frac{r}{f} \sin \alpha_x,$$

$$\operatorname{tg} \gamma_2 = \frac{r}{f} \sin \alpha_y,$$

то отработанные механизмом величины поправок будут соответствовать искомым, после выполнения их алгебраического суммирования.



Осуществить рассмотренную схему трансформирования координат точек снимка удобнее и проще с помощью немеханических связей с измерительным прибором, поскольку в решении возникает требование транспортирования от прибора величин x , y , x_t , y_t к прибору Δx , Δy и алгебраического суммирования поправок.

Кроме того, использование немеханических связей позволяет упростить конструкцию механизма. Немеханическая связь осуществлена с помощью сельсинов.

При конструктивном воплощении схемы линейки L_1 и L_2 и рычаги r_1 и r_2 выделены в отдельный узел. Выходными данными узла является суммарное значение угла $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2$. Суммирование производится схемой, построенной с использованием дифференциального сельсина.

Второй узел трансформирующего устройства включает в себя две перпендикулярно расположенные линейки, посаженные на одну общую ось.

Поворот линеек соответствует суммарному углу γ , переданному сельсинами с первого узла.

Отработка величин x_t , y_t , Δx , Δy осуществляется особыми ползунками, связанными сельсинной передачей с измерительным прибором.

Предварительное суммирование углов позволило исключить вторую систему угольников.

В обрабатывающем приборе должны существовать два подобных устройства для левого и правого снимков.

Той же конструкцией трансформирующего устройства можно исключать и влияние b_z на измеряемые по снимку координаты.

Известно, что

$$\Delta r = \frac{r}{f} b_z = \frac{r}{f} p \nu = \frac{r}{f} \nu b + \frac{r}{f} \nu \Delta p, \quad (4)$$

где r — некоторый радиальный отрезок;

Δr — его искажение, вызванное наличием b_z ;

ν — угол наклона базиса.

В компараторном решении формула запишется так:

$$\begin{aligned} \Delta x &= x \frac{\nu}{f} b + x \frac{\nu}{f} \Delta p, \\ \Delta y &= y \frac{\nu}{f} b + y \frac{\nu}{f} \Delta p \end{aligned} \quad (5)$$

или, вводя обозначения,

$$\begin{aligned} \Delta x &= x \varphi + x \Delta \varphi, \\ \Delta y &= y \varphi + y \Delta \varphi. \end{aligned} \quad (5')$$

Обращаясь к схеме устройства (см. рисунок), нетрудно видеть, что первые основные части формул исключаются поворотом угольников на постоянный угол φ .

При некоторой модернизации механизма, сделав угол поворота линеек переменным $\varphi = \varphi + \Delta \varphi$, будет решен и второй член формулы.

Наконец, устройством может быть исключена неравномерная деформация фотоизображения вдоль одной из осей. Для этого достаточно наклонить только одну сторону угольника (одну из линеек в конструктивном решении).

Предварительные испытания макета устройства показали правильность теоретических предпосылок, изложенных в статье.