

GŁÓWNY URZĄD POMIARÓW KRAJU
PRACE GEODEZYJNEGO INSTYTUTU NAUKOWO-BADAWCZEGO
TRAVAUX DE L'INSTITUT GÉODÉSIQUE

Nr 11

M. B. PIASECKI

FOTOGRAMETRIA PŁASKA

TECHNIKA I ORGANIZACJA ZDJĘĆ
W TERENACH PŁASKICH

ПЛОСКАЯ ФОТОГРАММЕТРИЯ
PHOTOGRAMMÉTRIE PLANE

W A R S Z A W A 1951

PAŃSTWOWE PRZEDSIĘBIORSTWO FOTOGRAMETRII I KARTOGRAFII

ERRATA

Str.	Wiersz	Wydrukowano	Powinno być
13	od góry 11—12	wielkości	wielkość
16	rysunek 10	odwrócony	
16	od góry 7	$\sin \varphi' - \varphi$	$\sin (\varphi' - \varphi)$
16	„ „ 9	$\sin 90 - \varphi'$	$\sin (90 - \varphi')$
16	„ „ 10	$\cos 90 - \varphi'$. $(\varphi' - \varphi$	$\cos (90 - \varphi') . (\varphi' - \varphi)$
16	„ „ 16	$\operatorname{tg} (90 - \varphi'$	$\operatorname{tg} (90 - \varphi')$
38	„ „ 17	zasdzie	zasadzie
58	„ „ 14	$= \cdot \frac{2 \sin^2 \frac{\gamma}{2}}{2 \sin \frac{\gamma}{2} \cdot \cos \frac{\gamma}{2}}$	$= f \cdot \frac{2 \sin^2 \frac{\gamma}{2}}{2 \sin \frac{\gamma}{2} \cdot \cos \frac{\gamma}{2}}$
86	rysunek 76	nie odbito m	
90	od góry 15	$d_1 = d \cdot \cos \gamma' \cdot \sin \gamma_i$	$d_1 = d \cdot \cos \xi' \cdot \sin \gamma_i$
90	„ „ 24	$\frac{l'}{c'} = \lambda \cdot \cos$	$\frac{l'}{c'} = \lambda \cdot \cos \xi$
99	od dołu 7	Przy pracach topograficznych w skalach od 1:10 000 do 1:25 000 lub	Przy pracach mniej ważnych można po prostu nałożyć arkusz koda-
99	„ „ 4	światokopie	światłokopie
107	„ „ 2	α i γ	α i β
108	„ „ 12	O'_{i+}	O'_{i+1}
108	ostatni	$O_2 O'_1$ i $O_3 O''_1$	$O'_2 O'_4$ i $O'_3 O''_4$
116	od góry 11	zestrojenie	zestrojeniu
116	„ „ 22	obrazu	obraz
143	„ „ 8	Inwersoren	Inversoren

GŁÓWNY URZĄD POMIARÓW KRAJU
PRACE GEODEZYJNEGO INSTYTUTU NAUKOWO-BADAWCZEGO
TRAVAUX DE L'INSTITUT GÉODÉSIQUE

Nr 11

M. B. PIASECKI

FOTOGRAMETRIA PŁASKA

TECHNIKA I ORGANIZACJA ZDJĘĆ
W TERENACH PŁASKICH

ПЛОСКАЯ ФОТОГРАММЕТРИЯ
PHOTOGRAMMÉTRIE PLANE

W A R S Z A W A 1951

PAŃSTWOWE PRZEDSIĘBIORSTWO FOTOGRAMETRII I KARTOGRAFII

PPFiK. Zest. 12 (7). — Nakład 1000. — Papier druk. sat. V kl. 70 gr. 70 × 100. — Druk ukończono 20.11.51.

B.Z.G. — Druk. Wąbrzeźno — 432. — 30. 4. — 20. 11. 51. — E-2-13716.

W S T Ę P

Celem fotogrametrii jest mierzenie utworów przestrzennych na podstawie zdjęć fotograficznych. Ponieważ dzięki rozwojowi techniki budowy obiektów zdjęć fotogrametryczne są wiernymi odwzorowaniami perspektywicznymi fotografowanych przedmiotów, zagadnienie to sprowadza się do rozwiązania znanego w geometrii wykreślnej zadania odwrotnego teorii rzutu środkowego.

Zagadnienie to po raz pierwszy zostało rozpracowane przez J. H. Lamberta i opublikowane w r. 1759 w dziele pt. „Freye Perspektive“. Z tego czasu zachowało się kilka przykładów zastosowania rozpracowanej przez Lamberta teorii do geodezji w postaci planów opracowanych na podstawie odręcznie wykonanych rysunków perspektywicznych. Po wynalezieniu fotografii, w r. 1859 kpt. wojsk inżynierskich Aimé Laussedat zbudował kamerę pomiarową i w tymże roku wykonał zdjęcia części Paryża dając podstawy pierwszej i najstarszej metodzie fotogrametrycznej, znanej w literaturze pod nazwą fotogrametrii stolikowej lub metody Laussedat.

Szerokie rozpowszechnienie zyskuje fotogrametria z chwilą wprowadzenia metod stereoskopowych, początkowo w zastosowaniu do zdjęć z ziemi, a później i z powietrza. Metody stereoskopowe są obecnie wyłącznie stosowane do opracowywania planów sytuacyjno-wysokościowych, a stopniowe wynalazki i udoskonalenia sprawiły, że w wielu wypadkach plany tą drogą sporządzone przewyższają pod względem dokładności plany opracowane na podstawie pomiarów bezpośrednich w terenie.

Nieznani są pionierzy zdjęć z powietrza. Pierwsze takie zdjęcia były robione z latawców i balonów, ale nie udało się wtedy rozwiązać tego problemu w sposób ekonomiczny. Między innymi, wspomniany wyżej A. Laussedat już od roku 1866 zajmował się wykorzystywaniem do celów topograficznych zdjęć lotniczych, wykonanych z balonu na uwięzi. Pierwszym, który dał teoretyczne podstawy fotogrametrii z powietrza, zwanej również aerofotogrametrią, był kpt. Th. Scheimpflug z Wiednia. Wy-

kazał on, że na podstawie fotografii płaskiego terenu, znając położenie 4 punktów, trygonometrycznie wyznaczonych w terenie, można uzyskać plan tego terenu drogą przeffotografowania.

Istotny rozwój aerofotogrametrii datuje się od pierwszej wojny światowej, tj. od roku mniej więcej 1920. Rozwój lotnictwa w czasie wojny światowej sprawił, że aerofotogrametria dostała wygodny środek do wykonywania zdjęć z powietrza w postaci samolotu. Od tego czasu, z każdym niemal rokiem zaczęły się pojawiać coraz to nowe odkrycia i wynalazki, rozwijające i udoskonalające tę nową dziedzinę geodezji, która stopniowo wyodrębniła się w oddzielną naukę.

Jedna z metod, wykazująca wprawdzie pewne niedociągnięcia pod względem dokładności, ale ze względu na jej bezkonkurencyjną prostotę i inne zalety znajdująca stale bardzo duże zastosowanie, polega na przetwarzaniu pojedynczych zdjęć lotniczych na plany w żądanej skali. Metoda ta pozwala jedynie na opracowanie sytuacji i to tylko w terenach płaskich, gdyż, jak się później przekonamy, wszelkie nierówności terenu powodują skażenia, a usunięcie ich wymaga dodatkowych manipulacji, które mogą spowodować, że stosowanie tej metody ze względów ekonomicznych przestaje być celowe.

U nas w Polsce, ze względu na olbrzymie zniszczenia i wzrastające stale tempo odbudowy i rozbudowy gospodarczej kraju, metoda ta w okolicach równinnych, jakich mamy wiele, jest bezkonkurencyjna do szybkiego sporządzenia podkładów do planowania. Metoda ta była stosowana już przed ostatnią wojną światową na dużą skalę: przez Ministerstwo Robót Publicznych w latach 1929—1931 do opracowania planów rzek poleskich; przez Wojskowy Instytut Geograficzny do opracowywania nowych map szczegółowych i reambulacji map już istniejących, wreszcie przez Wydział Aerofotogrametryczny PLL „Lot“ (zwany w skrócie „Fotolotem“) do opracowywania planów dla Biur Regionalnych, Dyrekcyj Dróg Wodnych, Zarządów Miejskich, oraz w latach 1937—1939 na dużą skalę dla Ministerstwa Skarbu — do klasyfikacji gruntów [13].

1. ZALEŻNOŚCI GEOMETRYCZNE

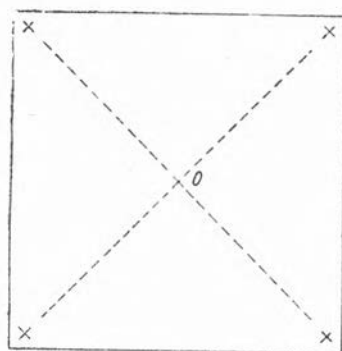
Zdjęcie lotnicze wykonane z punktu O (rys. 1) jest rzutem środkowym fotografowanego terenu. Prosta poprowadzona przez punkt O prostopadłe do płaszczyzny rzutów (kliszy) pokrywa się w przybliżeniu z osią obiektywu i w przebiciu z płaszczyzną kliszy wyznacza położenie punktu głównego O_1 . Odcinek OO_1 jest odległością obrazu. Wiązka promieni rzucających, poprowadzonych przez punkty A, B, C, D powierzchni terenu w przecięciu z płaszczyzną rzutów, wyznacza ich rzuty środkowe A', B', C', D' . Każdemu punktowi P terenu zostaje podporządkowany jednoznacznie odpowiedni rzut środkowy P' , ponieważ przez jakiś określony

punkt terenu można poprowadzić tylko jeden promień rzucający, a promień ten przebiega płaszczyznę rzutów w jednym tylko punkcie. Odpowiedniość odwrotna nie jest odpowiedniością jednoznaczną, gdyż np. punktowi A' , leżącemu na płaszczyźnie rzutów, odpowiadać może każdy punkt, leżący na promieniu OA , o ile nie ma jakiegoś warunku dodatkowego.

Rzut środkowy zbioru punktów terenu ($A, B, C, D, \dots$) będzie jednoznacznie określony, jeżeli znane będzie położenie środka rzutów O i płaszczyzny obrazu w stosunku do powierzchni terenu. Dane wyznaczające nam potrzebne do określania rzutu środkowego wielkości nazywamy elementami orientacji zdjęcia.

Z chwilą wykonania zdjęcia lotniczego otrzymujemy na kliszy drogą fotograficzną rzuty środkowe punktów terenu. Aby na podstawie zdjęcia jednoznacznie odtworzyć wiązkę promieni rzucających musimy znać położenie punktu głównego na zdjęciu i odległość obrazu OO_1 . Dane te nazywamy elementami orientacji wewnętrznej.

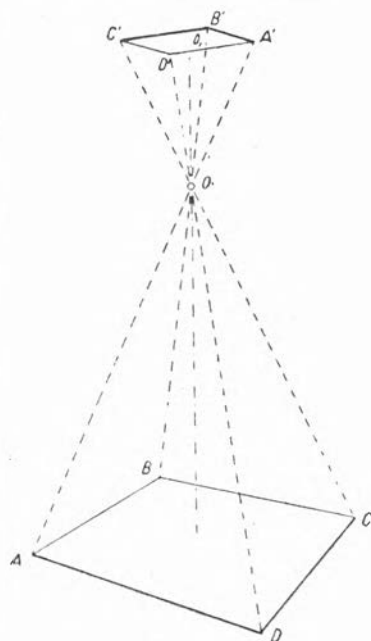
Kamery do zdjęć pomiarowych są tak zbudowane, że jednocześnie z obrazem terenu odfotografowują się na brzegach kliszy znaczki tłowe,



Rys. 2

których łącznice przecinają się w punkcie głównym O_1 (rys. 2). W kamerach budowanych specjalnie do celów pomiarowych położenie punktu głównego pokrywa się z wystarczającą w praktyce dokładnością z punktem przebicia płaszczyzny kliszy przez oś optyczną obiektywu kamery.

Drugi element orientacji wewnętrznej, odcinek OO_1 (rys. 1) zwany odległością obrazu, jest dla każdej kamery stały i wyznaczony przez fabrykę. Ponieważ przy zdjęciach fotogrametrycznych odległość przedmiotu (terenu) od obiektywu kamery



Rys. 1

jest bardzo duża w stosunku do ogniskowej obiektywu, praktycznie odległość obrazu równa jest ogniskowej.

Długość ogniskowej, z dokładnością do 0,01 mm, jest zwykle wygrawerowana na blaszce przy ramce tłowej tak, że zostaje odfotografowana na każdym zdjęciu, podobnie jak i znaczki tłowe.

Jeżeli odległość obrazu z jakiegoś powodu nie jest znana z dostateczną dokładnością, to można ją wyznaczyć w prosty dosyć sposób. W tym celu, z jakiegoś tarasu wykonujemy daną kamerą, przy pionowym położeniu kliszy, zdjęcie odkrytej przestrzeni, gdzie w dość znacznej odległości widoczny jest szereg punktów charakterystycznych: P_1 , P_2 , P_3 , (kominy fabryczne, wieże kościołów, sygnały triangulacyjne itp.). Następnie z tego samego miejsca mierzymy teodolitem kąty między kierunkami do tych samych punktów. Jeżeli z kolei pomierzmy na kliszy w układzie współrzędnych tłowych odcięte rzutów środkowych tych punktów P_1' , P_2' , P_3' , to, jak wynika z rys. 3:

$$f = l \cos \alpha, \quad (1)$$

a z trójkątów $OP_1'P_2'$ i $OP_1'P_3'$

$$l = \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\sin \beta} (x_2 - x_1) = \frac{\cos(\alpha + \gamma)}{\sin \gamma} (x_3 - x_1) \quad (2)$$

wobec czego

$$f = \frac{\cos(\alpha + \beta)}{\sin \beta} \cdot \cos \alpha \cdot (x_2 - x_1) = \frac{\cos(\alpha + \gamma)}{\sin \gamma} \cdot \cos \alpha \cdot (x_3 - x_1). \quad (3)$$

W celu obliczenia α korzystamy z równania (2)

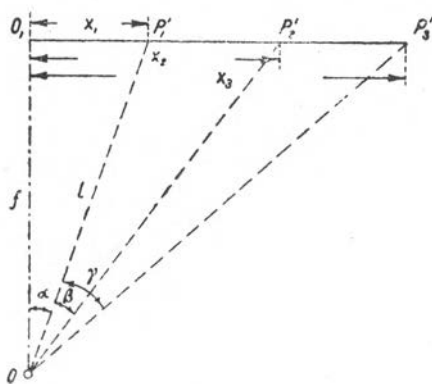
$$\frac{\cos \alpha \cdot \cos \beta - \sin \alpha \cdot \sin \beta}{\sin \beta} (x_2 - x_1) = \frac{\cos \alpha \cdot \cos \gamma - \sin \alpha \cdot \sin \gamma}{\sin \gamma} (x_3 - x_1)$$

skąd po prostych przekształceniach otrzymamy:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(x_3 - x_1) \operatorname{ctg} \gamma - (x_2 - x_1) \operatorname{ctg} \beta}{x_3 - x_2}. \quad (4)$$

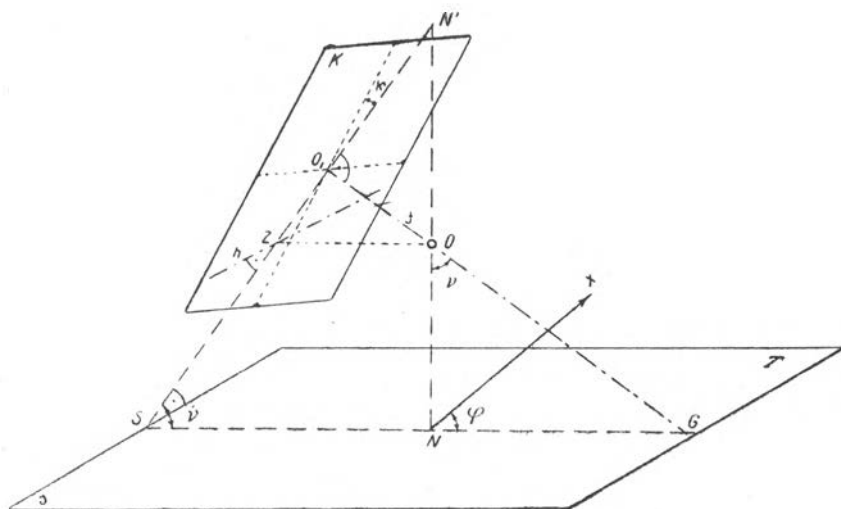
Do wyznaczenia ogniskowej kamery można również użyć zdjęcia nieba. Zdjęcie takie trzeba wykonać przy poziomym położeniu kliszy, w pogodny wieczór. Czas naświetlenia musi być stosunkowo długi, wynoszący kilka minut. Obrazy gwiazd wskutek ruchu obrotowego ziemi nie będą punktami, lecz kreskami (ściśle łukami elips) tym dłuższymi, im gwiazda będzie położona dalej od bieguna. Poza tym kreski te będą różnej grubości, zależnie od jasności gwiazd. Po zidentyfikowaniu poszczególnych gwiazd można na podstawie wzorów astronomii sferycznej obliczyć odpowiednie kąty oraz pomierzyć na kliszy współrzędne tłowe i na tej podstawie obliczyć ogniskową analogicznie jak w wypadku poprzednim.

Jeżeli wyznaczenie to dotyczy kamer przystosowanych do wykonywania zdjęć na kliszach — sprawa jest dość prosta. Trudność polega jedynie na odpowiednim ustawieniu kamery. Niektóre z kamer lotniczych posiadają przy swych korpusach już w odlewie wykonane nakrętki, umożliwiające umieszczanie ich na odpowiedniej spodarce. Dla innych trzeba zbudować odpowiednią spodarkę. Przy wyznaczaniu ogniskowej kamer, przystosowanych do wykonywania zdjęć na filmach, trzeba kliszę w ciemni przykleić do ramki tłowej, np. paskami lepkiego plastra (stosowanego w medycynie) i następnie starannie zabezpieczyć przed wyświetleniem.



Rys. 3

Znając elementy orientacji wewnętrznej, możemy na podstawie zdjęcia odtworzyć wiązkę promieni rzucających, które w momencie fotografowania wyznaczyły na kliszy rzuty środkowe poszczególnych punktów.



Rys. 4

Do rekonstrukcji punktów przedmiotu dane te nie wystarczają, ponieważ zgodnie z tym, co było powiedziane na początku rozdziału, odpowiedniość odwrotna nie jest jednoznaczna. Do tego potrzebna jest znajomość tzw. elementów orientacji zewnętrznej.

Przyjmijmy, że płaszczyzna pozioma T przedstawia fotografowany teren. Środek rzutów niech się znajduje w punkcie O , a płaszczyzna obrazu K niech zajmuje położenie takie jak podane na rys. 4. Oś kamery będzie przechodziła przez środek rzutów O , będzie prostopadła do płaszczyzny obrazu K i przebije ją w punkcie głównym O_1 , leżącym na przecięciu się osi układu współrzędnych tłowych. Prosta pionowa poprowadzona przez środek rzutów przebija płaszczyznę terenu w punkcie N , który nazywamy punktem nadirowym terenu, oraz płaszczyznę obrazu w punkcie N' , będącym rzutem środkowym punktu N . Jeżeli poprowadzimy następnie płaszczyznę przez oś kamery i prostą pionową ON , to przetnie ona płaszczyznę kliszy wzdłuż prostej $N'O_1S$, a płaszczyznę terenu wzdłuż prostej $SN G$, przy tym punkt S będzie leżał na śladzie s płaszczyzny obrazu K na płaszczyźnie poziomej T . Jeżeli wreszcie przez środek rzutów przesuniemy płaszczyznę poziomą, to przetnie ona płaszczyznę obrazu wzdłuż prostej h , która będzie równoległa do śladu s i będzie linią horyzontu, innymi słowy: prostą zbiegu płaszczyzny T (albo miejscem geometrycznym rzutów środkowych punktów nieskończenie dalekich płaszczyzny T) [24].

Elementami orientacji zewnętrznej będą:

1. współrzędne przestrzenne (x, y, z) środka rzutów,
2. nachylenie osi kamery ν (osi obiektywu) względem prostej pionowej poprowadzonej przez środek rzutów,
3. kąt kierunkowy φ rzutu poziomego osi kamery względem jednej z osi poziomych przyjętego układu współrzędnych geodezyjnych i
4. kąt skręcenia κ , jaki utworzy jedna z osi współrzędnych tłowych na zdjęciu z krawędzią przecięcia płaszczyzny obrazu z płaszczyzną pionową, przechodzącą przez oś kamery.

Z rys. 4 widać, że prosta $N'O_1S$ jest prostą największego spadku płaszczyzny obrazu i jest prostopadła zarówno do linii horyzontu h jak i do śladu s . Kąt nachylenia osi kamery (zwany również odległością nadirową zdjęcia) będzie zatem równy kątowi nachylenia płaszczyzny obrazu względem poziomej płaszczyzny T .

Poza tym jeżeli odległość obrazu OO_1 jest równa ogniskowej obiektywu f , to odległość obrazu punktu nadirowego od punktu głównego

$$N'O_1 = f \operatorname{tg} \nu,$$

dalej, punkt nadirowy zdjęcia N' jest punktem zbiegu dla wszystkich prostych pionowych, jak krawędzie budynków, kominy fabryk, drzewa itp., punkt przecięcia linii horyzontu z prostą największego spadku, punkt Z jest punktem zbiegu rzutu prostokątnego osi kamery na płaszczyznę poziomą T .

Zagadnienie wyznaczenia orientacji zewnętrznej zdjęcia sprowadza się zatem do wyznaczenia następujących wielkości:

- 1) położenia punktu nadirowego N na płaszczyźnie terenu T ,
- 2) wysokości, z jakiej zdjęcie zostało wykonane: $w = NO$,
- 3) nachylenia płaszczyzny kliszy ν względem terenu uważanego za płaski,
- 4) kąta kierunkowego osi kamery φ i
- 5) kąta skręcenia ω tj. kąta, jaki tworzy prosta największego spadku płaszczyzny kliszy z jedną z osi współrzędnych tłowych.

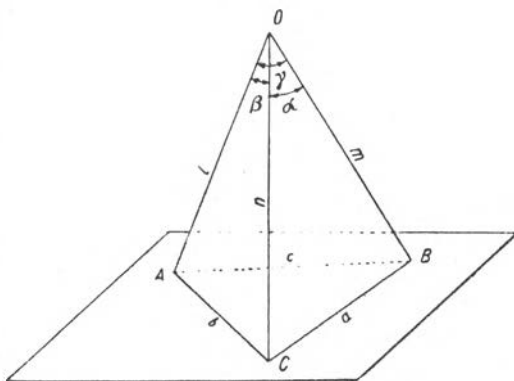
Przy wykonywaniu zdjęć z ziemi wyznaczenie elementów orientacji zewnętrznej nie jest trudne i w praktyce zawsze wykonywane. Przy zdjęciach z powietrza nie ma na razie możliwości dokładnego wyznaczenia tych elementów. W jednym z następnych rozdziałów zostaną omówione dotychczas znane sposoby wyznaczania poszczególnych elementów z mniejszym lub większym przybliżeniem.

Ponieważ elementy orientacji wewnętrznej są znane zupełnie ściśle, a tym samym istnieje możliwość odtworzenia wiązki promieni rzucających, narzuca się tu myśl wyznaczania położenia środka rzutów drogą wykonania wcięcia wstecz w przestrzeni, podobnie do znanego w geodezji zadania Pothenota. W pierwszym okresie rozwoju aerofotogrametrii zagadnienie to odgrywało bardzo dużą rolę i zostało szczegółowo rozpracowane.

Podobnie, jak w zadaniu Pothenota, przyjmujemy, że znane nam są współrzędne przestrzenne trzech punktów terenu: A , B i C , nie leżących na jednej prostej, odwzorowane na zdjęciu lotniczym. Na podstawie obrazów tych punktów na kliszy i znanych elementów orientacji wewnętrznej można z łatwością ustalić zupełnie dokładnie kąty α , β i γ między poszczególnymi krawędziami ostrosłupa (utworzonego przez wiązkę promieni), o podstawie ABC i wierzchołku w środku rzutów O (patrz rys. 5).

Zadanie sprowadza się do wyznaczenia długości krawędzi ostrosłupa: l , m i n , co można wykonać opierając się na znanych zależnościach między bokami w trójkątach:

$$\begin{aligned} a^2 &= m^2 + n^2 - 2mn \cos \alpha, \\ b^2 &= n^2 + l^2 - 2nl \cos \beta, \\ c^2 &= l^2 + m^2 - 2lm \cos \gamma, \end{aligned} \quad (5)$$



Rys. 5

Boki podstawy ostrosłupa mogą być obliczone z danych spólrzędnych punktów A , B i C w terenie.

Układ równań (5) prowadzi do równania 4 stopnia, którego rozwiązanie jest dosyć żmudne i daje na ogół cztery odpowiedzi. Znając przybliżone wartości elementów zewnętrznej orientacji można zasadniczo wybrać spośród otrzymanych odpowiedzi te, które są zbliżone do otrzymanych inną drogą wartości przybliżonych. Zadanie to może być rozwiązane analitycznie, bądź graficznie, względnie sposobem kombinowanym. Niezależnie jednak od tego, że metoda ta jest bardzo uciążliwa i długotrwała, nie znalazła ona praktycznego zastosowania jeszcze i ze względu na niezbyt dużą dokładność; gdyż w zastosowaniu tego zagadnienia do zdjęć lotniczych, kąty α , β i γ są bardzo małe, ponieważ zdjęcia są wykonywane ze stosunkowo dużej wysokości. Poza tym, jak w zadaniu Pothnota mamy niebezpieczny okrąg, tak tutaj istnieje niebezpieczny walec, przechodzący przez punkty A , B i C . Jeżeli zdjęcia są wykonywane przy prawie pionowym położeniu osi kamery, to jest przy niezbyt dużym kącie nachylenia, położenie wierzchołka ostrosłupa może z łatwością znaleźć się na powierzchni walca, a wtedy rozwiązanie będzie nieoznaczone, a im bliżej powierzchni walca będzie leżał środek rzutów O , tym rozwiązanie będzie mniej dokładne.

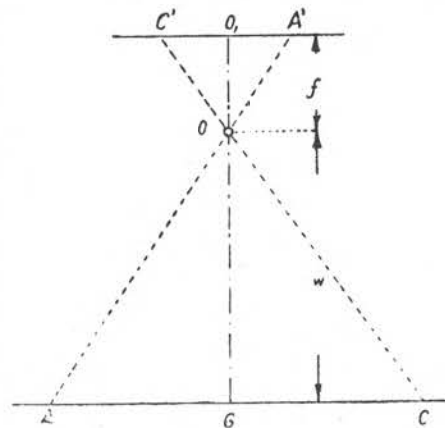
W zależności od kąta nachylenia osi kamery w chwili fotografowania dzielimy zdjęcia lotnicze na: prawie pionowe i ukośne. Przy wykonywaniu zdjęć prawie pionowych oś kamery jest tylko niewiele odchylona od kierunku pionowego i linia horyzontu wypada zawsze poza obrębem takich zdjęć. Natomiast linia horyzontu może być odwzorowana na zdjęciach ukośnych, wykonanych przy prawie poziomym położeniu osi kamery. Do opracowywania planów drogą przetwarzania pojedynczych zdjęć nadają się jedynie zdjęcia prawie pionowe i tylko tymi będziemy się następnie zajmowali.

Gdyby położenie osi kamery w chwili zdjęcia było ściśle pionowe i teren fotografowany był płaski i poziomy, to, jak widać z rys. 6, zdjęcie lotnicze byłoby przecięciem wiązki promieni rzucających płaszczyzną równoległą do płaszczyzny terenu, zatem obrazem podobnym, na którym wszystkie kąty byłyby odwzorowane bez zniekształceń, a odcinki byłyby zmniejszone w pewnym stałym stosunku, równym stosunkowi ogniskowej obiektywu (f) do wysokości lotu (w). Zdjęcie takie byłoby więc planem fotograficznym terenu w skali $f : w$.

W rzeczywistości wypadek taki prawie nigdy nie zachodzi, gdyż na ogół zarówno płaszczyzna kliszy jak i terenu odbiegają od położenia poziomego. Niemniej jednak między figurą na płaszczyźnie terenu a jej rzutem środkowym na płaszczyźnie kliszy zachodzi odpowiedniość zwana kolineacją (jednokreślnością), gdyż każdemu punktowi P terenu odpowiada jeden punkt P' płaszczyzny kliszy (obrazu) i każdej prostej l ,

przechodzącej przez punkt P i leżącej na płaszczyźnie terenu, odpowiada prosta l' , przechodząca przez punkt P' i leżąca na płaszczyźnie obrazu. Prostej nieskończenie dalekiej (niewłaściwej) jednej płaszczyzny odpowiada w ogólności prosta właściwa drugiej płaszczyzny (prosta zbiegu względnie prosta zniknięcia).

W wypadku ogólnym plan, który ma być opracowany na podstawie zdjęcia, powinien być rzutem prostokątnym terenu na płaszczyznę poziomą. Teren i plan znajdują się zatem w powinowactwie. Powinowactwo jest jednak szczególnym wypadkiem kolineacji. Kolineacja bowiem przechodzi w powinowactwo, jeżeli środek rzutów przesuwa się do nieskończoności. Zgodnie zatem z



Rys. 6

zasadami geometrii rzutowej między zdjęciem i planem istnieje również kolineacja, jeżeli bowiem dwie figury płaskie znajdują się w kolineacji z jakąś trzecią, to zachodzi także kolineacja między nimi. Zagadnienie przetworzenia zdjęcia na plan sprowadza się więc do wykonania przekształcenia kolineacyjnego.

Dla wyjaśnienia samej istoty tego zagadnienia oprzemy się na niektórych podstawowych twierdzeniach geometrii rzutowej, które można znaleźć między innymi częściowo w „Wykładach Geometrii Rzutowej” F. Enriquesa, wydanych w roku 1917 w przekładzie na język polski, wykonanym przez F. Włodarskiego.

Elementy zasadnicze: punkt, prosta, płaszczyzna — tworzą formy geometryczne trzech gatunków:

formami gatunku pierwszego nazywają się: prosta punktowa, pęk płaszczyzn i pęk prostych; powstają one przez ruch pojedynczy jednego z elementów tworzących formę,

formami gatunku drugiego: płaszczyzna punktowa albo liniowa i wiązka prostych lub płaszczyzn; powstają one przez ruch podwójny jednego z elementów zasadniczych lub też przez ruch pojedynczy jakiejś formy gatunku pierwszego,

formami gatunku trzeciego nazywają się: przestrzeń punktowa i przestrzeń płaszczyznowa; powstają one przez ruch potrójny jednego z elementów zasadniczych tworzących formę albo przez ruch pojedynczy jakiejś formy gatunku drugiego.

Twierdzenia wiążące się z naszym zagadnieniem są:

I. Pomiedzy dwoma formami gatunku 1 istnieje zawsze rzutowość, w której trzem danym elementom jednej formy odpowiadają jednoznacznie trzy dane elementy formy drugiej.

II. Rzutowe dwie formy gatunku 1 można zawsze sprowadzić do położenia perspektywicznego.

III. Dwustosunek czterech elementów formy gatunku 1 pozostaje bez zmiany przy każdym rzucie i przy każdym cięciu.

IV. Pomiedzy dwoma formami gatunku 2 jest określona przez cztery pary elementów odpowiednich jedna (i tylko jedna) rzutowość, jeżeli z czterech elementów, przyjętych w każdej z dwu form, żadne trzy nie należą do jednej formy gatunku 1, przy czym: jeżeli dwie formy gatunku 2 są jednokreślne, to można przejść od jednej do drugiej za pomocą skończonej liczby rzutów oraz jeżeli dwie formy gatunku 2 są jednokreślne do jakiejś trzeciej formy, to są jednokreślne pomiędzy sobą.

V. Jeżeli dwie figury płaskie, znajdujące się w kolineacji, posiadają wspólne punkty na prostej s i jeżeli jedna z nich zostanie obrócona około tej prostej s , to środek kolineacji opisze łuk koła leżącego w płaszczyźnie prostopadłej do prostej s , którego środek będzie leżał na drugiej płaszczyźnie i odpowiadał punktowi nieskończenie dalekiemu obracanej płaszczyzny.

VI. Jeżeli dwie płaszczyzny różne są kolinearne (jednokreślne), to pomiędzy odpowiadającymi im formami gatunku 1 istnieje rzutowość.

Z przytoczonych twierdzeń wynika, że odpowiedniość kolineacyjna dwu płaszczyzn jest określona przez 4 pary punktów. Praktycznie w naszym zagadnieniu sprowadza się to do wyznaczenia na płaszczyźnie terenu spólrzędnych czterech punktów, z których żadne 3 nie leżą na jednej prostej, a którym na zdjęciu odpowiadają 4 wyraźnie odfotografowane punkty obrazu. Wówczas dowolnemu piątemu punktowi na jednej płaszczyźnie będzie odpowiadał jeden i tylko jeden punkt leżący na drugiej płaszczyźnie. Zamiast czwartej pary punktów można wykorzystać prostą niewłaściwą jednej płaszczyzny i odpowiadającą jej na płaszczyźnie drugiej prostą zbiegu (albo zniknięcia).

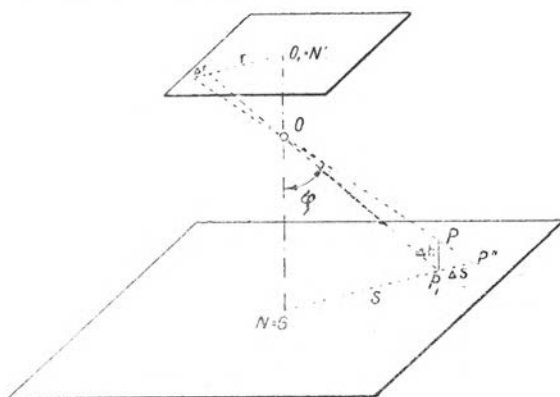
Odpowiedniość kolineacyjna dwu płaszczyzn będzie jednoznacznie określona, jeżeli dwóm prostym właściwym jednej płaszczyzny będą w sposób określony w twierdzeniu I podporządkowane dwie proste właściwe drugiej płaszczyzny. Praktycznie sprowadza się to do pomierzenia na płaszczyźnie terenu odległości między punktami A_1, B_1, C_1 jednej jakiejś prostej i punktami A_2, B_2, C_2 drugiej prostej oraz odszukania na płaszczyźnie obrazu odpowiedników tych dwu trójek punktowych: A_1', B_1', C_1' oraz A_2', B_2', C_2' . Sposób ten nastrocza pewne niedogodności w opracowaniu zdjęć, ale w pewnych wypadkach może dać duże usługi, np. przy zdjęciach terenów trudno dostępnych (moczary) lub o utrudnionej widoczności dla pomiarów w terenie (np. teren porośły krzewami, wikliną itp.).

Twierdzenia geometrii rzutowej wyjaśniają nam więc całkowicie stronę opisową zagadnienia. Do wyprowadzenia zależności miarowych będziemy się posługiwali geometrią elementarną.

Rozpatrzmy kilka charakterystycznych przypadków, z którymi w praktyce stale ma się do czynienia:

1. Teren nie jest płaszczyzną, lecz powierzchnią mniej lub więcej pofalowaną. Zdjęcie lotnicze będzie rzutem środkowym powierzchni terenu, gdy tymczasem plan powinien być jej rzutem prostokątnym, zmniejszonym w pewnym stosunku do oryginału.

Przyjmijmy, że punkt P (rys. 7) jest oddalony od jakiejś poziomej płaszczyzny, przyjętej za płaszczyznę odniesienia, o wielkości Δh . Jeżeli zdjęcie zostało wykonane na kliszy ściśle poziomej, to oś kamery przebiega płaszczyznę odniesienia terenu w punkcie nadirowym N , a punkt główny O , będzie jednocześnie rzutem środkowym punktu nadirowego.



Rys. 7

Na zdjęciu zostanie odwzorowany punkt P zamiast P_1 , przez co położenie punktu zostanie przesunięte radialnie względem punktu głównego o wielkość Δr odpowiadającą w skali zdjęcia wielkości,

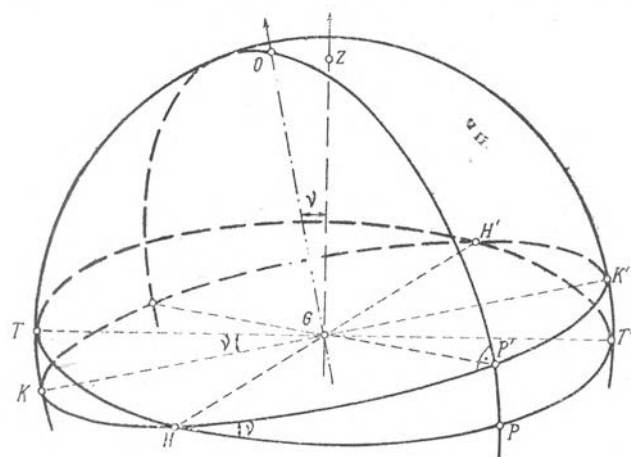
$$\Delta s = \Delta h \cdot \operatorname{tg} \zeta,$$

wynikającej z rozwiązania trójkąta PP_1P'' .

Należy zauważyć, że zniekształcenia spowodowane różnicami wysokości nie wpływają na wielkości kątów o wierzchołkach w punkcie nadirowym (przy zdjęciach ściśle pionowych), a są tym większe, im większe jest Δh oraz im większy jest kąt ζ , to znaczy im dalej położony jest punkt P od osi zdjęcia (względnie punktu nadirowego).

2. Teren jest płaszczyzną poziomą, ale zdjęcie jest nachylone pod kątem v . Zdjęcie nie będzie już planem w pewnej skali, lecz rzutem środkowym, z zachowaniem wszystkich cech właściwych rzutowi środkowemu. W tym przypadku będą już zniekształcone nawet kąty o wierzchołkach w punkcie głównym. Wielkość zniekształcenia tych kątów będzie zupełnie analogiczna jak przy mierzeniu kątów teodolitem o nachylonym limbusie. W celu wyznaczenia tego nachylenia wyobraźmy sobie, że przez punkt G (ślad osi kamery na płaszczyźnie terenu) została przesunięta płaszczyzna równoległa do płaszczyzny kliszy. Płaszczyzna ta przetnie płaszczyznę terenu wzdłuż prostej HH' (rys 8). Prosta prostopadła do tej płaszczyzny, wystawiona z punktu G , będzie osią kamery, nachyloną do prostej pionowej pod kątem v . Pod tym samym kątem będzie nachylona poprowadzona przez nas płaszczyzna K względem

płaszczyzny terenu. Zataczając z punktu G kulę o promieniu równym jednostki otrzymamy jej przecięcia: płaszczyzną terenu wzdłuż koła wielkiego TT' , i płaszczyzną równoległą do płaszczyzny obrazu — wzdłuż



Rys. 8

koła wielkiego KK' . Z rys. 8 widać, że kierunki: TGT' i HGH' nie będą zniekształcone. Natomiast dowolny kierunek GP odwzoruje się jako GP' , którego zniekształcenie możemy obliczyć z trójkąta sferycznego $HP'P$, w którym: kąt $HP'P$ jest prosty, kąt $P'HP$ jest równy nachyleniu płaszczyzny

obrazu ν , a boki HP i HP' odpowiadają kątom kierunkowym φ i φ' na płaszczyźnie poziomej terenu i płaszczyźnie obrazu. Z trójkąta tego otrzymamy:

$$\operatorname{tg} \varphi' = \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \nu.$$

Podstawiając $\varphi = \varphi' + d\varphi_\nu$, otrzymamy

$$\operatorname{tg} (\varphi' + d\varphi_\nu) = \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\cos \nu},$$

skąd

$$\frac{\operatorname{tg} \varphi' + \operatorname{tg} d\varphi_\nu}{1 - \operatorname{tg} \varphi' \cdot \operatorname{tg} d\varphi_\nu} = \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\cos \nu},$$

a następnie:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} d\varphi_\nu &= \frac{\operatorname{tg} \varphi' (1 - \cos \nu)}{\cos \nu + \operatorname{tg}^2 \varphi'} = \frac{\frac{1}{2} \sin 2\varphi' (1 - \cos \nu)}{\cos^2 \varphi' \cdot \cos \nu + \sin^2 \varphi'} = \\ &= \frac{\sin 2\varphi' \cdot \sin^2 \frac{\nu}{2}}{\cos^2 \varphi' \cdot \cos \nu + \sin^2 \varphi'}. \end{aligned}$$

Ponieważ zdjęcia są prawie pionowe, a więc kąt ν — niewielki

$$\cos^2 \varphi' \cdot \cos \nu + \sin^2 \varphi' \cong 1,$$

oraz

$$\operatorname{tg} d\varphi_\nu \cong d\varphi_\nu,$$

wobec czego:

$$d\varphi_\nu = \sin 2\varphi' \cdot \sin^2 \frac{\nu}{2}. \quad (6)$$

Z wzoru tego widać, że jeżeli ν jest małą wielkością pierwszego stopnia, to $d\varphi_\nu$ jest małą wielkością drugiego stopnia oraz że $d\varphi_\nu$ osiąga wartość największą dla $\varphi' = 45^\circ$.

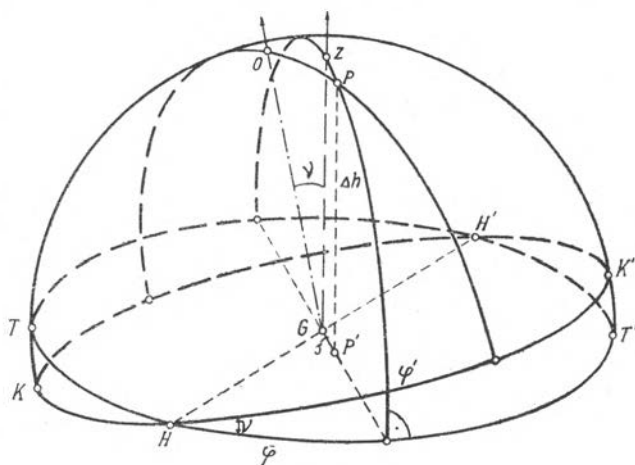
Wielkości zniekształceń $d\varphi_\nu$ zestawione są w poniżej podanej tabelce:

$\varphi \backslash \nu$	0°	2°	4°	6°
0°	$0'$	$0'$	$0'$	$0'$
15°	$0'$	$0',5$	$2',1$	$4',7$
30°	$0'$	$0',9$	$3',6$	$8',2$
45°	$0'$	$1',0$	$4',2$	$9',4$

3. Zdjęcie jest nachylone pod kątem ν oraz teren nie jest płaszczyzną, lecz powierzchnią pofalowaną.

W celu wyznaczenia zniekształceń kątowych przyjmujemy, że na powierzchni terenu znajduje się punkt P odległy od poziomej płaszczyzny odniesienia o wielkość Δh . Wpływ różnicy wysokości na kąt kierunkowy, mierzony na płaszczyźnie zdjęcia z punktu głównego, będzie zależał od wielkości nachylenia kliszy, wysokości punktu Δh i odległości rzutu prostokątnego punktu P (na poziomą płaszczyznę odniesienia) od śladu osi zdjęcia G . Wielkość tego błędu będzie taka sama jak przy pomiarze kątów teodolitem, gdy celowe nie są poziome, a oś teodolitu jest odchylona od pionu o kąt ν .

Podobnie, jak i w przypadku poprzednim, opiszemy kulę ze środka w punkcie G tak, aby przechodziła ona przez punkt terenu P (rys. 9). Prowadząc przez punkt P płaszczyznę pionową otrzymamy na płaszczyźnie poziomej terenu szukany kąt φ , a prowadząc przez punkt P płaszczyznę, przechodzącą przez oś zdjęcia GO , otrzymamy zniekształcony na zdjęciu kąt φ' .

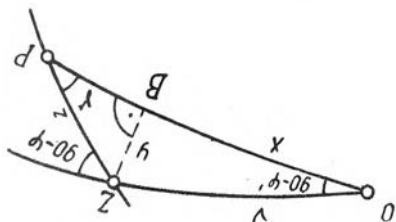


Rys. 9

Błąd kąta $d\varphi_h$ obliczymy z trójkąta sferycznego OZP (rys. 10), w którym wartości ν i γ są małe. Przez punkt Z prowadzimy koło wielkie

prostopadle do OP . Przecnie ono łuk OP w punkcie B . Oznaczając: łuk OB przez x , OP przez b i ZB przez y , otrzymamy:

$$\frac{\sin (90 - \varphi)}{\sin (90 - \varphi')} = \frac{\sin b}{\sin z}, \quad (7)$$



Rys. 10

ponieważ:

$$90 - \varphi = (90 - \varphi') + (\varphi' - \varphi) \text{ i } b = z + x,$$

$$\sin (90 - \varphi) = \sin (90 - \varphi') \cos (\varphi' - \varphi) + \cos (90 - \varphi') \sin (\varphi' - \varphi).$$

Ponieważ $\varphi' - \varphi$ jest bardzo małe,

$$\sin (90 - \varphi) = \sin (90 - \varphi') + \cos (90 - \varphi') \cdot (\varphi' - \varphi).$$

Analogicznie możemy napisać:

$$\sin b = \sin z + \sin x \cos z.$$

Podstawiając to do wzoru (7) otrzymamy

$$1 + (\varphi' - \varphi) \cdot \operatorname{ctg} (90 - \varphi') = 1 + \sin x \cdot \operatorname{ctg} z,$$

lub:

$$(\varphi' - \varphi) = \sin x \cdot \operatorname{ctg} z \cdot \operatorname{tg} (90 - \varphi'),$$

ale:

$$\frac{\operatorname{tg} x}{\cos (90 - \varphi')} = \operatorname{tg} \nu,$$

a ponieważ x jest małe, to $\operatorname{tg} x \cong \sin x$,

zatem:

$$\varphi' - \varphi = \operatorname{tg} \nu \cdot \operatorname{ctg} z \cdot \sin (90 - \varphi').$$

A ponieważ $\operatorname{ctg} z = \frac{\Delta h}{s}$ otrzymamy ostatecznie:

$$-d\varphi_h = \varphi - \varphi' = \operatorname{tg} \nu \cdot \frac{\Delta h}{s} \cdot \cos \varphi', \quad (8)$$

Z wzoru tego widać, że jeżeli wielkość $\frac{\Delta h}{s}$ i ν są wielkościami małymi pierwszego stopnia, to $d\varphi_h$ jest wielkością małą drugiego stopnia.

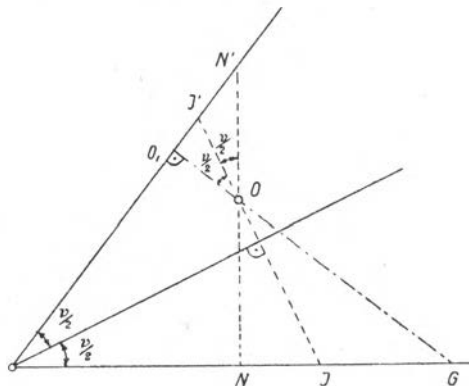
Poniżej podana tabelka przedstawia błędy kierunków, wywołane różnicami wysokości przy $\frac{\Delta h}{s} = 100$.

$\varphi \backslash \nu$	0°	2°	4°	6°
0°	$0'$	$1',2$	$2',4$	$3',6$
15°	$0'$	$1',1$	$2',3$	$3',5$
30°	$0'$	$1',0$	$2',1$	$3',1$
60°	$0'$	$0',6$	$1',2$	$1',8$

Aby wyczerpać zagadnienie zniekształceń kątowych przy zdjęciach nachylonych należy jeszcze wspomnieć o właściwościach pewnych punktów, zwanych punktami fokalnymi względnie izocentrycznymi.

Niech płaszczyzna obrazu będzie nachylona do poziomej płaszczyzny terenu pod kątem ν (rys. 11). Środek rzutów niech leży w punkcie O ,

o wielkość f . Prosta pionowa poprowadzona przez środek rzutów przebiega płaszczyznę terenu w punkcie nadirowym N i płaszczyznę obrazu w N' . Kąt $O_1ON' = \angle NOG = \nu$. Poprowadźmy następnie przez krawędź przecięcia się płaszczyzn: obrazu i terenu — płaszczyznę dwusieczną oraz przez środek rzutów — dwusieczną kąta O_1ON' . Prosta ta będzie prostopadła do płaszczyzny dwusiecznej i przebiega płaszczyznę terenu w punkcie I oraz płaszczyznę obrazu w punkcie I' , zwanym punktem izocentrycznym.



Rys. 11

Kąty na płaszczyźnie kliszy o wierzchołkach w punkcie I' będą równe odpowiednim kątom na płaszczyźnie terenu o wierzchołkach w punkcie I . Ta wiernokątność wynika stąd, że promienie rzucające od poszczególnych punktów terenu: AA' , BB' , ..., NN' , ..., GO , itd tworzą z prostą IOI' pęk płaszczyzn prostopadłych do płaszczyzny dwusiecznej (prosta IOI' będzie osią tego pęku). Pęk ten przecina symetrycznie płaszczyzny terenu i obrazu, dzięki czemu powstałe wskutek przecięcia pęki prostych będą przystające. Odległość punktu izocentrycznego od punktu głównego, jak wynika z rys. 11, można obliczyć z wzoru:

$$OI' = f \cdot \operatorname{tg} \frac{\nu}{2}.$$

Jeżeli teren przedstawia powierzchnię falistą, to wpływ różnic wysokości na mierzone w płaszczyźnie obrazu kierunki będzie analogiczny do (8):

$$(d\varphi_h) = \frac{\Delta h}{s} \cdot \operatorname{tg} \frac{\nu}{2} \cdot \cos \varphi. \quad (9)$$

Reasumując, widzimy, że nachylenie kliszy nie ma wpływu na pomiar kątów o wierzchołkach w punktach izocentrycznych, oraz że różnice wysokości nie wywierają wpływu na pomiar kątów o wierzchołkach w punktach nadirowych. Do tych właściwości powrócimy jeszcze w rozdziale 10: „Zasady triangulacji radialnej“.

2. KAMERY LOTNICZE

Zdjęcia lotnicze dla celów pomiarowych są obecnie wykonywane wyłącznie z samolotów, przy pomocy specjalnych aparatów fotograficznych, zwanych pomiarowymi kamerami lotniczymi, w odróżnieniu od zwykłych kamer lotniczych, używanych do robienia zdjęć lotniczych dla innych celów, niepomiarowych.

Zwykle kamery lotnicze są dostosowane do potrzeb, do jakich są przeznaczone, i do warunków, w jakich mają być używane. Zdjęcia wykonane takimi kamerami są pod względem fotograficznym bardzo dobre, często znacznie efektowniejsze od zdjęć robionych kamerami pomiarowymi, ale nie spełniają one podstawowych warunków, jakim powinny odpowiadać zdjęcia aerofotogrametryczne, mianowicie nie są one dokładnymi rzutami środkowymi fotografowanych przedmiotów, o ściśle określonej orientacji wewnętrznej. Konstruktor, nie skrupowany warunkami stawianymi przez fotogrametrię, posiada dużą swobodę w doborze poszczególnych elementów, przez co kamery te mogą być nawet wygodniejsze i prostsze w obsłudze. Mogą tu być np. użyte obiektywy o dużej jasności, przez co można jeszcze wykonywać zdjęcia w gorszych warunkach, nawet przy bezsłonecznej pogodzie. Mogą być również stosowane migawki dowolnych konstrukcyj (nawet szczelinowe) — co umożliwia uzyskanie ostrych zdjęć nawet z niewielkich wysokości i przy stosunkowo znacznej szybkości samolotu. Zdjęcia wykonane takimi kamerami, ponieważ nie spełniają podstawowego warunku, to znaczy: nie dają perspektywicznego odwzorowania fotografowanej powierzchni, nie mogą być użyte do celów pomiarowych.

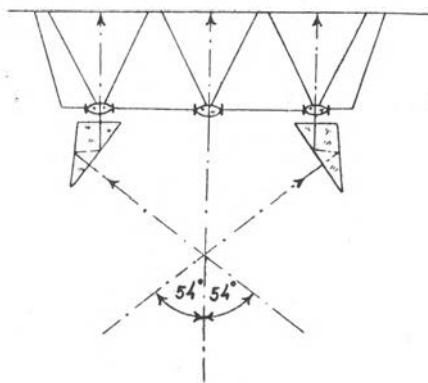
Pomiarowe kamery lotnicze muszą spełniać następujące zasadnicze warunki:

1. użyty obiektyw powinien być wolny od dystorsji i posiadać znaczną zdolność rozdzielczą, $\pm 0,02 \text{ mm}$,
2. korpus kamery powinien być tak zbudowany, aby gwarantował stałość elementów orientacji wewnętrznej,
3. na zdjęciach powinny być odfotografowane znaczki tłoowe, wyznaczające położenie punktu głównego i
4. konstrukcja migawki powinna gwarantować możliwie jednoczesne naświetlenie całej kliszy, aby otrzymany obraz nie posiadał zniekształceń (rozciągnięć) wskutek ruchu samolotu w czasie naświetlania.

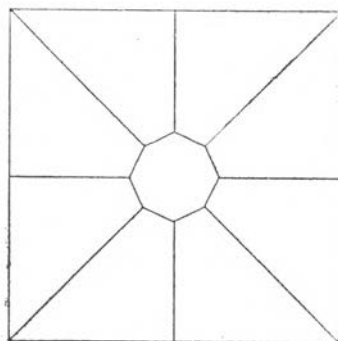
Ze względów ekonomicznych konstruktorzy dążą do uzyskania możliwie jak największego zasięgu zdjęcia, gdyż wtedy wystarcza mniej zdjęć do opracowaniażądanego obszaru, a tym samym można w krótszym czasie wykonać potrzebne zdjęcia lotnicze i mniej pracy wymaga ich opracowanie. Tym też tłumaczy się dążność stosowania w kamerach lotniczych obiektywów szerokokątnych o kącie rozwarcie ponad 90°

(Topogon Zeissa, obiektyw szerokokątny Wilda). Niestety, te obiektywy posiadają tak znaczną dystorsję, że zdjęcia nimi wykonane nie nadają się do przetwarzania. Można by wykorzystywać jedynie części środkowe zdjęć, co nie dałoby żadnych korzyści w stosunku do zdjęć wykonanych normalnymi kamerami.

Lepsze rezultaty można otrzymać kamerami wieloobiektywowymi, jak np. 9-obiektywowa kamera Aschenbrennera i na podobnej zasadzie zbudowana panoramowa kamera amerykańska. Obiektywem środkowym o ogniskowej 5,5 cm otrzymuje się zdjęcie prawie pionowe w formie ośmiokąta o apotemie równej 3 cm. Osiem obiektywów, rozmieszczonych symetrycznie dokoła obiektywu środkowego, poprzez umieszczone przed nimi pryzmaty, daje osiem zdjęć ukośnych, obejmujących przylegający dokoła teren. Zdjęcia boczne zostają wykonane przy nachyleniu osi zdjęć pod kątem 54° na tym samym negatywie co i zdjęcie środkowe. Na rys. 12 przedstawiony jest schematycznie bieg promieni w przekroju pionowym poprzez jedną ze średnic kamery. Przy pomocy specjalnego instrumentu zdjęcia ukośne przefotografowuje się na płaszczyznę zdjęcia środkowego, w wyniku czego uzyskuje się jedno jedyne zdjęcie (rys. 13), odpowiadające zdjęciu wykonanemu obiektywem o niemożliwym do zrealizowania inną drogą kącie rozwarcia 140° .



Rys. 12



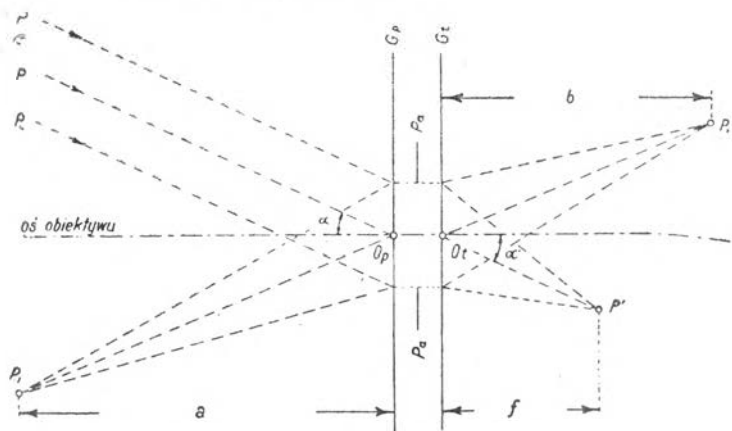
Rys. 13

Rozwiązanie to pozwala na niesłychane wykorzystanie lotu, gdyż w ciągu jednego nalotu zdejmuje się pasy o szerokości wynoszącej pięciokrotną wysokość lotu. Zdjęcia wykonane takimi kamerami nie mogą być jednak wykorzystane do opracowania planów w dużych skalach ze względu na silne zniekształcenia perspektywiczne w odwzorowaniu punktów leżących na różnych wysokościach (patrz str. 13, rys. 7). Daje się to łatwo zauważyć na budynkach odwzorowanych na zdjęciach bocznych. Ściany tych budynków od strony obiektywu kamery przesłaniają nadto na zdjęciu obrysy budynków, zwłaszcza jeżeli zdjęcie było wykonane z niedużej wysokości. Kamery takie są używane jedynie do wykonywa-

nia zdjęć w małych skalach, do opracowania map topograficznych lub sporządzenia szkiców przybliżonych (względnie fotoszkiców) oraz do opracowania pewnych wstępnych projektów w terenach, dla których nie ma zupełnie żadnych materiałów kartograficznych. Z tego względu pominięty zostanie bardziej szczegółowy opis zarówno samej kamery jak i sposobu wykorzystania zdjęć tą kamerą wykonanych.

Do wykonywania zdjęć dla celów przetwarzania prawie wyłącznie stosowane są obecnie kamery zaopatrzone w obiektywy o ogniskowych wynoszących 21 cm i dające zdjęcia o wymiarach 18×18 cm. Jest to, jak dotychczas, najkorzystniejsze rozwiązanie, jakie udało się uzyskać.

Jak było już wyżej wspomniane, obiektywy kamer pomiarowych, poza innymi cechami, ważnymi z punktu widzenia fotograficznego, powinny być wolne od dystorsji. Każdy obiektyw składa się, jak wiadomo, z układu soczewek, a odwzorowanie fotografowanego przedmiotu będzie się przedstawiało tak, jak podane na rys. 14.



Rys. 14

Na rysunku tym obiektyw przedstawiony jest za pomocą jego płaszczyzn głównych: przedniej — G_p i tylnej — G_t . Pomiedzy tymi płaszczyznami pokazana jest przysłona — P_a . Oś obiektywu przebiega płaszczyznami głównymi pod kątem prostym w przednim (O_p) i tylnym (O_t) punkcie głównym obiektywu. Wiązka promieni, idąca od bardzo dalekiego punktu P , może być przyjęta za wiązkę promieni równoległych. Promienie tej wiązki po dojściu do przedniej płaszczyzny głównej załamają się i będą biegły równolegle do osi optycznej, aż do tylnej płaszczyzny głównej, po czym przetną się w punkcie P' (obrazie punktu P). Punkt P' będzie leżał w płaszczyźnie ogniskowej, która jest prostopadła do osi obiektywu i znajduje się w odległości f (= ogniskowej obiektywu) od tylnej płaszczyzny głównej.

Promień wiązki, przechodzący przez punkty główne O_p i O_t , nazywa się promieniem głównym i wchodząc do obiektywu tworzy z osią op-

tyczną kąt α , wychodząc zaś — kąt α' . Dla celów fotogrametrii jest rzeczą niesłychanie ważną, aby $\alpha' = \alpha$.

Promień wiązki wychodzącej z bliżej położonego punktu P_1 dochodzi do przedniej płaszczyzny głównej rozbieżnie, dalej tak, jak i poprzednio, przebiegają równolegle do osi obiektywu, a następnie przecinają się w punkcie P_1' , leżącym poza płaszczyzną ogniskową. Przy czym, jeżeli oznaczymy odległość punktu P_1 od przedniej płaszczyzny głównej przez a , a odległość obrazu tego punktu (P_1') od tylnej płaszczyzny głównej przez b , to wielkości te będą spełniały znane z fizyki równanie

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

Ponieważ przy zdjęciach lotniczych mamy do czynienia wyłącznie z fotografowaniem bardzo oddalonych przedmiotów w stosunku do wielkości ogniskowych obiektywów, praktycznie można przyjąć, że płaszczyzna obrazu będzie pokrywała się z płaszczyzną ogniskową, wobec czego można przyjmować, że odległość obrazu jest równa ogniskowej f .

Jak już wyżej wspomniano, w fotogrametrii jest rzeczą wielkiej wagi, aby otrzymane obrazy fotograficzne były wiernymi rzutami perspektywicznymi zdejmowanych przedmiotów, co zostanie spełnione, jeżeli oznaczone na rys. 14 kąty α i α' będą sobie równe niezależnie od ich wielkości. Zjawisko występowania różnicy w wielkościach tych kątów nazywamy dystorsją obiektywu. Jeżeli odległość obrazu punktu P od punktu głównego płaszczyzny obrazu, tj. odcinek $P'P_g$, oznaczmy tak, jak na rys. 15 przez r' , to stawiany przez fotogrametrię warunek można wyrazić równaniem:

$$r' = f \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (2)$$

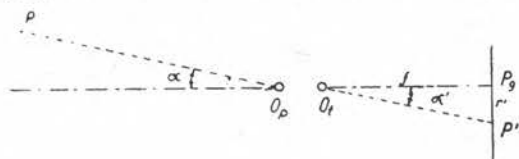
Jeżeli obiektyw nie jest wolny od dystorsji, to $\alpha \neq \alpha'$, a co za tym idzie, promienie główne po przejściu przez obiektyw doznają odchylenia od kierunku pierwotnego o kąt $d\alpha$ który nazywamy dystorsją.

Dystorsję można również wyrazić w formie liniowej, mierzonej na płaszczyźnie obrazu, jako

$$dr = r' - f \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

Przebieg dystorsji dla różnych typów obiektywów przedstawiają rysunki 16 a, b, c.

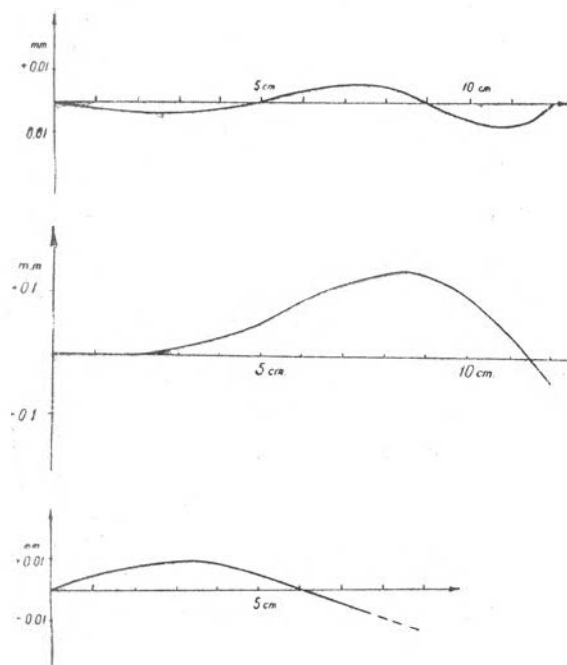
Z rysunków tych widać, że obiektywy b i c mogłyby być użyte do opracowywania planów drogą przetwarzania, ale z zastrzeżeniem wy-



Rys. 15

korzystywania tylko środkowych części obrazów, co byłoby niewygodne.

Na rys. 17 przedstawiono zniekształcenia obrazu, spowodowane dy-



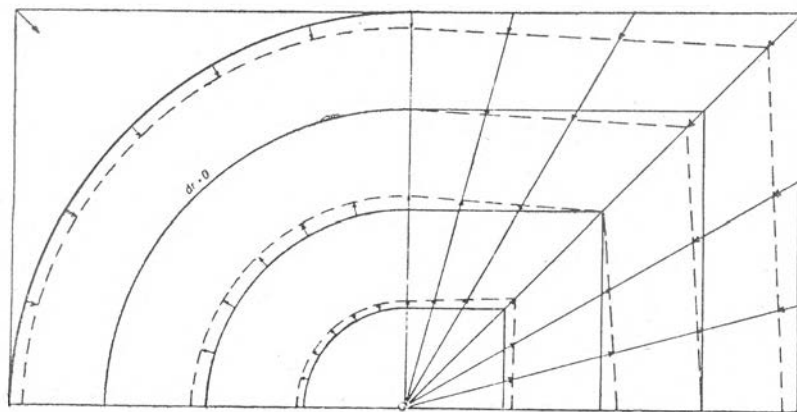
Rys. 16

storsją obiektywu typu Tessar, $f = 210 \text{ mm}$. Linie ciągłe wyobrażają prawidłowe położenia obrazów punktów, a linie przerywane — ich przesunięcia wskutek dy-

a dystorsji, w 100-krotnym powiększeniu.
Jak to wynika z rys. 17, punkty, których obrazy leżą wewnątrz okręgu koła o promieniu 60 mm , doznają radialnych przesunięć w kierunku od punktu głównego; punkty, których obrazy wypadają na tym okręgu, nie doznają żadnych przesunięć, i wreszcie punkty, których obrazy leżą na zewnątrz tego okręgu, doznają przesunięć w kierunku pkt. głównego.

Warunki, w jakich

wykonywane są zdjęcia lotnicze, oraz względy ekonomiczne stawiają jeszcze i inne wymagania obiektywom, a mianowicie:



Rys. 17

a) dużą jasność, aby można było stosować krótkie czasy naświetlania, co jest konieczne ze względu na wykonywanie zdjęć z pokładu samolotu znajdującego się w ruchu,

b) duży kąt rozwarcia, aby w ciągu jednego nalotu można było objąć zdjęciami jak największy pas terenu, a przez to skrócić możliwie czas lotu i zmniejszyć ilość zdjęć potrzebnych do opracowania oraz,

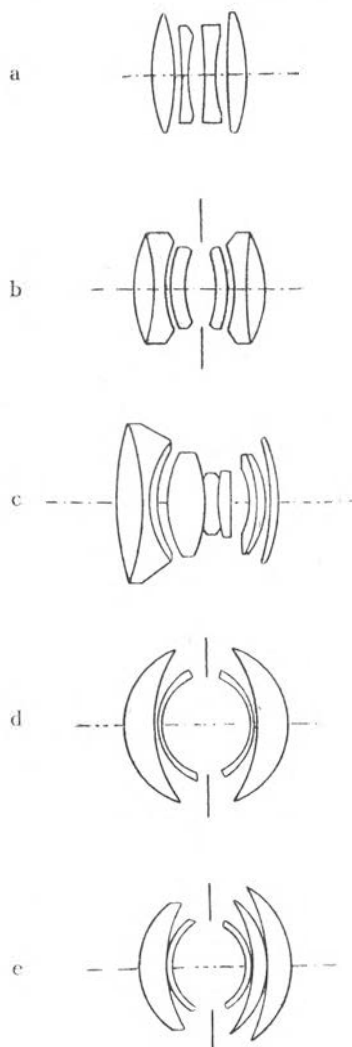
c) dużą ostrość zdjęć na całym polu obrazu, ponieważ od tego zależy czytelność zdjęć i dokładność identyfikacji punktów odfotografowanych.

Do tych warunków dochodzą jeszcze inne wymagania natury fotograficznej, które można znaleźć w każdym podręczniku fotografii, jest bowiem rzeczą jasną, że obiektywy do celów fotogrametrii powinny spełniać wszystkie warunki, niezbędne do uzyskania zdjęcia dobrego pod względem fotograficznym, a ponadto jeszcze i te, które zostały wyżej podane.

Wymagania stawiane przez fotogrametrię następczą optykom wiele trudności, gdyż spełnienie jednych warunków może się odbyć jedynie kosztem innych, jak to ma miejsce np. w stosunku do kąta rozwarcia i dystorsji. Najlepsze dotychczas pod tym względem wyniki osiągnęły firmy Wilda i Zeissa, które zbudowały obiektywy do zdjęć lotniczych o kącie rozwarcia 95° (rys. 18 d i e), ale, jak to widać z rys. 16 b, błędy spowodowane dystorsją uniemożliwiają użycie ich do wykonania zdjęć, przeznaczonych do opracowania drogą przetwarzania.

Na rysunkach 18 a, b, c, d, e podane są przekroje niektórych obiektywów stosowanych w kamerach lotniczych. Pierwszy z nich jest produkowany przez fabrykę Wilda, o ogniskowej $f = 165 \text{ mm}$, praktycznie zupełnie wolny od dystorsji, ale posiada stosunkowo małą siłę światła, bo zaledwie $1 : 12$.

Następny (rys. 18 b) to obiektyw najbardziej rozpowszechniony: „Orthometar“ o ogniskowej 210 mm i sile światła $1 : 4,5$, do niedawna naj-



Rys. 18

bardziej odpowiedni do wykonywania zdjęć lotniczych dla celów przetwarzania.

Obiektyw podany na rys. 18 c to nowy, już po wojnie światowej produkowany przez fabrykę Wilda, „Aviotar“ o takiej samej ogniskowej ($f = 210 \text{ mm}$), ale o jeszcze większej sile światła, bo $1 : 4,2$.

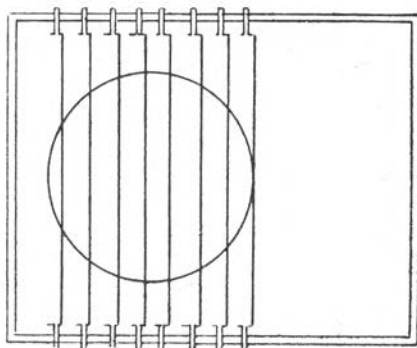
Obiektywy przedstawione na rys 18 d i e, to „Topogon“ Zeissa o sile światła $1 : 6,3$, budowany seryjnie, jako obiektyw o ogniskowej $f = 100 \text{ mm}$ bądź 200 mm , oraz obiektyw szerokokątny Wilda o sile światła $1 : 5,5$ i ogniskowej $f = 115 \text{ mm}$, stosowane w lotniczych kamerach szerokokątnych.

Korpusy kamer lotniczych, aby zapewnić stałość elementów orientacji wewnętrznej, wykonywane są jako odlewy metalowe i zakończone od strony obrazu ramką tłową ze znaczkami, pozwalającymi na wyznaczenie położenia punktu głównego na zdjęciach, względnie płasko-równoległą płytą szklaną z naciętymi na niej znaczkami tłowymi. To drugie rozwiązanie stosowane jest w niektórych kamerach lotniczych, specjalnie przystosowanych do wykonywania zdjęć na filmach.

Rozmieszczenie i kształt znaczków tłowych, które powinny być odfotografowane na każdym zdjęciu, bywają rozmaite w różnych typach kamer. Ponieważ przy zdjęciach lotniczych potrzebne są one prawie wyłącznie do wyznaczania położenia punktu głównego, położenie ich może być dosyć dowolne, aby tylko punkt przecięcia się prostych łączących znaczki przeciwległe leżał na osi kamery. W pewnych typach kamer są one umieszczone pośrodku boków ramki tłowej, w innych — po rogach względnie parami przy dwóch przeciwległych bokach.

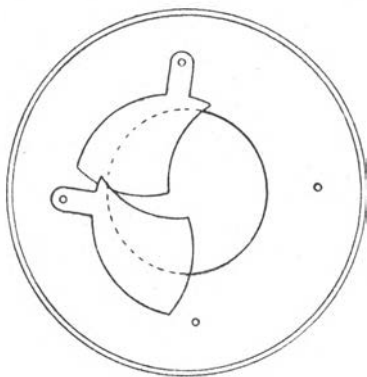
Oddzielnego omówienia wymagają migawki kamer lotniczych. Ponieważ samolot w chwili zdjęcia znajduje się w ruchu, czas naświetlenia musi być względnie krótki, aby zdjęcie było ostre (nieporuszone). Bardzo odpowiednie są w takich wypadkach tzw. migawki szczelinowe, stosowane w aparatach fotograficznych używanych przez reporterów, a nawet w kamerach lotniczych niepomiarych. Zasada ich działania polega na tym, że przed kliszą przesuwana się pod działaniem napędu sprężynowego zasłona z materii nieprzepuszczalnej dla promieni świetlnych, ze szczeliną w poprzek do kierunku ruchu zasłony. Długość szczeliny odpowiada szerokości zasłony, a jej szerokość można zmieniać zależnie od pożądanego czasu naświetlenia. Przy tej samej szybkości przesuwania się zasłony, im szerokość szczeliny będzie większa, tym czas naświetlenia — dłuższy. Zaletą tej migawki, pomijając prostotę konstrukcji, jest to, że każda część kliszy zostaje naświetlona taką samą ilością czasu. Ze względu jednak na ruch samolotu migawki takie są niedopuszczalne w kamerach pomiarowych, ponieważ powodują one jakby rozciągnięcie obrazu wskutek niejednoczesnego naświetlania różnych części kliszy.

W kamerach francuskich stosowane są migawki żaluzjowe, typu Labrély, których schemat przedstawiony jest na rys. 19. W normalnym położeniu 8 blaszek o równej szerokości tworzy płaszczyznę nieprzepuszczalną dla promieni świetlnych. Podczas pracy blaszki te zostają obrócone o 90° tak, że zajmują położenie równoległe do osi kamery. W tej pozycji pozostają przez pewien czas, zależnie od wymaganego czasu naświetlenia, a następnie zostają obrócone w tym samym kierunku powtórnie o 90° tworząc znowu płaszczyznę prostopadłą do osi obiektywu i zasłaniając cały jego otwór.



Rys. 19

Najczęściej stosowane są w lotniczych kamerach pomiarowych migawki centralne międzysoczewkowe, których zasada działania jest następująca: na osiach symetrycznie rozmieszczonych dokoła obiektywu obracają się wycinki z blaszek specjalnego kształtu. W położeniu normalnym wycinki te przesłaniają całkowicie obiektyw, a podczas naświetlania zostają równocześnie odchylane od swego normalnego położenia czyniąc otwór początkowo niewielki w kształcie koła, potem w formie gwiazdy o wąskich ramionach, następnie ramiona te stają się coraz szersze, aż wreszcie zostaje odsłonięty cały otwór obiektywu. W tym położeniu pozostają wycinki przez pewien czas, zależnie od wymaganego czasu naświetlenia, a następnie wracają do położenia normalnego poprzez wszystkie te same stadia, tylko w porządku odwrotnym. Schemat takiej migawki o czterech wycinkach jest przedstawiony na rys. 20. Istnieje wiele typów migawek tego rodzaju, różniących się głównie ilością i kształtem wycinków, no i oczywiście budową samego mechanizmu, wprowadzającego wycinki w ruch. Na wyróżnienie zasługuje migawka kulista, zbudowana przez firmę Zeissa specjalnie dla lotniczych kamer pomiarowych, która składa się nie z wycinków płaskich, lecz sferycznych, które w położeniu normalnym tworzą powierzchnię czaszy kulistej.



Rys. 20

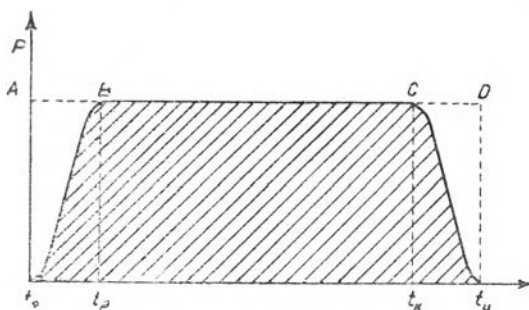
W działaniu każdej migawki możemy odróżnić trzy zasadnicze etapy:

1. otwieranie, podczas którego promienie nie przechodzą przez cały otwór obiektywu, ale stopniowo przez coraz większą część,

2. właściwy okres naświetlania, kiedy cały obiektyw jest odsłonięty i
3. zamykanie, podczas którego otwór obiektywu zostaje coraz bardziej przysłaniany.

Rys. 21 przedstawia wykres działania migawki, na którym, jako odcięte, przyjęto czas (t), a za rzędne — odsłoniętą w danym momencie powierzchnię otworu obiektywu.

Migawką idealną byłaby taka, której wykres działania przedstawiałby prostokąt t_0ADt_n i wtedy wydajność takiej migawki wyniosłaby 100%.



Rys. 21.

W ogóle wydajnością migawki nazywamy stosunek ilości światła przepuszczonego podczas naświetlania do ilości, jaka by przeszła w tym samym czasie, gdyby migawka posiadała 100% wydajności [7].

Stawiany kamerom lotniczym warunek zachowania stałości elementów orientacji wewnętrznej jest stosunkowo łatwy do spełnienia, jeżeli

zdjęcia mają być wykonywane na kliszach szklanych (najlepiej — na płytach lustrzanych, powleczonych emulsją światłoczułą). Trzeba wtedy tylko przewidzieć urządzenie umożliwiające przyciśnięcie kliszy w chwili zdjęcia do ramki łowej. W zwykłych lotniczych kamerach pomiarowych wykonuje się to ręcznie, przez wciśnięcie całego ładownika. Odpowiednie zapadki przytrzymują go w tym położeniu przez potrzebny okres czasu.

Kliske szklane są jednak niewygodne przy pracy w powietrzu ze względu na ich stosunkowo duży ciężar i łatwość zbitcia. W wypadku stłuczenia przepada zdjęcie zbite, a jednocześnie okruchy szkła rysują inne kliske lub wpadają do mechanizmu ładownika czy kamery i utrudniają, a nawet uniemożliwiają dalszą pracę. Obecnie zdjęcia na kliszach szklanych są wykonywane prawie wyłącznie tylko dla opracowań specjalnych, w których zależy na uzyskaniu możliwie największej dokładności. W takich wypadkach koszty opracowania mogą być znacznie wyższe lub w ogóle nie wchodzą w grę.

Przy wykonywaniu zdjęć na filmach trzeba zapewnić dwie rzeczy:

1. w momencie fotografowania film powinien być idealnie płaski i
2. przylegać do ramki łowej.

Najprostsze rozwiązania polegają na tym, że ramką łową jest płaskorównoległa płyta szklana, do której w momencie zdjęcia jest przyciskany film płytą metalową. Rozwiązanie konstrukcyjne takiego mecha-

nizmu nie następuje specjalnych trudności i jest stosowane w wielu kamerach ręcznych.

W kamerach automatycznych są raczej stosowane urządzenia pneumatyczne do zapewnienia płaskości filmu. Istnieją dwa zasadnicze rozwiązania. W obu — przed momentem, w którym ma nastąpić zdjęcie, film jest przyciskany do ramki tłowej płytą metalową z ponacinanymi na niej od strony filmu niewielkimi rowkami i otworkami. Różnica między poszczególnymi urządzeniami polega na tym, że w jednym wypadku film jest przyciskany do płyty ściśnionym powietrzem, doprowadzonym w momencie zdjęcia do wnętrza korpusu kamery, a w drugim — film jest przyciskany drogą ssania, przez wyciąganie powietrza z płyty przyciskającej. W obu wypadkach potrzebne są zatem otworki w płycie przyciskającej film do ramki tłowej, aby umożliwić wyjście powietrza, które znalazło się między filmem a płytą.

Po omówieniu zasadniczych części składowych lotniczych kamer pomiarowych przejdziemy do ich opisu ogólnego.

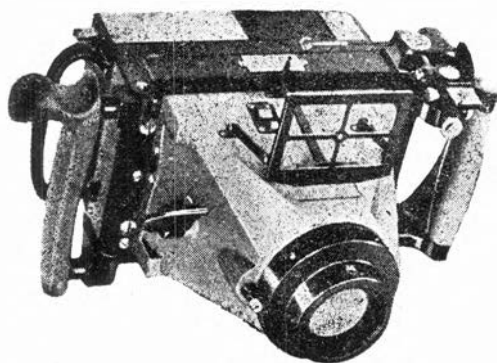
Kamery lotnicze są budowane jako pojedyncze bądź też jako sprzężone, tj. składające się z kilku kamer odpowiednio względem siebie nachylonych, pozwalających na jednoczesne wykonanie kilku zdjęć. Ma to na celu zwiększenie zasięgu zdjęć wykonanych w ciągu jednego nalotu, a tym samym zmniejszenie czasu potrzebnego na wykonanie zdjęć. Ponieważ zdjęcia wykonane takimi kamerami są przeważnie zdjęciami ukośnymi, bo nawet jeżeli znajduje się wśród nich pewna część zdjęć prawie pionowych,*) to te nie dają pełnego pokrycia zdejmowanego obszaru, przeto są nieodpowiednie do opracowania drogą przetwarzania. Zajmiemy się zatem opisem jedynie kamer pojedynczych.

Typem najstarszym i jednocześnie najprostszym są kamery ręczne. Ze względu na warunki pracy i wagę takiej kamery są one zaopatrzone w dwie wygodne ręczki, przy czym przy ręczce z prawej strony jest umieszczona dźwigienka, za pomocą której naciąga się i spuszcza sprężynę migawki. Do korpusu kamery jest przymocowana libela (przeważnie pudełkowa) oraz celownik, umożliwiające wykonanie zdjęć przy zachowaniu, choć w przybliżeniu pewnych z góry założonych elementów orientacji zewnętrznej.

Rys. 22 przedstawia taką ręczną kamerę lotniczą Wilda, zaopatrzoną w obiektyw, którego przekrój był podany na rys. 18a. Posiada ona migawkę centralną, pozwalającą na naświetlanie w czasie $1/250$ sek. Przed obiektywem jest umieszczony na stałe filtr żółty. Kamera ta jest przystosowana do wykonywania zdjęć na kliszach szklanych o wymiarach 13×13 cm. W korpusie kamery jest umieszczony automatyczny nume-

*) Istnieją np. aparaty składające się z 3 względnie 5 kamer, z których środkowa daje zdjęcie prawie pionowe, a pozostałe zdjęcia ukośne, symetrycznie nachylone względem zdjęcia środkowego.

rator, dzięki któremu, podczas naświetlania, rejestruje się jednocześnie na kliszy drogą fotograficzną kolejny numer zdjęcia. Klisze spoczywają w oddzielnych łuskach metalowych, co zapobiega stłuczeniu. Razem z tymi łuskami, po 10 sztuk, wkłada się je do ładownika, który nakłada się na kamerę. Po odsunięciu zasuwki, podobnie jak w zwykłych aparatach fotograficznych, wciska się



Rys. 22

ładownik, przez co przyciska się pierwszą kliszę do ramki tłowej. Odpowiednie zapadki przytrzymują ładownik w tym położeniu. Następnie palcami prawej ręki przy pomocy dźwigniki naciąga się sprężynę migawki, potem kieruje, korzystając z celownika, kamerę na przedmiot i przez puszczenie dźwigniki wykonuje naświetlenie. Bezpośrednio po naświetleniu, automatycznie, wspom-

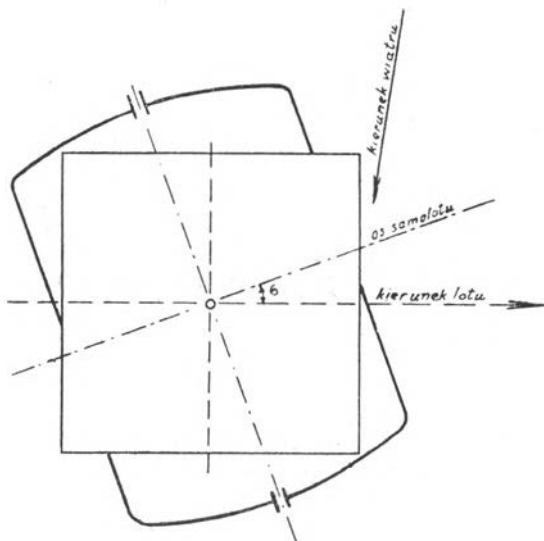
niane wyżej zapadki zwalniają ładownik, który wraca do swego normalnego położenia. Przez repetowanie klisza naświetlona wraz ze swą łuską wędruje na dno ładownika, a na jej miejsce podchodzi następna.

Dla ułatwienia robienia zdjęć zespołowych, celem objęcia nimi większego obszaru, zbudowano do tej kamery odpowiednie podwieszenie, umożliwiające umieszczenie jej na stałe nad otworem w podłodze samolotu. Podwieszenie przymocowuje się do podłogi samolotu podkładając w miejscach styku z podłogą podkładki gumowe, które mają chronić kamerę od drgań samolotu, wywołanych pracą silników. Budowa podwieszenia umożliwia nachylenie kamery w dwu wzajemnie do siebie prostopadłych kierunkach, z których jeden pokrywa się z osią podłużną samolotu. Ponadto można obracać kamerę dokoła jej osi dla wyeliminowania kąta znosu.

Jeżeli bowiem w czasie wykonywania zdjęć kierunek wiatru różni się od kierunku lotu, to samolot posuwa się w kierunku wypadkowej sił na niego działających, mianowicie: siły pociągowej silnika i siły wiatru. Kierunek lotu będzie zatem różny od kierunku osi podłużnej samolotu o kąt σ jak to jest pokazane na rys. 23. Dla uzyskania zdjęć, których jedna para krawędzi byłaby równoległa do kierunku lotu, należy obrócić kamerę o kąt σ do czego potrzebne jest odpowiednie urządzenie, umożliwiające obracanie kamery dokoła jej osi.

Ponieważ przy wykonywaniu zdjęć dużych obszarów praca taką kamerą byłaby bardzo uciążliwa, a w bardzo wielu wypadkach nawet niemożliwa, zbudowane zostały kamery automatyczne na filmy,

zwane kamerami szeregowymi. Pierwsze takie pełnowartościowe kamery szeregowe były zbudowane przez firmę Zeissa już w parę lat po zakończeniu pierwszej wojny światowej i były stosowane u nas przez Fotelot. Tuż przed ostatnią wojną światową wprowadzono do nich szereg, nieznacznych zresztą ulepszeń. Rys. 24 przedstawia taką kamerę szeregową RMK P 21, umieszczoną na podwieszeniu, które przymocowuje się nad otworem w podłodze samolotu. Kamera jest zaopatrzona w obiektyw „Orthometar“, którego przekrój jest podany na rys. 18 b. Migawka kulista pozwala na wykonywanie zdjęć w czasie $\frac{1}{75}$, $\frac{1}{120}$ i $\frac{1}{150}$ sek. Na zdjęciach odfotografowują się jednocześnie znaczki tłowe,



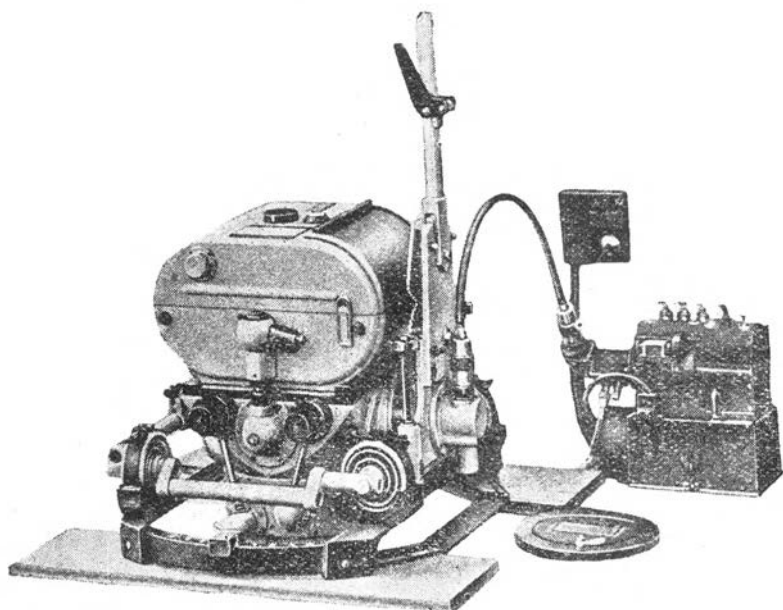
Rys. 23

długość ogniskowej, numer kolejny zdjęcia i obraz libeli pudełkowej. Płaskie układanie filmu przed momentem naświetlenia odbywa się przez wpuszczenie do korpusu kamery powietrza poprzez rurkę wystawioną na zewnątrz samolotu i ustawioną swoim wlotem w kierunku lotu. Pęd powietrza wpada do wnętrza kamery i przyciska film do płyty metalowej, znajdującej się w ładowniku, która przed tym przycisnęła film do ramki tłowej. Przed obiektywem są umieszczone dwa zamienne filtry, które można stosować zależnie od panujących warunków świetlnych i rodzaju emulsji. Cała kamera opiera się trzema rolkami na dobrze amortyzowanym podwieszeniu, pozwalającym na ustawienie kamery w dowolnym, w praktyce spotykanym, położeniu.

Do kamery są używane znormalizowane ładowniki Zeissa na film nieperforowany, 19 cm szerokości i długości do 60 m. Wymiary zdjęć wynoszą 18×18 cm, wobec czego bez zmiany ładownika można wykonać około 300 zdjęć. Na pokrywie ładownika znajduje się libela pudełkowa i dwa liczniki, z których jeden wskazuje ilość wykonanych zdjęć, a drugi — ilość (w metrach) nie naświetlonego jeszcze filmu.

Cały mechanizm kamery jest wprawiany w ruch motorkiem elektrycznym, poruszającym z akumulatora, bądź śmigiełkiem umieszczonym na zewnątrz samolotu i wprawianym w ruch przez pęd powietrza. Zu-

pełnie automatycznie wykonywane są następujące czynności: przesuwanie taśmy filmowej po wykonaniu każdego zdjęcia, naciąganie filmu i przyciskanie go do ramki tłowej, otwieranie zaworu powodujące nad-



Rys. 24

ciśnienie, wreszcie naświetlanie. Po naświetleniu płytka metalowa, która przyciskała film do ramki tłowej, cofa się, i wszystkie czynności powtarzają się w tym samym porządku.

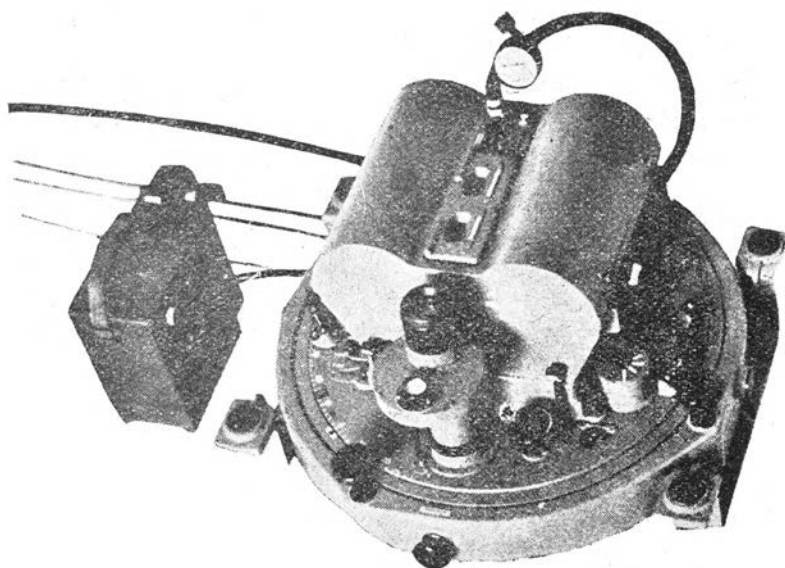
Do kontrolowania prawidłowości nastawienia mechanizmu służy tzw. regulator pokrycia, który wbudowuje się w podłogę samolotu obok kamery. W tym przyrządzie pomocniczym widać na matówce przesuwający się obraz terenu, a jednocześnie kreski poprzeczne taśmy przezroczystej przesuwanej motorkiem elektrycznym i linię podłużną, prostopadłą do kierunku kresiek. Ponieważ cały ten przyrząd daje się obracać w płaszczyźnie poziomej, można go ustawić tak, aby obrazy punktów terenu, nad którymi leci samolot, przesuwwały się po linii podłużnej, która będzie wtedy wskazywała kierunek lotu. Odpowiednio umieszczony podział kątowy pozwala na odczytanie kąta znosu, który uwzględnia się następnie przy ustawianiu kamery.

Ponieważ odstępów czasu, w jakich należy wykonywać zdjęcia, zależą od szybkości lotu, aby uzyskać przewidziane w programie zdjęć pokrycie w szeregu (patrz rozdział 4), ruch kresiek poprzecznych w regulatorze pokrycia jest zsynchronizowany z działaniem kamery tak, że wystarczy jedynie dobrać odpowiednią szybkość obrotową motorka, aby widziane

na matówce obrazy punktów terenu przesuwały się z tą samą szybkością co i kreski poprzeczne taśmy regulatora pokrycia; wtedy automatycznie zostanie zachowany żądany procent pokrycia. Innymi słowy regulowanie częstości zdjęć polega na pilnowaniu, aby obraz jakiegoś punktu terenu, leżący na jednej z kresk poprzecznych, pozostawał na niej w ciągu całej swojej drogi wzdłuż matówki.

Do obowiązków operatora obsługującego kamerę należą zatem jedynie następujące czynności:

1. odczytanie na regulatorze pokrycia kąta znosu i skrócenie kamery o ten sam kąt,
2. utrzymywanie kamery w poziomie (poziome położenie płaszczyzny kliszy), na podstawie wskazań libeli pudełkowej na ładowniku, przez nachylanie kamery dokoła dwu wzajemnie prostopadłych osi podwieszenia i
3. regulowanie szybkości działania motorka na podstawie obserwacji na regulatorze pokrycia.



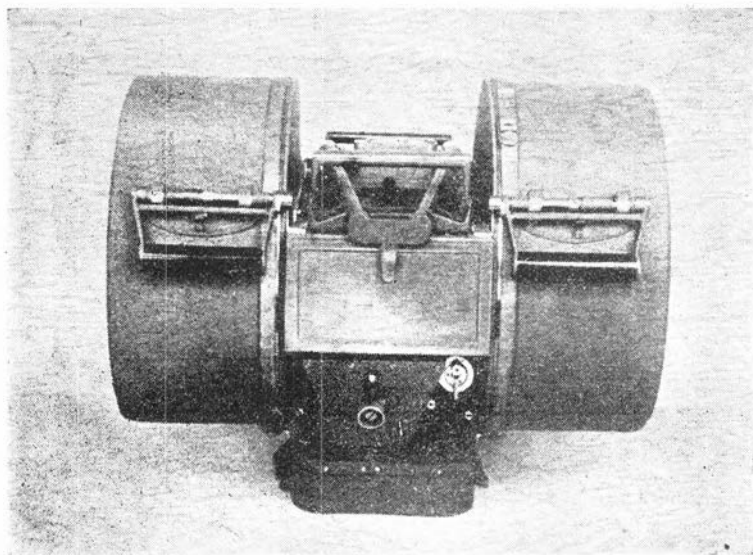
Rys. 25

Oczywiście, że musi on również zwracać uwagę czy zapas filmu w ładowniku jest jeszcze wystarczający i po zakończeniu danego zadania wyłączyć napęd i zamknąć ładownik.

Podobnie zbudowana jest automatyczna kamera szeregowa Wilda RC5, pokazana na rys. 25, dostarczana bądź z takim samym obiektywem jak kamera Zeissa RMK P 21, bądź też z obiektywem specjalnym (Avio-tar o sile światła 1 : 4,2).

W kamerze tej regulator pokrycia jest umieszczony w obudowie korpusu kamery, wskutek czego, po nastawieniu regulatora pokrycia na kierunek lotu, jednocześnie zostaje uwzględniony kąt znosu.

Ostatnie modele kamer szeregowych, produkowane przez obie fabryki, posiadają ponadto możliwość wymiany przystawek z różnymi obiektywami, tj. właściwych korpusów kamer. Posiada to tę dogodną stronę, że pozwala na używanie tego samego podwieszenia wraz z całym mechanizmem napędzającym i ładownikami do wykonywania zdjęć normalnych i szerokątnych. Należy jedynie założyć na miejsce przystawki z obiektywem o ogniskowej 210 mm, przystawkę z obiektywem o ogniskowej 100 względnie 115 mm.



Rys. 26

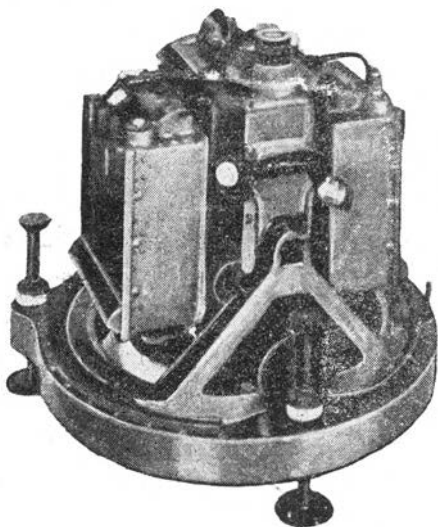
Ponieważ przy wykonywaniu zdjęć na taśmie filmowej zawsze musimy się liczyć z mniejszymi lub większymi zniekształceniami obrazu ze względu na deformację filmu, różne fabryki budowały i budują w dalszym ciągu kamery szeregowo na klisze. Ze względu na ciężar klisz duże trudności przedstawia skonstruowanie mechanizmu podającego klisze. Musi być tu brane pod uwagę to, aby środek ciężkości nie ulegał zmianie, bo wtedy powstawałyby nowe dodatkowe trudności zachowania stałości elementów orientacji zewnętrznej zdjęć.

Pomysłowe rozwiązanie zostało zastosowane w kamerze Santoni'ego zbudowanej przez Officine Galileo we Florencji, przedstawionej na rys 26. Ładowniki na klisze zostały wykonane w formie dwu bębnow

umieszczonych symetrycznie po obu stronach kamery. Każdy z nich zawiera 200 klisz o wymiarach 10×15 cm. W miarę wykonywania zdjęć ładowniki obracają się o $\frac{1}{200}$ obwodu.

W roku 1949 firma Wilda zbudowała również automatyczną kamerę szeregową na klisze pokazaną na rys. 27. Do kamery tej zastosowano obiektyw „Aviotar“ o ogniskowej 17 cm, sile światła 1 : 4,2 i dystorsji nie przekraczającej $\pm 0,005$ mm. Dwa ładowniki na klisze, zawierające po 40 sztuk każdy, są nakładane na kamerę, a mechanizm do podawania klisz jest tak zbudowany, że środek ciężkości kamery nie ulega przesunięciu. Waga kamery łącznie z 80 kliszami, o wymiarach 15×15 cm, wynosi około 80 kg.

Mimo pomysłowości konstrukcji i precyzyjnego zapewne ich wykonania kamery te nie mogą jednak konkurować z kamerami szeregowymi na filmy przy masowym wykonywaniu zdjęć lotniczych.



Rys. 27

3. URZĄDZENIA DO WYZNACZANIA ELEMENTÓW ORIENTACJI ZEWNĘTRZNEJ ZDJĘĆ

Jak wynika z rozważań podanych w rozdziale 1, przetwarzanie zdjęć byłoby bardzo proste, gdybyśmy znali dla każdego zdjęcia elementy orientacji zewnętrznej, tj. odległość środka rzutów od płaszczyzny zdejmowanego terenu, innymi słowy — wysokość lotu, nachylenie osi kamery względem prostej pionowej, poprowadzonej przez środek obiektywu, oraz kąt skręcenia kliszy.

Dokładna znajomość elementów orientacji zewnętrznej pozwalałaby na bezpośrednie przetwarzanie zdjęć lotniczych na plany fotograficzne w ściśle określonej skali, bez jakichkolwiek dodatkowych pomiarów. Znacznie by to uprościło i skróciło tok postępowania przy opracowywaniu planów i map tą metodą. Toteż usiłowania konstruktorów były i są jeszcze ciągle skierowane w kierunku wynalezienia sposobów, które pozwoliłyby na wyznaczenie tych elementów z wystarczającą dla potrzeb fotogrametrii dokładnością.

Najstarsze, najprostsze, a jednocześnie do dziś jeszcze stosowane sposoby pozwalają jedynie na przybliżone wyznaczenie tych elementów za

pomocą barometru i libeli. Znane jest i wykorzystywane, zarówno w geodezji jak i lotnictwie, zjawisko spadku ciśnienia atmosferycznego w miarę wznoszenia się, innymi słowy — w miarę oddalania się od poziomu morza.

Zjawisko to zostało wykorzystane do niwelacji fizycznej i do mierzenia wysokości lotu samolotu przy pomocy zbudowanych na tej zasadzie wysokościomierzy.

Nie wdając się w szczegóły mechanicznego wykonania wysokościomierzy wystarczy nadmienić, że są one zbudowane podobnie jak pospolite aneroidy, pokazujące nam wielkość ciśnienia atmosferycznego. Z powodu nieuniknionych błędów mechanizmu i z uwagi na zmienność ciśnienia w czasie lotu, dokładność pomiaru wysokości tą drogą jest niewielka, wynosząca niekiedy kilkadziesiąt metrów zaledwie.

W praktyce nie używa się przeto wysokościomierzy do wyznaczania wysokości, z jakiej zostały wykonane poszczególne zdjęcia, lecz tylko do wyprowadzenia samolotu w przybliżeniu na z góry określoną wysokość, z której, zgodnie z planem, powinny być wykonane zdjęcia. Z tego względu wysokościomierze należą raczej do grupy przyrządów nawigacyjnych, którymi posługuje się pilot w czasie latania.

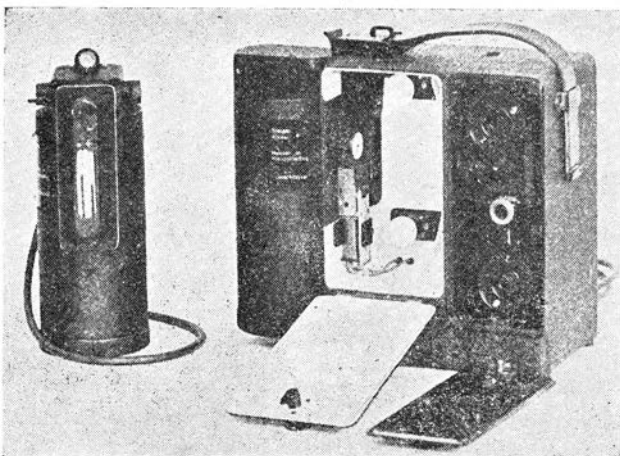
W niektórych lotniczych kamerach pomiarowych nowszej konstrukcji, jak np. opisana kamera Wilda RC5, tego rodzaju wysokościomierz jest wbudowany w kamerę i odfotografowany na każdym zdjęciu. Ma to jednak znaczenie jedynie orientacyjne, bez większego wpływu na tok opracowania.

Do wyznaczania kątów nachylenia i skręcenia zastosowano libele pudełkowe, odpowiednio osadzone w korpusie kamery i odfotografowane na każdym zdjęciu. Na libeli znajdują się okręgi kół koncentrycznych w odstępach odpowiadających zmianie nachylenia o $1''$. Z położenia obrazu pęcherzyka libeli można odczytać wielkość kąta nachylenia z dokładnością $0'',5$ oraz z kierunku przesunięcia się pęcherzyka — kąt skręcenia. Ten sposób wyznaczania położenia płaszczyzny kliszy w chwili zdjęcia również posiada jedynie wartość orientacyjną ze względu na zbyt małą dokładność oraz nie dające się określić błędy wskazań libeli. Praktyka wykazuje, że jeżeli w czasie lotu prostoliniowego z jakiegoś powodu samolot został raptownie wychylony ze swego położenia, to odfotografowana na zdjęciu libela nie wskazuje rzeczywistego kąta nachylenia osi kamery w momencie wykonania zdjęcia.

Duże korzyści daje używanie w czasie lotów fotogrametrycznych przyrządów zwanych statoskopami. Przed wojną, przy wykonywaniu zdjęć przez Fotolot, używane były statoskopy firmy Askania. Budowane one były na tej samej zasadzie co aneroidy z tym jednak, że nie wskazywały one ciśnienia ani odpowiadającej danemu ciśnieniu wysokości względnej czy bezwzględnej, lecz jedynie odchylenia w wysokości

w stosunku do poziomu, na jaki statoskop został ustawiony (projektowana wysokość lotu). Strzałka statoskopu wskazuje pilotowi już 2-metrowe zmiany wysokości. Ponieważ jednak pilot nie ma możliwości prowadzenia samolotu z tak wielką precyzją, należy się liczyć, że wysokość lotu ze statoskopem będzie utrzymana w granicach nieco większych — ± 20 m. Będzie to zależało oczywiście od wprawy pilota, stałości warunków atmosferycznych i właściwości samolotu. Jeżeli zdjęcia są wykonywane z samolotu mało statecznego, może się zdarzyć, że stosowanie statoskopu raczej pogarsza sytuację. Ciągłe bowiem odchyłanie się strzałki denerwuje pilota i samolot w czasie lotu doznaje stałych i raptownych zmian wysokości, gdy tymczasem bez statoskopu zmiany te odbywałyby się w sposób znacznie łagodniejszy.

Ostatnio zaczęto stosować statoskop typu Väisälä (rys 28), którego wskazania są rejestrowane fotograficznie na oddzielnej taśmie filmowej w tych samych momentach, w jakich były wykonywane poszczególne zdjęcia lotnicze. Tym sposobem można z dość dużą dokładnością, bo paru metrów, wyznaczyć różnice wysokości między kolejnymi położeniami kamery w momentach fotografowania. Daje to pewne korzyści w sensie podniesienia dokładności aeriatriangulacji, o której będzie później mowa, i stwarza możliwości przeprowadzania niezależnej kontroli opracowania. Nie należy jednak przeceniać wartości wskazań statoskopu, gdyż zmiana ciśnienia atmosferycznego ulega ciągłym, czasami nawet dość raptownym zmianom i zmiany wskazań statoskopu nie zawsze są wywołane zmianą wysokości lotu.

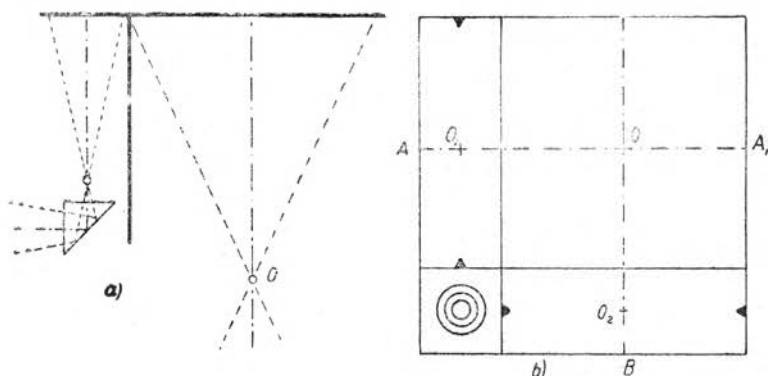


Rys. 28

Ciekawy bardzo pomysł zrealizował E. Santoni, mjr Wojskowego Instytutu Geograficznego we Florencji. Zbudował on mianowicie do swojej kamery lotniczej tzw. „peryскоп słoneczny“, pracujący synchronicznie z kamerą i z nią sztywno połączony. Przy pomocy tego peryskopu, jednocześnie z wykonywaniem zdjęć lotniczych terenu zostają fotograficznie zarejestrowane na oddzielnej taśmie położenie słońca oraz wskazania chronometru, busoli i statoskopu.

Mając spólrzędne geograficzne stanowisk samolotu (wyznaczone z dostateczną dokładnością z mapy na podstawie zdjęć) i czas, można na podstawie rocznika astronomicznego wyznaczyć azymut i wysokość słońca w momencie fotografowania i w ten sposób otrzymać jeden znany kierunek dla wyznaczenia orientacji zdjęcia. Daje to korzyści przy przeprowadzaniu tzw. aerotriangulacji przestrzennej i było stosowane na dużą skalę we Włoszech do zdjęć kolonialnych. W innych krajach metoda ta nie była zupełnie stosowana.

Inny sposób wyznaczania nachylenia płaszczyzny kliszy w chwili zdjęcia polega na jednoczesnym fotografowaniu horyzontu w dwu do siebie prostopadłych kierunkach. Pomysł ten został wprowadzony przez fińskiego generała Nenonena. Do tego celu zbudowana została specjalna kamera, której schemat jest podany na rys. 29. Rys 29 a przedstawia przekrój pionowy, na którym punkt O wyobraża właściwy obiektyw kamery, przez który otrzymuje się prawie pionowe zdjęcie terenu, a punkt



Rys. 29

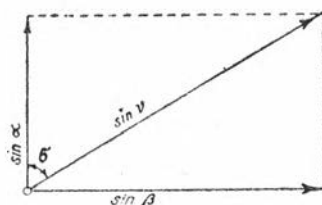
O_1 — obiektyw dodatkowej kamery, dający przez pryzmat p obraz horyzontu na tej samej kliszy co i obraz terenu. Z rys. 29 b widać usytuowanie obiektywów kamer dodatkowych O_1 i O_2 , dających zdjęcia horyzontu w stosunku do obiektywu głównego O . Kamery pomocnicze zaopatrzone są w znaczki tłowe, zaznaczone na rysunku, wyznaczające położenie horyzontu, jakie powinno się otrzymać przy pionowym położeniu osi kamery zasadniczej i wykonywaniu zdjęć z pewnej założonej wysokości. Przy innych wysokościach lotu obrazy horyzontu powinno się otrzymać w postaci linii równoległych do łącznic znaczków tłowych, przesuniętych względem nich w jedną lub drugą stronę o tę samą wielkość na obu obrazach. Rzecz jasna, że naświetlanie wszystkich trzech zdjęć powinno być jednoczesne.

Jeżeli sobie wyobrazimy, że kamera została nachylona o pewien kąt w kierunku BB_1 , to znaczy, że linia AA_1 pozostała poziomą, a prosta BB_1

jest prostą największego spadku płaszczyzny kliszy, to na zdjęciu otrzymanym przez obiektyw O_1 linia horyzontu będzie tworzyła z łącznicą znaczków jakiś kąt β równy kątowi nachylenia osi kamery, zaś na zdjęciu otrzymanym przez obiektyw O_2 — równolegle przesunięta.

W wypadku ogólnym, tj. nachylenia osi kamery zasadniczej o pewien kąt ν w kierunku nie pokrywającym się ani z kierunkiem AA_1 ani BB_1 , oba obrazy horyzontu będą odchylone od położen wyznaczonych za pomocą znaczków tłowych o kąty α i β , które będą stanowiły składowe kąta nachylenia ν .

Kąt nachylenia ν można wyznaczyć graficznie, jak to pokazane na rys. 30, odkładając, jako rzędne i odcięte, odpowiednio: $\sin \alpha$ i $\sin \beta$. Wektor wypadkowy da nam $\sin \nu$, a kąt, jaki utworzy wektor wypadkowy z osią rzędnych — kąt skręcenia σ .

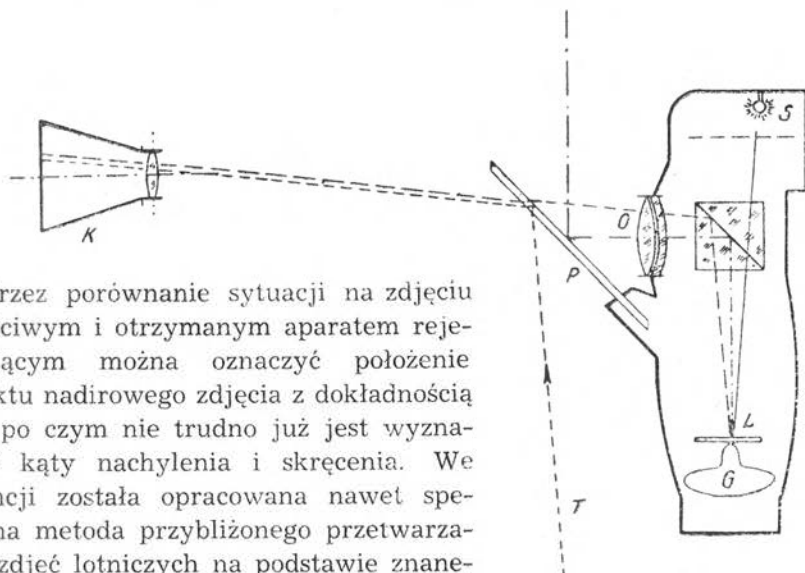


Rys. 30

W nowszym wykonaniu przez fabrykę Zeissa do fotografowania obrazów horyzontu służą oddzielne kamery dodatkowe, które można dołączać do kamery szeregowej. Napęd kamery szeregowej służy wtedy jednocześnie do poruszania mechanizmów kamer dodatkowych. Kamery te są niewielkich wymiarów, wagi 3,5 kg, a zdjęcia — o wymiarach $6 \times 2,5$ cm — są otrzymywane na normalnej, perforowanej taśmie filmowej. Na każdym zdjęciu zostają odfotografowane znaczki tłowe i numer kolejny dla umożliwienia odszukania zdjęć horyzontu, odpowiadających poszczególnym zdjęciom głównym. Według opublikowanych przez K. G. Löffströma sprawozdań z przeprowadzonych nad tą metodą doświadczeń dokładność wyznaczenia kątów nachylenia wynosi $\pm 2^\circ$. Trzeba jednak dodać, że to jest zależne w bardzo dużym stopniu od warunków atmosferycznych. W naszych warunkach prawdopodobnie w dużym procencie zdjęcia horyzontu byłyby mało wyraźne, a tym samym i dokładność wyznaczenia na ich podstawie kąta nachylenia byłaby mniejsza.

Ostatnio we Francji zaczęto używać do wyznaczania położenia punktu nadirowego na zdjęciach giroskopu. Do tego celu służy oddzielna aparatura, pracująca synchronicznie z automatyczną kamerą pomiarową, schematycznie przedstawiona na rys. 31. Przymocowane do giroskopu G zwierciadło L będzie zajmowało położenie poziome. Promień, idący od S , po odbiciu od zwierciadła L i załamaniu przez pryzmat wychodzi przez obiektyw O_1 i daje obraz na filmie kamery rejestrującej K . Na tym samym filmie odfotografowuje się obraz terenu dzięki umieszczeniu na wprost obiektywu kamery K płyty płasko-równoległej na wpół srebrzonej. Działania kamery pomiarowej i rejestrującej są synchronizowane elektrycznie, dzięki czemu przy pomocy kamery rejestrującej otrzymujemy dla momentów naświetlenia każdego zdjęcia pomiarowego, na taś-

mie filmowej szerokości 3,5 cm, oddzielny obrazek środkowej części terenu odwzorowanego na zdjęciu oraz punkt świetlny, przedstawiający położenie punktu nadirowego zdjęcia (punktu, w którym prosta pionowa, poprowadzona przez środek obiektywu, przebija płaszczyznę terenu).



Rys. 31

Przez porównanie sytuacji na zdjęciu właściwym i otrzymanym aparatem rejestrującym można oznaczyć położenie punktu nadirowego zdjęcia z dokładnością 15', po czym nie trudno już jest wyznaczyć kąty nachylenia i skręcenia. We Francji została opracowana nawet specjalna metoda przybliżonego przetwarzania zdjęć lotniczych na podstawie znanego położenia punktu nadirowego.

Olbrzymie postępy w dziedzinie radio-techniki, jakie poczyniono w czasie ostatniej wojny, i opracowane na tej zasadzie różne systemy nawigacji (Radar, Shoran) pozwalają przypuszczać, że może uda się również i na tej drodze opracować jakieś nowe sposoby wyznaczania elementów orientacji zewnętrznej zdjęć.

4. WYKONYWANIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH

Do wykonywania zdjęć lotniczych są używane obecnie wyłącznie samoloty. Niektóre fabryki samolotów opracowały specjalne typy maszyn, przystosowanych do tych celów, i produkują je nawet seryjnie. Przed wojną takie samoloty „na foto“ były wytwarzane np. w Niemczech przez fabrykę Bayerische Flugzeugwerke A. G. typu Messerschmidt. Obecnie firma S. N. C. A. C. we Francji produkuje samoloty typu N. C. 701, specjalnie wyposażone i dostosowane do potrzeb fotogrametrii.

Zależnie od warunków lokalnych i zakresu projektowanych prac aerofotogrametrycznych w danym kraju można zasadniczo do wykonywania zdjęć lotniczych używać samolotów różnych typów, aby tylko zapewniły dobrą stateczność lotu. Poza tym powinny one odpowiadać

pewnym warunkom, które należy każdorazowo określić zależnie od rodzaju zdjęć, jakie mają być z jego pokładu wykonywane. Przy wyborze typu samolotu trzeba brać pod uwagę następujące cechy:

1. Promień działania, innymi słowy maksymalną długość lotu bez lądowania. Zależy to od rozmieszczenia obszarów, przeznaczonych do fotografowania, w stosunku do położenia lotnisk. Każdy bowiem lot na foto składa się z trzech etapów: dolotu, lotu nad celem i powrotu. Jeżeli promień działania będzie niezbyt duży, to posiadany w samolocie zapas benzyny wystarczy zaledwie na dolot i powrót, a na pracę właściwą może już brakować benzyny. Średnio samolot na foto powinien posiadać zapas paliwa na 6 — 8 godzin lotu. Na ogół warunek ten nie jest trudny do spełnienia, gdyż o ile tylko nośność samolotu jest wystarczająca, można prawie zawsze wbudować dodatkowe zbiorniki na benzynę.

2. Pułap, tj. maksymalna wysokość, na jaką samolot może się wznieść przy pełnym obciążeniu. Zależy to od wysokości terenów przeznaczonych do zdjęcia nad poziomem morza oraz ogniskowej kamery lotniczej i projektowanej skali zdjęć.

3. Wymiary kabiny — zależne od rodzaju aparatury, jaka ma być wbudowana w samolot.

4. Możliwość wycięcia otworów dla wbudowania kamery i urządzeń nawigacyjnych. Bardzo często konstrukcja płatowca jest tego rodzaju, że pod podłogą kabiny znajdują się części konstrukcji szkieletowej względnie linki sterowe, których przesunięcie następuje duże trudności.

5. Budowa podwozia, aby poszczególne jego części nie przesłaniały pola widzenia kamery.

6. Szybkość samolotu niezbyt duża, gdyż zdjęcia mogłyby być poruszone. Ponadto przy wykonywaniu zdjęć z małej wysokości mogłaby zachodzić potrzeba wykonywania zdjęć kolejnych w krótszych odstępach czasu niż na to pozwala mechanizm kamery automatycznej, wreszcie

7. dobra widoczność, pozwalająca nawigatorowi łatwo orientować się w terenie.

Poza tym, ze względów ekonomicznych samolot powinien być taki, aby koszty lotu były możliwie jak najmniejsze, a zatem samolot nie powinien zużywać zbyt dużo benzyny, a jednocześnie powinien posiadać dużą szybkość wznoszenia, żeby osiągnięcie projektowanej wysokości nie trwało zbyt długo.

Ponieważ od dobrego wykonania zdjęć w bardzo dużym stopniu zależy łatwość i dokładność opracowania, należy przy wyborze samolotu dokładnie przeanalizować wszystkie istniejące możliwości i przewidywane potrzeby, aby potem, przy opracowywaniu zdjęć nie było dodatkowych trudności.

Na ogół nadają się do tych celów małe samoloty komunikacyjne, górnopłatowe. Nawigator kierujący lotem ma wtedy zapewnioną dobrą widoczność w dół przez okienko w podłodze i na boki — przez okna boczne kabiny. Sama kabina takiego samolotu pasażerskiego jest wtedy wystarczająca do wygodnego rozmieszczenia aparatury do fotografowania oraz przyrządów nawigacyjnych. Poza tym łatwo można oddzielić część kabiny na zrobienie ciemni, co jest bardzo pożyteczne, gdyż umożliwia wymianę filmu względnie klisz w czasie lotu, a co najważniejsze — w wypadku zacięć — zbadanie i ewentualne usunięcie skrawków porwanego filmu czy też odłamków zbitej kliszy bez przerywania lotu.

Jeżeli samolot jest dolnopłatowcem, to bardzo odpowiednie są maszyny o kabinie pilota, mogącej pomieścić również i nawigatora, wysuniętej do przodu i umieszczonej jakby na balkonie. Ma to zwykle miejsce w samolotach dwusilnikowych. Do tej kategorii należą samoloty foto, produkowane przez wspomnianą fabrykę S. N. C. A. C. we Francji.

Pod względem szybkości można by przyjąć za najodpowiedniejszą dla samolotów foto szybkość 150 km/godz. Pod tym względem nie można podać żadnej ścisłej wartości, bo to jest zależne od skali, w jakiej są wykonywane zdjęcia. Przy zdjęciach w małej skali szybkość mogłaby być znacznie większa. Przy skali dużej — nawet 150 km/godz. może być za wiele. Ideałem byłyby samoloty mogące latać z różną szybkością ewentualnie stosowanie kilku samolotów o różnych szybkościach, zależnie od rodzaju zadania.

Przed przystąpieniem do wykonywania zdjęć należy opracować plan lotów. Plan taki opracowuje się na jakiejś już istniejącej mapie, np. w skali 1 : 100 000. Mapa taka powinna być na tyle szczegółowa, aby nawigator łatwo mógł się orientować. Jeżeli mapa jest jednobarwna, mało czytelna, opłaci się nawet poprawić specjalnie jej czytelność przez pomalowanie niektórych szczegółów, jak lasy, wody itp.

Po naniesieniu na mapę granic obszaru, którego zdjęcia mają być wykonane, należy się zastanowić nad zaprojektowaniem nalogów, tj. linii, wzdłuż których samolot ma się posuwać w czasie fotografowania.

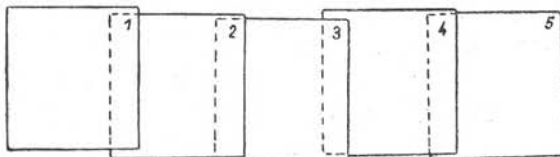
Zależnie od kształtu granic dla „pokrycia“ terenu zdjęciami mogą zachodzić dwa wypadki:

1. wystarczy wykonać jeden szereg lub
2. należy wykonać zespół zdjęć.

Za szereg zdjęć uważamy kolejne zdjęcia, wykonane w ciągu jednego nalogu. Zależnie od potrzeby mogą one być wykonane z zachowaniem różnego procentu pokrycia. Mówiąc, że zdjęcia mają 10% pokrycie w szeregu, rozumiemy, że 10% obszaru odwzorowanego na zdjęciu drugim było już odwzorowane na zdjęciu pierwszym, a 10% obszaru odwzoro-

wanego na zdjęciu trzecim było odwzorowane na zdjęciu drugim itd. Po wykreśleniu na mapę zasięgów poszczególnych zdjęć szeregu o 10% pokryciu otrzymalibyśmy szkic pokrycia jak na rys. 32.

Z rysunku tego widać, że jeden szereg wystarczy dla pokrycia obszaru wydłużonego, np. doliny rzeki względnie pasa terenu wzdłuż drogi. Dla pokrycia zdjęciami większych obszarów należy wykonać kilka szeregów zdjęć do siebie równoległych, które nazywamy zespołem. Zasięgi poszczególnych szeregów również częściowo na siebie

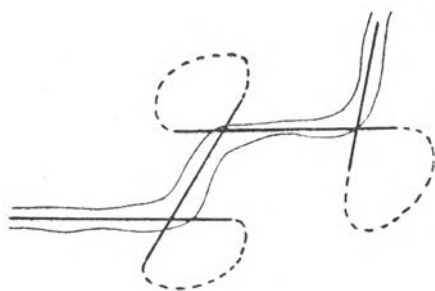


Rys. 32

zachodzą i wielkość tego zachodzenia, wyrażoną w procentach, nazywamy pokryciem w zespole lub pokryciem między szeregami.

Po ustaleniu skali przybliżonej, w jakiej mają być wykonane zdjęcia, łatwo można ustalić zasięg jednego zdjęcia, wykonanego przy prawie pionowym położeniu osi kamery. Tylko takimi zdjęciami będziemy się tutaj zajmowali jako najbardziej odpowiednimi dla metody przetwarzania. Zasięg jednego zdjęcia będzie obejmował w przybliżeniu pole prostokąta o bokach równych bokom obrazu na kliszy, pomnożonym przez mianownik skali. Ponieważ obecnie przeważnie są stosowane kwadratowe wymiary zdjęć, w dalszych rozważaniach tylko o takich będzie mowa.

Jeżeli obszary przewidziane do zdjęcia są wydłużone tak, że dla ich pokrycia wystarczą pojedyncze szeregi, linie nalotów będziemy tak wykreślali, aby przebiegały one mniej więcej pośrodku obszaru. Należy tu jedynie zaznaczyć, że linie nalotów powinny być proste, gdyż przy wszelkich skrętach samolotu następują silne wychylenia płatu w kierunku prostopadłym do osi lotu, które zakłócają działanie libeli i utrudniają utrzymanie kamery w poziomie.



Rys. 33

Zdjęcia mogą być wtedy dość znacznie nachylone, a procent pokrycia będzie również zupełnie przypadkowy. W przypadku więc wykonywania zdjęć np. rzek o licznych zakrętach należy projektować szereg nalotów prostoliniowych, jak to pokazano na rys. 33.

Przy projektowaniu zdjęć większych obszarów projektujemy linie, nalotów w postaci prostych do siebie równoległych, w odstępach równych bokowi kliszy w skali zdjęć z uwzględnieniem projektowanego pokrycia między szeregami. A więc,

jeżeli pokrycie między szeregami ma wynosić np. 30%, to odstępy między nalotami będziemy projektowali równe 70% boku kliszy w skali zdjęcia.

Ze względów ekonomicznych należy dążyć przy projektowaniu, aby ilość nalotów była jak najmniejsza, a więc projektować je w kierunku, w którym obszar jest bardziej wydłużony. Oczywiście, że przy zdejmowaniu bardzo dużych obszarów trzeba podzielić je na kilka mniejszych, aby naloty nie były zbyt długie, może to bowiem wywoływać zmęczenie załogi, a co za tym idzie i niedokładności w pracy. Przeważnie unika się projektowania nalotów dłuższych od szerokości arkusza mapy 1 : 100 000, tj. przekraczających 30 km.

W ten sposób przygotowany plan nalotów z podaniem skali przybliżonej zdjęć i procentu pokrycia w szeregach stanowi wystarczający materiał dla załogi samolotu foto do wykonania zdjęć.

W wypadkach specjalnych powinien być jeszcze podany w planie maksymalny dopuszczalny czas naświetlenia, a to aby zapobiec możliwości otrzymania zdjęć poruszonych wskutek ruchu samolotu. Jeżeli bowiem szybkość samolotu wynosi np. 150 km/godz., to przy wykonywaniu zdjęć w skali przybliżonej 1:5 000, w ciągu sekundy samolot przesunie się o długość odpowiadającą na zdjęciu:

$$\frac{150\,000\,000}{5000 \cdot 60 \cdot 60} = 8,3 \text{ mm.}$$

Aby zatem zamazanie spowodowane ruchem samolotu nie przekroczyło 0,05 mm, czas naświetlania

$$t^s \leq \frac{0,05}{8,3} \text{ sek.}$$

czyli nie powinien przekraczać $\frac{1}{166}$ sekundy.

Najodpowiedniejszy skład załogi jest trzyosobowy: nawigator (jednocześnie kierownik ekipy), pilot i operator (fotograf).

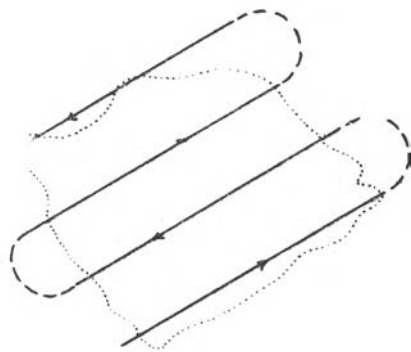
Nawigator powinien mieć wykształcenie przewidziane dla obserwatorów lotnictwa oraz być dokładnie zaznajomiony z budową i obsługą kamery oraz metodami dalszego opracowywania zdjęć. Powinien również posiadać dostateczne wiadomości z dziedziny fotografii, aby trafnie dobrać czas naświetlania i rodzaj filtru. W tych sprawach powinien się on porozumiewać z kierującym obróbką fotograficzną zdjęć lotniczych fotografem, który powinien go informować o wszelkich niedociągnięciach pod tym względem. Ponieważ zdjęcia lotnicze mogą być w naszych warunkach wykonywane jedynie w miesiącach letnich, mniej więcej od kwietnia do października, jest bardzo wskazane, aby przez miesiące zimowe nawigatorzy byli częściowo zatrudniani przy opracowywaniu zdjęć i w ten sposób mieli możliwość dokładnego zapoznania się z trudnościami, jakie zjawiają się wskutek różnych niedociągnięć w ich wykonaniu. Do obowiązków nawigatora należy doprowadzić pilota nad teren,

który ma być fotografowany, podać pilotowi wysokość lotu nad poziomem morza ewentualnie nastawić statoskop na przewidzianą wysokość lotu oraz, posiłkując się odpowiednimi celownikami, dawać pilotowi potrzebne zlecenia tak, aby kierunek lotu pokrywał się z zaprojektowanymi na mapie liniami nalotów. Poza tym powinien on czuwać nad operatorem i dawać mu znaki, kiedy należy zacząć wykonywanie zdjęć i kiedy zakończyć. Nawigator powinien być również tym, który w wypadku jakichś zacięć ładownika potrafiłby usunąć przeszkody, aby nie zmarnować lotu.

Jako pilotów na loty foto powinno się dobierać ludzi doświadczonych spośród pilotów odbywających loty długodystansowe. Żadne inne specjalne kwalifikacje nie są konieczne chyba, żeby loty miały być wykonywane przy zmniejszonym składzie załogi. Wówczas obowiązki nawigatora musiałyby być rozłożone na pilota i operatora. Takie zmniejszenie składu załogi jest jednak możliwe jedynie przy wykonywaniu niewielkich zadań lub zastosowaniu specjalnej sygnalizacji w terenie w postaci sygnałów dobrze widocznych z góry. Tego rodzaju sygnalizacja, o ile nie jest niezbędna ze względu na monotoność terenu (zupełny brak szczegółów orientacyjnych), byłaby zbyt kosztowna i oszczędności osiągnięte kosztem zmniejszenia załogi nie mogłyby jej zrównoważyć.

Na operatorów bardzo odpowiedni są mechanicy pokładowi. Należy ich jedynie dokładnie zapoznać ze sposobem obsługi kamery i należącymi do nich obowiązkami. Operator z chwilą, kiedy samolot zbliży się do celu, przygotowuje kamerę do pracy: nakłada ładownik, odsuwa zasuwkę ładownika, a po otrzymaniu znaku od nawigatora, że samolot znalazł się na żądanej wysokości i pierwszej linii nalotu — poziomuje kamerę i nastawia ją na kierunek lotu uwzględniając odczytany na regulatorze pokrycia kąt znosu. Na dany przez nawigatora znak rozpoczęcia zdjęć — włącza napęd i stale śledzi czy libela nie wyszła ze swego położenia oraz, czy pokrycie jest prawidłowe.

Jeżeli załoga jest dobrze wyszkolona i teren łatwy do orientacji, zdjęcia można wykonywać w dwu kierunkach, tj. tak, jak pokazane na rys. 34. Jest to sposób ekonomiczniejszy, ale i trudniejszy do wykonania, ponieważ przy każdym nalocie zasadniczo zmienia się kąt znosu. Poza



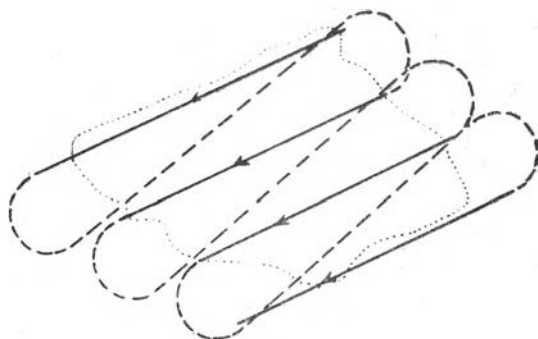
Rys. 34

tym zmienia się również i szybkość lotu wskutek innego ustawienia samolotu w stosunku do kierunku wiatru. Z tego względu dla zachowa-

nia tego samego pokrycia trzeba za każdym razem zmieniać szybkość obrotową mechanizmu napędzającego kamerę.

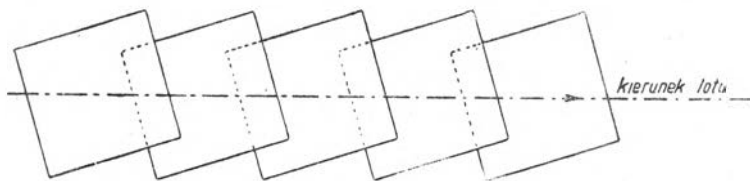
Toteż, o ile nie ma pewności, że załoga podoła zadaniu, należy raczej zastosować sposób mniej ekonomiczny, ale łatwiejszy do wykonania, tj. fotografować tylko w jednym kierunku, jak pokazane na rys. 35.

Zdjęcia wykonane przy złym uwzględnieniu znośu układają się schodkami, jak pokazane na rys. 36. W takich wypadkach nie trudno jest o luki w pokryciu między szeregami nie mówiąc już o trudnościach w przeprowadzeniu triangulacji radialnej, jeżeli tą drogą ma być sporządzany podkład do przetwarzania.



Rys. 35

Zależnie od rodzaju samolotu nawigator znajduje się w czasie lotu nad celem bądź wewnątrz kabiny razem z operatorem, bądź w kabinie pilota. W pierwszym wypadku ma utrudnione porozumiewanie się z pilotem, w drugim — z operatorem. Łączność z nimi utrzymuje wtedy za pomocą telefonu pokładowego. Mogą tu być stosowane również różne znaki umówione względnie sygnalizacja świetlna, ale wtedy nawigator musi się ograniczać jedynie do pewnej ilości rozkazów z góry przewi-



Rys. 36

dzianych, co nie zawsze wystarcza. Ponieważ szybkość, z jaką zmysły ludzkie reagują na zjawiska zewnętrzne, jest różna u poszczególnych osób, ważną jest rzeczą, aby ludzie wchodzący w skład załogi byli ze sobą zgrani. Powinno się dążyć, aby skład załogi był stale ten sam. Wtedy każdy z członków zespołu, po pewnym czasie, może nawet podświadomie, poznać szybkość i sposób reagowania swoich towarzyszy i praca będzie wykonywana sprawnie i harmonijnie.

Podany tu pokrótce opis pracy na pokładzie samolotu dotyczy wykonywania zdjęć automatyczną kamerą szeregową. Przy wykonywaniu zdjęć kamerą nieszeregową, w zależności od wymaganego pokrycia w sze-

regu i szybkości lotu w danym momencie, musi nawigator obliczyć w jakich odstępach czasu zdjęcia powinny być wykonywane. Operator zaś — poza stałym utrzymywaniem kamery w poziomie i uwzględnianiem kąta znosu — musi ręcznie wykonywać wszystkie manipulacje, dotyczące przewijania filmu czy też zmiany klisz oraz naświetlać w podanych przez nawigatora odstępach czasu korzystając ze stopera.

Dla ułatwienia pracy nawigatora różne instytucje, wykonujące zdjęcia lotnicze, budowały mniej lub więcej pomysłowe celowniki, które w normalnych warunkach, na obszarach zagospodarowanych, bogatych w sytuację i posiadających dość dobre mapy, nie posiadają większego znaczenia. Niemniej jednak nawigator pracujący na pokładzie znajdującego się w ciągłym ruchu samolotu musi posiadać jakieś urządzenia pozwalające mu na odszukanie w terenie punktu, nad którym znajduje się w danym momencie, oraz ustalenie kierunku lotu w stosunku do linii sytuacyjnych terenu. Bardzo pożyteczna jest dla nawigatora np. jakaś nić w otworze obserwacyjnym w podłodze, którą może nastawiać równoległe do kierunku lotu. Przy jej pomocy obserwuje punkty terenu, nad którymi leci samolot, i przez odpowiednie przesunięcie głowy wstecz może sprawdzić, nad jakimi punktami, przy zachowaniu danego kierunku lotu, samolot będzie przelatywał. Jeżeli ponadto przy ruchomym końcu nici będzie umieszczony podział kątowy, to przy pomocy tego prostego celownika będzie miał możliwość odczytania również kąta znosu. Będzie to miało szczególną wartość w wypadku wykonywania zdjęć kamerą nieautomatyczną, bez regulatora pokrycia.

W dziedzinie nawigacji istnieje obecnie wiele systemów kierowania samolotem za pomocą fal elektromagnetycznych. Specjalną aparaturę dla celów aerofotogrametrii reklamuje angielska firma: „The Decca Navigator Company Limited“ (London S. W. 9).

Metody te miałyby olbrzymie znaczenie, gdyby przy ich pomocy można było wykonywać loty istotnie z dużą precyzją, tj. w granicach kilku metrów. Dałoby to bowiem duże uproszczenia i ułatwienia podczas opracowywania zdjęć. Na razie jednak wydaje się, że koszt takiej aparatury i związanej z jej użyciem obsługi dodatkowej podniósłby koszty zdjęć niewspółmiernie do osiągniętych przez to korzyści.

Nie bez znaczenia na tok dalszego opracowania i dokładność planów sporządzonych metodą aerofotogrametryczną jest jakość wykonanych zdjęć z punktu widzenia fotograficznego. Należy tu zwracać szczególną uwagę na 3 rzeczy:

1. jakość podkładu dla emulsji światłoczułej,
2. „ emulsji i
3. sposób fotochemicznej obróbki negatywów.

Emulsja fotograficzna jest nakładana, jak wiemy, na płyty szklane lub taśmę filmową. Rozwiązaniem idealnym jest stosowanie płyt lustrza-

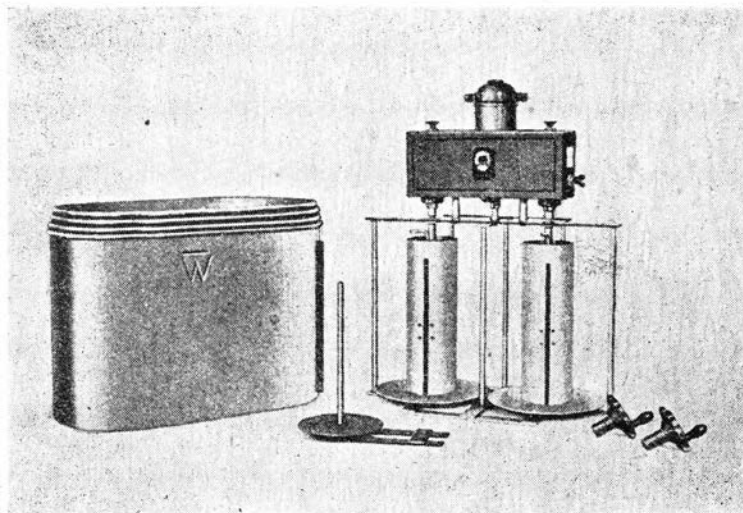
nych, gdyż wtedy powierzchnia negatywu jest idealną płaszczyzną. Ze względu na wagę i koszty płyty takie są używane jedynie w wyjątkowych wypadkach. Przy wykonywaniu zdjęć dla celów przetwarzania, ponieważ metoda ta i z innych nie uniknionych przyczyn nie pozwala na osiągnięcie bardzo dużej dokładności, stosuje się w praktyce podkład filmowy. Film jednak posiada nieprzyjemną dla fotogrametrii własność, mianowicie zmienia swoje wymiary w czasie kąpieli fotograficznych, suszenia, a nawet już w stanie suchym, w zależności od temperatury, wilgotności i wieku. Jeżeli zniekształcenia te są równomierne we wszystkich kierunkach, zjawisko to nie jest groźne bo wywołane tym zmiany obrazu są takie, jakie byśmy otrzymali przy zmianie ogniskowej obiektywu. Niestety, zwykle gatunki filmu deformują się w sposób zupełnie nieregularny, toteż przy wyborze materiału światłoczułego do zdjęć fotogrametrycznych należy zwracać uwagę na charakter deformacji podkładu filmowego.

Składnikiem emulsji, która podlega przemianom pod wpływem światła, jest bromek srebra, znajdujący się w emulsji w postaci ziarnistej. Im większa jest wielkość ziarenek, tym większa jest jednocześnie nieostrość otrzymanego drogą fotograficzną obrazu. O wielkości ziarenek można łatwo się przekonać oglądając negatyw pod mikroskopem o odpowiednio silnym powiększeniu. Ponieważ grubość ziarna rośnie z czułością emulsji, a przy zdjęciach lotniczych czułość musi być wysoka, kwestia ziarnistości emulsji jest tu bardzo istotna.

Mówiąc o emulsji należy wspomnieć również o jej czułości na kolory. Ponieważ na powierzchni terenu przeważają barwy zielone i żółte, do wykonywania zdjęć lotniczych używa się emulsyj ortochromatycznych i panchromatycznych. Z uwagi zaś na częste zamglenia, jakie występują w atmosferze nawet w dni bezchmurne (mgła przestrzenna), stosuje się filtry żółte — dla emulsji ortochromatycznej i pomarańczowe — dla panchromatycznej.

Na jakość negatywów wpływa również i sposób obróbki fotochemicznej. Aby uzyskać możliwie najlepsze rezultaty powinno się z każdej rolki filmu robić najpierw próby wywołania. W tym celu na końcu każdej rolki filmu robi się kilka zdjęć poza programem, aby można je było zużyć na próby. Wywoływanie negatywów powinno być bardzo staranne i do tych czynności należy dobierać personel dobrze wyszkolony w tej dziedzinie. Stosuje się tzw. wywoływanie przewlekłe, tj. wywoływanie w stosunkowo słabym roztworze wywoływacza, co wpływa na lepszą wyrazistość zdjęć nawet w częściach zacienionych terenu. Po zakończeniu kąpieli fotograficznych i należytych wypłukaniu taśmy filmowe suszy się, przy czym powinno się baczyć, aby suszenie to nie odbywało się zbyt raptownie i nierównomiernie, bo wtedy mogą nastąpić silniejsze deformacje filmu.

Do wywoływania i suszenia filmów są używane specjalne urządzenia. Jedne są zbudowane tak, jak wywoływaczki „Correx“ do filmów mało-obrazkowych, tylko że odpowiednio dużych rozmiarów. Film nawija się na odpowiednie bębny, przewijając go taśmą Correx, która zapobiega za pomocą znajdujących się po obu brzegach i obu stronach guziczków celuloidowych przyleganiu filmu do taśmy. Mogłoby to bowiem tamować dopływ wywoływacza do emulsji. Tak nawinięty film zanurza się na odpowiedni, przedtem drogą prób ustalony przeciąg czasu, kolejno w naczyniach z wywoływaczem, wodą, utrwalczem, a następnie, po starannym wypłukaniu, nie przewijając, suszy na specjalnej suszarce elektrycznej.



Rys. 37

Podobnie jest zbudowana aparatura francuska firmy: „Groupement d'Industriels de la photographie aérienne“, Paris, z tą różnicą, że zamiast celuloidowych taśm Correx, bębny do nawijania filmu posiadają po brzegach ślimakowe wgłębienia, w które wprowadza się film przeznaczony do wywoływania. Inaczej również jest zbudowana suszarka elektryczna, ale zasada pozostaje w obu wypadkach ta sama.

Obie te aparaty w praktyce wykazały sporo niedogodności i nie gwarantowały dobrej obróbki fotograficznej negatywów. Poza tym wymagały przygotowywania dużej ilości roztworów, co było i kosztowne i niewygodne. Jeszcze przed ostatnią wojną światową zaczęto stosować automatyczne wywołaczki, bardzo niewielkich rozmiarów, w których film stale jest przewijany przy pomocy motorka elektrycznego. Na rys. 37 jest przedstawiona tego rodzaju aparatura Zeissa, typ EGC II. Film w ten sposób wywołany, utrwalony i wypłukany nawija się następnie emulsją

na zewnątrz na bębny w kształcie walców o średnicy ok. 1,5 m i długości 1,6 do 3 m, dość luźno, aby przy wysychaniu film miał możliwość równomiernego kurczenia się. Tak nawinięty film pozostawia się aż do wyschnięcia w pomieszczeniu starannie oczyszczonym z kurzu.

Dla scharakteryzowania trudności prac dotyczących wywoływania filmów trzeba zaznaczyć, że wszystkie te czynności, z wyjątkiem ostatecznego płukania i suszenia muszą być wykonywane prawie w zupełnej ciemności, gdyż emulsja panchromatyczna jest naczulona na promienie czerwone. Jedynie w pewnych tylko momentach pracujący korzystają ze światła silnie przyćmionego specjalnym filtrem ciemnozielonym.

Zdjęcia lotnicze mogą być wykonywane jedynie w dni bezchmurne, gdyż ze względu na stosunkowo dużą wysokość, z jakiej się je wykonuje, chmury przesłaniałyby teren. Nawet przy pogodzie tzw. słonecznej, kiedy zachmurzenie jest bardzo niewielkie, drobne chmury kłębiaste napływające nad fotografowany teren powodują luki w zdjęciach przez jego zasłonięcie, bądź też nieczytelność zdjęć przez zacienienie fotografowanego terenu.

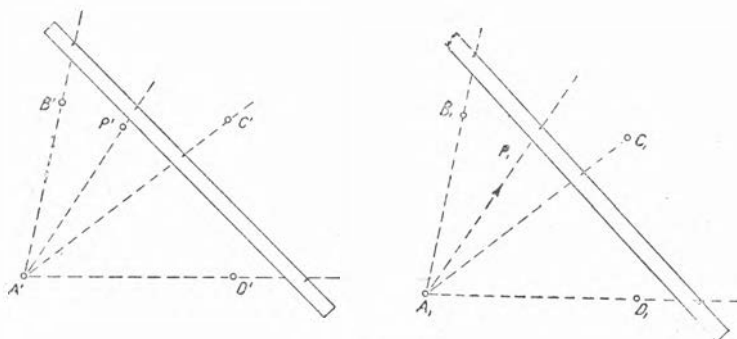
Z tych względów, zwłaszcza w naszych warunkach, ilość dni, nadających się do wykonywania zdjęć lotniczych w ciągu roku, jest bardzo niewielka, bo zaledwie około 30. Załoga samolotu foto czeka nieraz całymi tygodniami na odpowiednią pogodę, przy której można by wykonać program. Dla lepszego wykorzystania pogody robi się często zdjęcia w warunkach mniej odpowiednich, mianowicie we wczesnych godzinach rannych. Pora ta jest mniej odpowiednia ze względu na długie cienie i słabsze oświetlenie, ale za to przejrzystość atmosfery jest wtedy znacznie lepsza, co kompensuje częściowo dwie pierwsze niedogodności.

5. GRAFICZNE WYKORZYSTANIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH

Z rozważań przeprowadzonych w rozdziale 1 i przytoczonych tam twierdzeń wynika, że jeżeli odwzorowany na zdjęciu teren może być uważany za płaski, to zdjęcie jako perspektywiczne odwzorowanie terenu może być zawsze przetworzone na plan ze względu na istniejącą między nimi odpowiedniość kolineacyjną. Potrzebna do tego jest tylko znajomość pewnych elementów zasadniczych, wspólnych dla obu figur, względnie elementów orientacji zdjęcia. W tym rozdziale rozpatrzmy tylko pierwszy przypadek.

Przyjmijmy najpierw, że znane jest położenie na planie czterech punktów: A_1 , B_1 , C_1 i D_1 , których rzuty środkowe A' , B' , C' i D' zostały starannie i niedwuznacznie na zdjęciu zidentyfikowane. Jeżeli jeden z tych punktów, np. A_1 na planie i A' na zdjęciu połączymy odpowiednio z trzema pozostałymi (patrz rys 38), to otrzymamy dwa pęki rzutowe.

W celu przeniesienia na plan położenia jakiegoś punktu, którego rzut środkowy na zdjęciu znajduje się w punkcie P' , uzupełniamy pęk o wierzchołku w A' promieniem $A'P'$. W celu wyznaczenia położenia tego promienia na planie zaznaczamy na pasku papieru przecięcia poszczególnych



Rys. 38

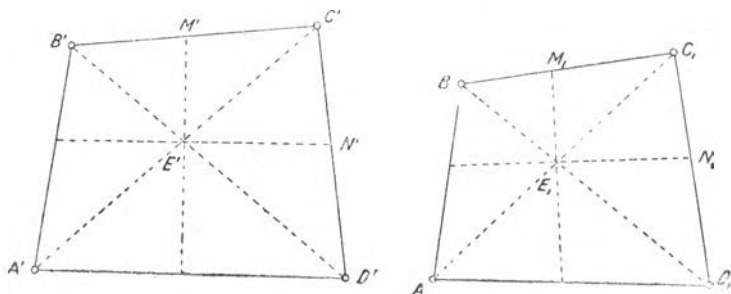
nych promieni pęku na zdjęciu, a następnie pasek ten nakładamy na wykreślony na planie pęk promieni tak, aby zaznaczone na nim punkty przecięcia padły na promienie odpowiednie, łącząc następnie z punktem A_1 zaznaczone na pasku przecięcie promienia punktu nowowyznaczonego otrzymamy na planie położenie promienia A_1P_1 . Jeżeli wykonamy następnie taką samą manipulację, przyjmując za wierzchołki pęków np. punkty C' i C_1 , otrzymamy na planie położenie promienia C_1P_1 , który w przecięciu z poprzednio wykreślonym promieniem A_1P_1 wyznaczy nam na planie położenie szukanego punktu P_1 . Uzasadnieniem tej konstrukcji jest przytoczone w rozdziale 1 twierdzenie III.

Sposób wyżej opisany, aczkolwiek teoretycznie zupełnie poprawny, jest dosyć żmudny, wskutek czego nie znalazł on praktycznego zastosowania, chyba w wypadkach potrzeby naniesienia na plan nielicznych punktów. W praktyce stosuje się raczej sposoby polegające na wykreśleniu w oparciu o cztery pary punktów odpowiednich dostatecznie zagęszczonej siatki tak, aby poszczególne linie i szczegóły sytuacyjne można było z dostateczną dokładnością przenosić na oko ze zdjęcia na plan.

Siatkę taką można zbudować np. w sposób następujący:

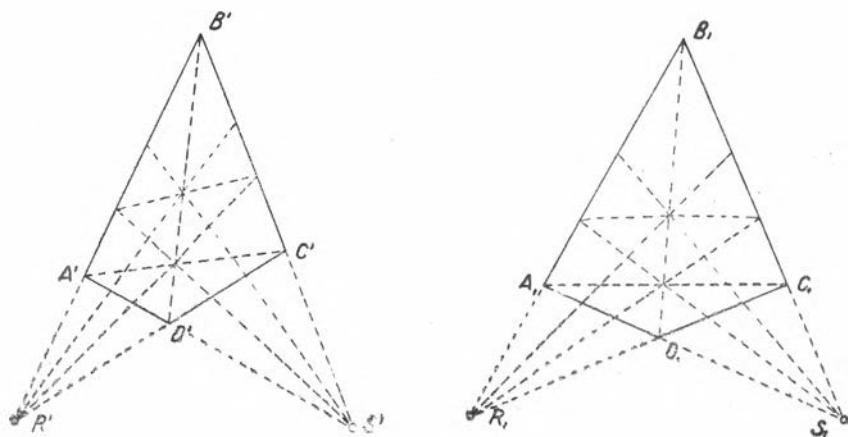
Na zdjęciu i planie wykreślamy czworoboki $A'B'C'D'$ i $A_1B_1C_1D_1$. Prowadząc przekątne znajdujemy odpowiednio punkty E' i E_1 . Na zdjęciu obieramy następnie na dwu bokach przyległych, mniej więcej po środku, punkty M' i N' , których odpowiedniki na planie: M_1 i N_1 wyznaczamy poprzednio opisanym sposobem. Dalej, operując już tylko przekątnymi, możemy zagęścić dowolnie siatkę czworoboków tak, jak to pokazane na rys. 39.

Można również wykonać potrzebne zagęszczenie bez stosowania konstrukcji z paskiem papieru w sposób przedstawiony na rys. 40. Po wykreśleniu czworoboków wyznaczamy punkty przecięcia się boków prze-



Rys. 39

ciwległych: R', S' i R_1, S_1 , a następnie punkty E' i E_1 na przecięciu się przekątnych czworoboków. Prowadząc z punktu R i S promienie przez punkt E otrzymujemy na bokach czworoboków na zdjęciu i na planie



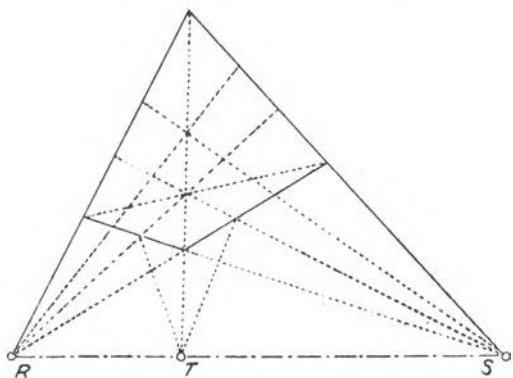
Rys. 40

po dwa nowe punkty odpowiednie. Łącząc nowo otrzymane punkty liniami prostymi, w przecięciu z przekątnymi otrzymujemy dalsze, przez które znowu prowadzimy promienie z punktów R i S itd.

Do zagęszczenia siatki można dojść stosując nieco odmienną metodę, pokazaną na rys. 41. Tak jak i w przypadku poprzednim wyznaczamy punkty R i S oraz wykreślamy przekątne. Prowadząc prostą przez punkty R i S oraz przedłużając jedną z przekątnych otrzymujemy w przecięciu z tą prostą punkt T , który wykorzystujemy zależnie od potrzeby na równi z punktami R i S . W ten sposób dochodzimy do podzielenia

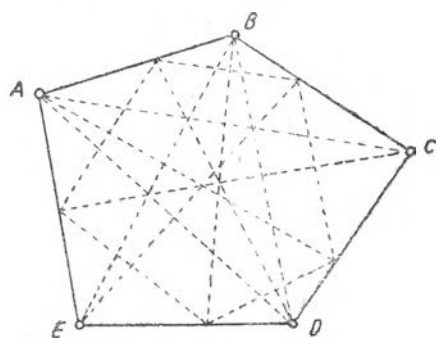
czworoboku $ABCD$ na zdjęciu i na planie na figury perspektywicznie sobie podporządkowane, co daje duże ułatwienie przy dalszej pracy.

Inny sposób polega na uzupełnieniu czwórki punktów daną piątą parą, np. w sposób opisany na początku niniejszego rozdziału, dzięki czemu otrzymuje się na zdjęciu i planie dwa odpowiadające sobie pięcioboki: $A'B'C'D'E'$ i $A_1B_1C_1D_1E_1$. Wykreślając wszystkie przekątne otrzymujemy dalsze pięć par punktów (rys. 42), które następnie łączymy z wierzchołkami pięcioboku i wyznaczamy w przecięciach z już istniejącymi prostymi coraz to nowe grupy. Czynności te powtarzamy dopóty, dopóki zagęszczenie nie będzie wystarczające. Dla uzyskania większej przejrzystości można zaniechać wykreślania niektórych prostych ograniczając się jedynie do zaznaczenia punktów przecięcia, skutkiem czego siatka może mieć postać taką jak na rys. 43, tj. składającą się z samych trójkątów.

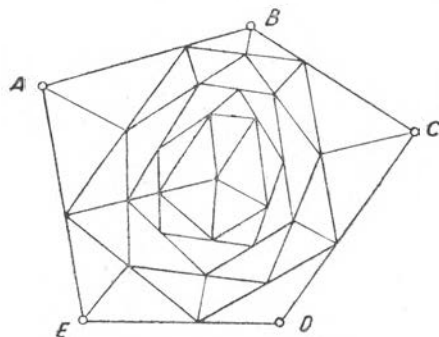


Rys. 41

W sposób przedstawiony na rys. 41 można wyznaczyć na zdjęciu siatkę, zwaną siatką Möbiusa, której na planie (wzgl. mapie) odpowiada



Rys. 42

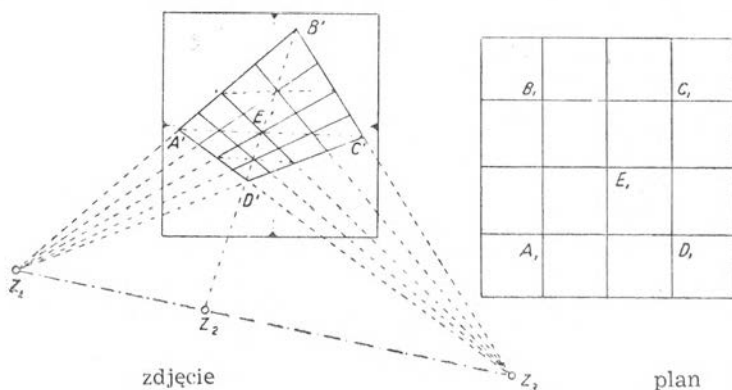


Rys. 43

siatka kwadratów o danych bokach. W tym celu rzuty czterech punktów A, B, C, D , siatki kwadratów należy zidentyfikować na zdjęciu względnie wyznaczyć je jednym z opisanych sposobów, a następnie czworobok $A'B'C'D'$ zagęścić tak, jak to pokazane na rys. 44.

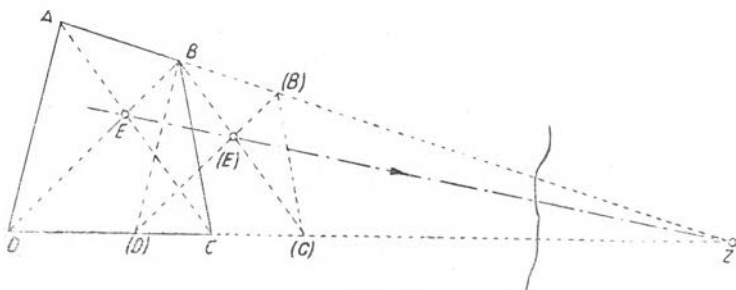
Jeżeli zdjęcie jest niewiele nachylone, to przecięcia rzutów środkowych prostych równoległych (punkty zbiegu) wypadną bardzo daleko,

już poza arkuszem papieru i wtedy budowa siatki znacznie się komplikuje. W takich przypadkach trzeba stosować konstrukcję pomocniczą, polegającą na kreśleniu figur podobnych (patrz rys. 45). Przez punkt B



Rys. 44

prowadzimy prostą równoległą do AD , która w przecięciu z bokiem DC daje punkt (D) . Następnie prowadzimy przez punkty B i (D) proste równoległe do AC i DB otrzymując punkty (B) , (C) i (E) . Kontrolą do-



Rys. 45

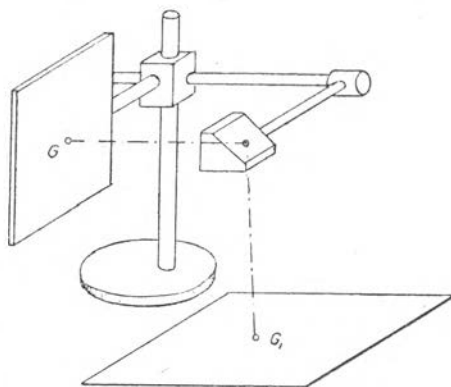
kładności będzie równoległość boków $(B)(C)$ i BC . Łącznica punktów E i (E) będzie szukaną prostą, łączącą punkt E z punktem zbiegu.

Mając już dostatecznie zagęszczoną siatkę przenosimy poszczególne szczegóły sytuacyjne ze zdjęcia na plan, na oko, starając się o zachowanie proporcji w usytuowaniu przenoszonych szczegółów wewnątrz odpowiednich oczek.

Metoda ta jest najstarsza z metod wykorzystania zdjęć lotniczych do opracowania map i planów sytuacyjnych, ale mało dokładna, dość żmudna i pozwala jedynie na opracowanie „punktowe”. Z tego względu stosowana jest jeszcze jedynie do przenoszenia pewnych punktów z planu na zdjęcie lub odwrotnie, względnie do wyznaczenia na zdjęciu jakiegoś punktu ze zdjęcia sąsiedniego w przypadku, jeżeli punkt ten (ważny

z jakichś względów) wypadł już poza krawędź zdjęcia lub nie został na zdjęciu odwzorowany z jakiegoś powodu (zasłonięcie chmurą, znacznym tłumym, obrazem libeli itp.).

W praktyce stosuje się obecnie metody pozwalające na opracowywanie planów w sposób „ciągły”. Pomysły instrumentów służących do tego celu są bardzo stare. Jeden z pierwszych został zbudowany przez Laussedat, który wykorzystał do tego celu wynalazek Wollastona z r.1804 znany pod nazwą camera clara. Później, już w roku 1915 we Francji skonstruował podobny przyrząd Vavon. U nas przed ostatnią wojną były używane w Wojskowym Instytucie Geograficznym instrumenty krajowej produkcji, zwane fotoreambulatorami. Najbardziej rozpowszechniony jest przyrząd tego rodzaju, fabrykacji Zeissa, znany pod nazwą LUZ (Luftbildumzeichner), schematycznie przedstawiony na rys. 46.

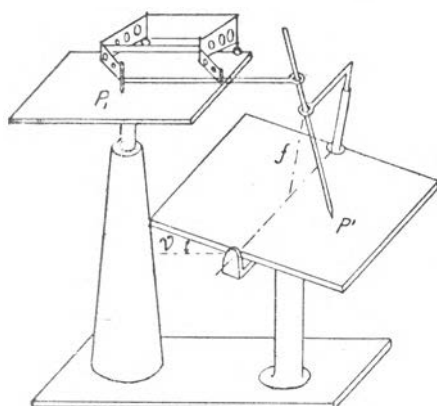


Rys. 46

Przyrząd ten składa się z podstawy, na której jest osadzona ruchomo na ramieniu tarcza przytrzymująca zdjęcie oraz na drugim ramieniu pryzmat o powierzchni na wpół srebrzonej, dzięki czemu można przy jego pomocy obserwować jednocześnie leżący na stole plan względnie mapę oraz umieszczone przed pryzmatem zdjęcie lotnicze. Ponieważ cały przyrząd można bez trudności przesuwać po stole, a zdjęcie na tarczy, dzięki zastosowaniu łożyska kulistego, można nachylać dokoła osi poziomej i pionowej oraz skręcać w jego własnej płaszczyźnie, można zatem doprowadzić drogą kolejnych przybliżeń, do takiego położenia, że, patrząc przez pryzmat, będzie się widziało odpowiednie punkty obrazu, pokrywające się z ich odwzorowaniami na planie. Po takim zestrojeniu wystarczy ołówkiem oprowadzić na planie linie sytuacyjne, widziane przez pryzmat na zdjęciu.

Na innej zupełnie zasadzie jest zbudowany perspektograf N. M. Aleksapolskiego (ZSRR), pokazany na rys. 47. Na stoliku umieszcza się zdjęcie lotnicze, które można nachylać i skręcać w jego własnej płaszczyźnie. Na oddzielnej kolumnie jest umieszczony drugi stolik, na którym wykreśla się plan. Nad tymi stolikami znajduje się urządzenie panfografowe, z którego jednym ramieniem sprężnięta jest igła nastawiana na punkty obrazu, a z drugim — ołówek wyznaczający położenia tych punktów na planie. Jeżeli są znane elementy orientacji zewnętrznej zdjęcia: nachylenie i skręcenie, to można od razu je nast-

wić. W celu dostosowania skali stolik, na którym ma być kreślony plan, przesuwa się w kierunku pionowym za pomocą odpowiedniego napędu śrubowego. Aby przesunięcia te można było wykonywać lekko i dokładnie, umieszczona została na kolumnie podstawy przeciwwaga. Odległość



Rys. 47

kardanoskiego zaczepienia wodziła, nastawianego na punktu obrazu, od płaszczyzny obrazu powinna być równa ogniskowej obiektywu kamery, użytej do wykonania zdjęcia lotniczego. Środek kardanoskiego zaczepienia odpowiada zatem położeniu środka rzutów, drążek z igłą jest niejako zmaterializowanym promieniem, odpowiadającym obserwowanemu w danym momencie punktowi obrazu. Ponieważ przegub kardanoski porusza się w płaszczyźnie poziomej, przeto punkt jego połączenia

ślizgowego z wodziłem porusza się już jakby po obrysach przetworzonych. Ponieważ elementy orientacji zewnętrznej zdjęcia są na ogół nieznanne, zestrojenie musi być wykonane drogą kolejnych prób, na podstawie czterech par punktów odpowiednich, jak i w przypadku poprzednim.

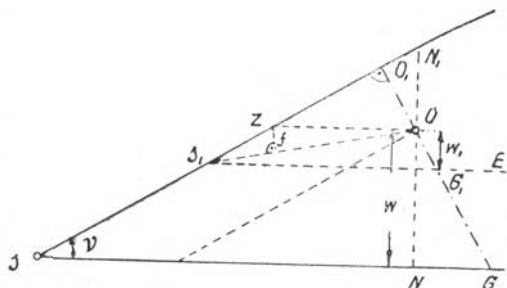
Przyrządy tego typu są dość wygodne w użyciu i pozwalają na szybkie przenoszenie szczegółów sytuacyjnych na plany i mapy, ale nie dają dużej dokładności, co wynika z ich budowy i sposobu użycia. Nadają się one do unaczęśniania (reambulacji) map, tj. do wkreślania w już istniejące, stare mapy zmian, jakie zaszły w sytuacji (nowe drogi, osiedla itp.) i wyłącznie do tego rodzaju prac są używane.

6. PRZETWORNIKI

Do opracowywania dokładnych planów sytuacyjnych na podstawie pojedynczych zdjęć lotniczych stosuje się obecnie, niemal wyłącznie, metodę fotomechaniczną. Metoda ta polega na przefotografowaniu zdjęć lotniczych o przypadkowej orientacji zewnętrznej na plany w określonej skali. Wykonuje się to na aparatach zwanych przetwornikami.

Przyjmijmy, że zdjęcie lotnicze zostało wykonane kamerą pomiarową z wysokości w przy nachyleniu płaszczyzny kliszy o kąt v , oraz że teren fotografowany był płaski i poziomy. Płaszczyzna pionowa przeprowa-

dzona przez oś obiektywu będzie prostopadła zarówno do płaszczyzny terenu jak i do płaszczyzny kliszy, którą przetnie wzdłuż prostej największego spadku. Jeżeli wiązkę promieni rzucających przetniemy płaszczyzną poziomą E , poprowadzoną w odległości w_1 od środka rzutów (rys. 48), to otrzymane w ten sposób przecięcie będzie figurą podobną do terenu, a więc planem w skali $w_1 : w$. Jeżeli zatem w jakiś sposób doprowadzilibyśmy kliszę do położenia takiego, jakie zajmowała ona w momencie fotografowania, i oświetlili ją z góry, to obraz przerzutowany na płaszczyznę E byłby szukany planem.



Rys. 48

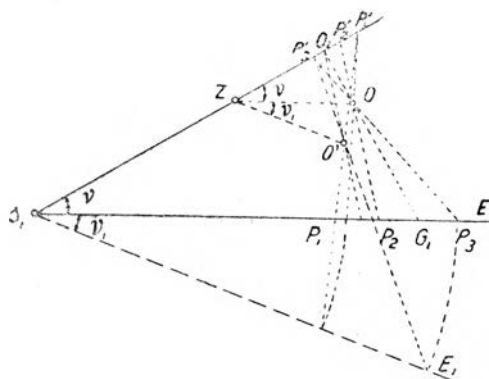
Zagadnienie to jednak nie przedstawia się tak prosto, ponieważ w chwili wykonywania zdjęcia lotniczego teren znajdował się w bardzo dużej odległości od kamery, zatem odległość OO_1 była równa ogniskowej f obiektywu kamery. Obecnie przy przerzutowywaniu na płaszczyznę E , leżącą w niewielkiej odległości w_1 od środka rzutów (obiektywu), dla uzyskania ostrości musi być spełniony warunek soczewek:

$$\frac{1}{O_1O} + \frac{1}{OG_1} = \frac{1}{f},$$

co wymaga użycia obiektywu o innej ogniskowej i zmiany położenia środka rzutów. Ponadto, ze względu na wzajemne nachylenie obu płaszczyzn: zdjęcia i planu (ekranu), dla uzyskania ostrości na powierzchni całego przerzutowywanego obrazu obiektyw powinien zajmować takie położenie, aby jego płaszczyzna główna przechodziła przez krawędź przecięcia obu płaszczyzn s_1 . Jest to tzw. warunek Scheimpfluga. Ponieważ prosta z , utworzona przez przecięcie się płaszczyzny kliszy z płaszczyzną poziomą, przesuniętą przez środek rzutów, jest prostą zbiegu płaszczyzny ekranu (czyli rzutem środkowym prostej nieskończenie dalekiej płaszczyzny ekranu), przeto musi leżeć w płaszczyźnie ogniskowej obiektywu. Wobec tego ogniskowa obiektywu użytego do tego przetwarzania powinna być równa f_1 , tj. odległości prostej z od płaszczyzny głównej obiektywu: s_1O .

Ponieważ jednak zdjęcie i plan znajdują się w kolineacji i posiadają wspólne punkty na prostej s_1 , przeto przy obrocie ekranu dookoła prostej s_1 o kąt ν_1 punkty P_1, P_2, G_1, P_3 pozostają nadal w położeniu perspektywicznym w stosunku do swoich rzutów środkowych: P'_1, P'_2, O_1, P'_3 jak na rys. 49. Zgodnie zaś z przytoczonym w rozdziale 1 twierdzeniem

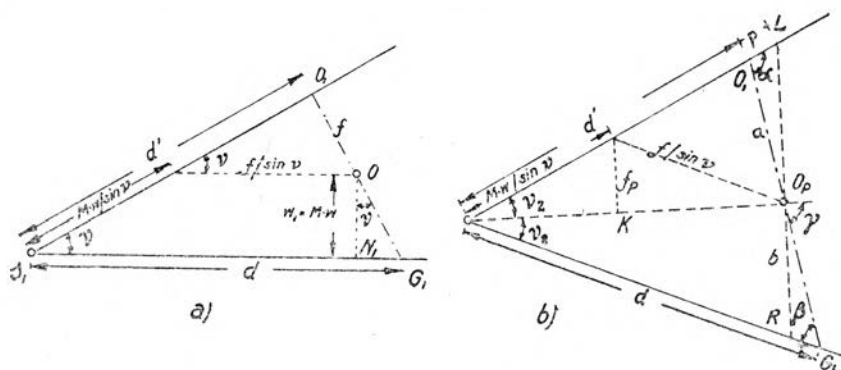
V, środek kolineacji O określi okrąg dokoła punktu leżącego na prostej zbiegu z i przesunie się do położenia O' . Prosta z będzie nadal prostą zbiegu płaszczyzny E , czyli zO' będzie równoległa do E_1 . Widzimy więc, że istnieje nieskończenie wiele perspektywicznych położów kliszy i planu.



Rys. 49

Można więc zawsze znaleźć takie położenie, w którym zostanie zachowana ostrość, niezależnie od ogniskowej obiektywu użytego do przetwarzania. W położeniu tym kąt nachylenia płaszczyzny kliszy do okranu nie będzie już równy kątowi nachylenia zdjęcia ν , ale przyjmie wartość $\nu + \nu_1$. Odpowiednie zależności geometryczne zdjęcia i jego przetworzenia przedstawiają rysunki 50a i b.

W momencie wykonywania zdjęcia płaszczyzna kliszy tworzyła z płaszczyzną terenu, a tym samym i z równoległą do niej płaszczyzną planu kąt ν . Środek rzutów znajdował się w odległości f od płaszczyzny obrazu, w odległości



Rys. 50

$w_1 = M \cdot w$ (w — wysokość lotu, M — skala) od płaszczyzny planu oraz w odległości $f/\sin \nu$ od prostej zbiegu.

Przy przetwarzaniu pozostają niezmienione odległości: G_1 , O_1 i z od osi kolineacji s_1 , oraz odległość środka rzutów O od prostej z . Kąt skreślenia kliszy α (nie występujący na rysunku) przy obrocie dokoła s_1 nie ulega również zmianie. Oś obiektywu nie będzie już prostopadła do płaszczyzny kliszy i przebiega ją w punkcie oddalonym od O_1 o wielkość

p. Ogniskowa obiektywu f_p różna jest na ogół od ogniskowej kamery f . Prosta, łącząca środek rzutów z punktem głównym $O_1O_pG_1$, tworzy kąty: α — z płaszczyzną obrazu, γ — z płaszczyzną główną obiektywu i β — z płaszczyzną ekranu. Nowymi elementami przetwarzania są: $\nu_z, \nu_e, \alpha, \beta, \gamma, a, b$ i p .

Z trójkątów prostokątnych s_1zK i KzO_p :

$$\sin \nu_z = \frac{f_p \cdot \sin \nu}{M \cdot w}, \quad \text{oraz} \quad \sin \nu_e = \frac{f_p \cdot \sin \nu}{f}. \quad (1)$$

Z rys. 50 b mamy: $d' : d = \sin \beta : \sin \alpha$.

Z rys. 50 a: $d' : d = \cos \nu$,

zatem:

$$\frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = \cos \nu, \quad \text{albo} \quad \frac{\sin \beta + \sin \alpha}{\sin \beta - \sin \alpha} = \frac{\cos \nu + 1}{\cos \nu - 1},$$

skąd po przekształceniu:

$$\operatorname{tg} \frac{\beta + \alpha}{2} = \operatorname{tg} \frac{\beta - \alpha}{2} \cdot \operatorname{ctg}^2 \frac{\nu}{2}. \quad (2)$$

Ponieważ z trójkąta $s_1O_1G_1$:

$$\nu_z + \nu_e = 180^\circ - (180^\circ - \alpha) - \beta = \alpha - \beta \quad (3)$$

zatem wzór (2) pozwala na wyznaczenie kątów α i β .

Kąt γ można obliczyć z trójkątów $s_1O_pG_1$ i $s_1O_1O_p$:

$$\gamma = \beta + \nu_e = \alpha - \nu_z. \quad (4)$$

Pozostają do wyznaczenia wielkości a, b i p . Z rys. 50 a można napisać:

$$\frac{O_1O}{OG_1} = \frac{O_1z}{zs_1} = \frac{f \cdot \operatorname{ctg} \nu}{M \cdot w / \sin \nu} = \frac{f \cdot \cos \nu}{M \cdot w}.$$

Z rys. 50 b natomiast:

$$\frac{O_1z}{zs_1} = \frac{O_1O_p}{O_pG_1} = \frac{a}{b},$$

skąd:

$$\frac{b}{a} = \frac{M \cdot w}{f \cdot \cos \nu} = \operatorname{tg}^2 \lambda, \quad (5)$$

gdzie λ jest kątem pomocniczym, który łatwo da się obliczyć na podstawie znanych wielkości: M, w, f i ν .

Ponieważ prosta O_1G_1 tworzy z osią obiektywu kąt $90^\circ - \gamma$, przeto z równania soczewek wynika:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{\sin \gamma}{f_p}.$$

Podstawiając następnie b , obliczone z wzoru (5), otrzymamy.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma} = \frac{\sin \gamma}{f_p},$$

a następnie:

$$\frac{1}{a \sin^2 \lambda} = \frac{\sin \gamma}{f_p}, \quad \text{skąd } a = \frac{f_p}{\sin \gamma \cdot \sin^2 \lambda} \quad (6)$$

i analogicznie:

$$b = \frac{f_p}{\sin \gamma \cdot \cos^2 \lambda}. \quad (7)$$

Wreszcie:

$$p = Lz - O_1 z.$$

Z podobieństwa trójkątów LzO_p i Os_1R .

$$\frac{Lz}{zs_1} = \frac{LO_p}{O_p R} = \frac{a}{b}, \quad \text{skąd } Lz = zs_1 \cdot \frac{a}{b} = \frac{M \cdot w}{\sin \gamma} \cdot \frac{a}{b},$$

wobec czego:

$$p = \frac{M \cdot w}{\sin \gamma} \cdot \frac{a}{b} = f \cdot \operatorname{ctg} \gamma.$$

Jeżeli zdjęcia są prawie ściśle pionowe, to $a : b = f : M \cdot w$, skąd:

$$p = f \left(\frac{1}{\sin \gamma} - \operatorname{ctg} \gamma \right) = \frac{2 \sin^2 \frac{\gamma}{2}}{2 \sin \frac{\gamma}{2} \cdot \cos \frac{\gamma}{2}},$$

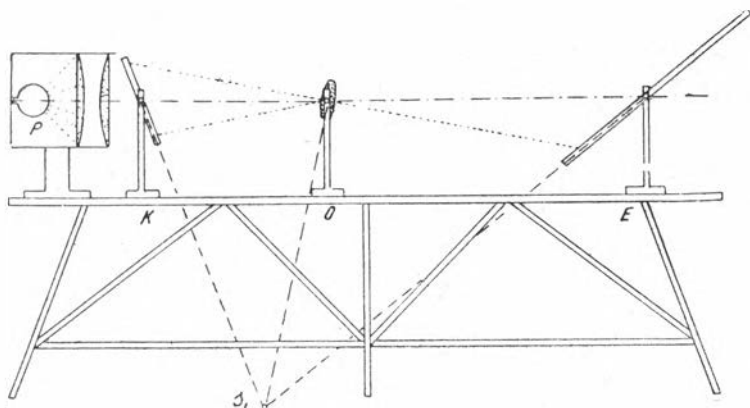
czyli ostatecznie:

$$p = f \cdot \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}. \quad (8)$$

Znając elementy orientacji zewnętrznej zdjęć można by przy pomocy tych wzorów obliczyć wszystkie elementy potrzebne do przetworzenia. Ponieważ na ogół w praktyce elementy orientacji zewnętrznej są nieznane, przetwarzanie wykonuje się na podstawie punktów o znanych współrzędnych geodezyjnych, przez zestrzajanie zdjęć na przetworniku, drogą kolejnych przybliżeń.

Pierwsze przetworniki przypominają swoją budową używane w fotografii aparaty do powiększeń. Typowym przykładem tego typu jest dotąd jeszcze używany we Francji przetwornik Roussilhe'a (rys. 51). Składa się on z podstawy, na której umieszczone są poziomo dwie szyny równoległe, po których można przesuwąć: aparat projekcyjny P , tarczę na negatyw K , obiektyw O i ekran E . Przez wzajemne przesuwanie negatywu, obiektywu i ekranu można doprowadzić do uzyskania potrzebnej skali przetworzenia przy zachowaniu równania soczewek.

Dla umożliwienia doprowadzenia negatywu i ekranu do potrzebnego położenia perspektywicznego, negatyw, obiektyw i ekran mogą być niezależnie nachylane dookoła równoległych do siebie osi poziomych. Kąty nachylenia można odczytać na kołach podziałowych; również moż-

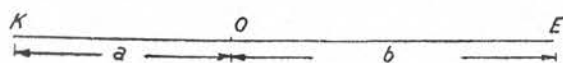


Rys. 51

na odczytywać na odpowiednich podziałkach, umieszczonych poziomo wzdłuż szyn, odległości osi nachylenia kliszy i ekranu od obiektywu. W celu umożliwienia uwzględnienia kąta skręcenia tarcza na negatyw jest tak skonstruowana, że daje możliwość obracania kliszy w jej płaszczyźnie, a odpowiednie koło podziałowe pozwala na odczytanie kąta skręcenia. Takie rozwiązanie umożliwia doprowadzenie płaszczyzny kliszy i ekranu do takiego położenia, aby pewne wybrane punkty kliszy, przerzutowane na ekran, pokryły się z ich odpowiednikami, naniesionymi w skali, w jakiej ma być sporządzony plan, oraz żeby to przerzutowanie było ostre na całej powierzchni. Gdyby przetwarzanie było wykonywane w ten sposób, że najpierw, przy pomocy wyprowadzonych wzorów zostałyby obliczone elementy nastawienia, a więc kąty: α , β , γ , odległości a i b oraz skręcenie τ , to praca tym instrumentem byłaby stosunkowo prosta i nieuciążliwa. Na ogół jednak przetworzenie wykonuje się drogą zestrzajania punktów przerzutowych z kliszy z ich odpowiednikami, naniesionymi w skali i umieszczonymi na ekranie. Z tego względu praca na tym instrumencie jest dosyć żmudna, gdyż każde przesunięcie ekranu i jego nachylenie pociąga za sobą potrzebę zmienienia również położenia kliszy i obiektywu, dla spełnienia warunku soczewek i Scheimpfluga. Ponieważ związki te są dosyć proste, można posilkować się przy pracy różnymi tablicami i wykresami, niemniej jednak zabiera to sporo czasu i zaciemnia przebieg procesu zestrzajania, który powinien być szeregiem przybliżeń, zbliżających nas do nastawienia właściwego.

Ponieważ warunki optyczno-perspektywiczne w przetworniku są ściśle zdefiniowane i stałe dla każdego zdjęcia, zbudowano z czasem mechanizmy spełniające je w sposób automatyczny. Są to inwersory dla zachowania warunku soczewek i stery — dla warunku Scheimpfluga.

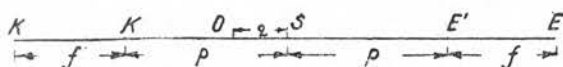
Pod mianem inwersora rozumie się taki mechanizm, którego trzy punkty w każdym dowolnym jego ustawieniu pozostają stałe na jednej prostej i dają stały iloczyn swych wzajemnych odległości. W naszym



Rys. 52.



Rys. 53.



Rys. 54.

przypadku osie obrotu: kliszy — K , obiektywu — O i ekranu — E (rys. 52) powinny spełniać równanie:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

Jeżeli od punktów K i E odłożymy odcinki równe ogniskowej obiektywu f (rys. 53), to odległości obiektywu od nowo otrzymanych punktów K' i E' wyniosą:

$$a' = a - f \quad \text{i} \quad b' = b - f.$$

Po podstawieniu tych wartości do równania soczewek otrzymamy je w postaci newtonowskiej:

$$a' \cdot b' = f^2. \quad (9)$$

Jeżeli następnie punkty K' i E' odniesiemy nie do położenia obiektywu, lecz do płaszczyzny symetrii S i odległość między tymi punktami oznaczmy przez

$$2p = a' + b'$$

(rys. 54), a odległość obiektywu od płaszczyzny S przez q , to

$$a' = p - q \quad \text{i} \quad b' = p + q,$$

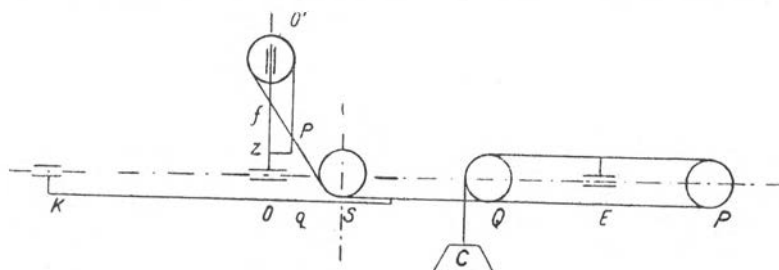
co po podstawieniu do wzoru (9) da nam:

$$f^2 = p^2 - q^2. \quad (10)$$

Jak widać zachodzi tu związek taki jak między bokami w trójkącie prostokątnym, stąd inwersor zbudowany na tej zasadzie nosi miano inwersora Pitagorasa. Pod względem mechanicznym inwersor ten został zrealizowany w sposób następujący (rys. 55):

W punktach S i O' zostały umieszczone bloczki o jednakowych promieniach. Bloczek w punkcie O' ma to na celu, aby przy przesuwaniu punktu O (obiektywu) przesuwiała się również o odpowiednią wielkość naciągnięta taśma, mianowicie o wielkość zmiany, jakiej ulegnie dłu-

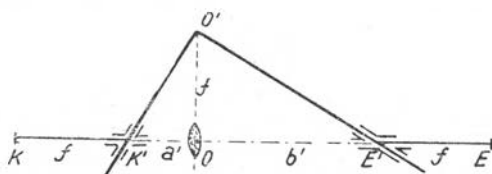
gość odcinka $O'S = p$. Spodek ramienia, na którym jest umieszczony bloczek O' , znajduje się w odległości q od punktu S , natomiast punkt O' — w odległości f od osi inwersora KE . Taśma, umocowana na stałe w punkcie Z , przewinięta jest przez bloczki P i Q (umieszczone na



Rys. 55.

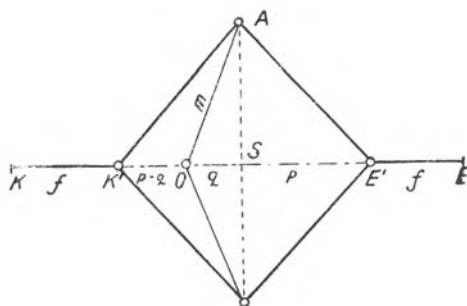
osiach stałych, podobnie jak bloczek S) i naciągnięta ciężarem C tak, że zajmuje położenie równoległe do osi inwersora. Z taśmą tą są sprzęgnięte w równych odstępach od punktu S , wynoszących $p + f$, suwaki K i E , wyznaczające położenie obrazu i przedmiotu. W ten sposób przy dowolnym przesunięciu punktu O wzdłuż osi inwersora punkty K i E zostają automatycznie ustawione w położeniu zgodnym z równaniem soczewek.

Ponieważ bloczek O' może być przesuwany wzdłuż ramienia OO' , istnieje przeto możliwość automatycznego regulowania zależnie od długości ogniskowej obiektywu, w przypadku np. wymiany obiektywu lub jeżeli zachodzi potrzeba wprowadzenia dodatkowego nachylenia osi obiektywu.



Rys. 56.

W innych modelach przetworników są stosowane tzw. inwersory prostokątne, oparte również na postaci newtonowskiej równania soczewek. Do zbudowania kąta prostego nie użyto w tym inwersorze bloczków i taśmy metalowej, lecz kąta prostego, utworzonego przez spojone z sobą dwa liniały metalowe (rys. 56). Utworzony przez te liniały kąt prosty obraca się dokoła punktu O' , znajdującego się w odległości f od środka obiektywu O . Liniały tworzące ramiona kąta ślizgają się w suwakach krzyżowych K' i E' po



Rys. 57.

osi inwersora. Z suwakami tymi są sprzęgnięte sztywne ramiona o długości f , których końce K i E wyznaczają położenie osi nachylenia kliszy i ekranu.

Z podobieństwa trójkątów prostokątnych $K'O'O$ i $O'OE'$ wynika, że:

$$a'b' = f^2,$$

czyli równanie soczewek (9).

W przetwornikach Wilda zastosowany został tzw. inwersor nożycowy (rys. 57).

Punkty K' i E' sprzęgnięte są rombem przegubowym, z którego bocznymi przegubami połączone są sztywne ramiona, złączone przegubowo w punkcie odpowiadającym położeniu środka obiektywu. Łącznica bocznych przegubów przecina oś inwersora w punkcie S , leżącym symetrycznie względem punktów K i E . Jeżeli długość ramion będzie dobrana tak, że:

$$f^2 = l^2 - m^2 \quad (11)$$

to w dowolnym położeniu nożyc, z trójkątów prostokątnych SAE' i OAS będziemy mieli:

$$SA^2 + p^2 = l^2$$

$$SA^2 + q^2 = m^2$$

skąd po odjęciu otrzymamy:

$$p^2 - q^2 = l^2 - m^2$$

a uwzględniając równanie (11)

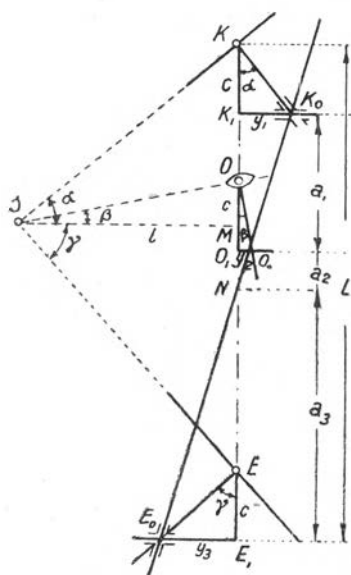
$$p^2 - q^2 = f^2,$$

tj. równanie soczewek w postaci (10).

Istnieje jeszcze wiele innych konstrukcji inwersorów [4], które jednak ze względu na duże trudności przy ich wykonaniu nie znalazły większego rozpowszechnienia.

Mechanizmy spełniające warunek Scheimpfluga są przeważnie stosowane w postaci steru Carpentiera, którego zasada jest następująca (rys. 58):

Do płaszczyzn: kliszy, głównej obiektywu i ekranu — przytwierdzone są na ich osiach obrotu prostopadłe ramiona: KK_0 , OO_0 i EE_0 , połączone jednym liniałem tak, że punkty połączenia muszą się ślizgać po trzech poziomych prowadnicach, znajdujących się w stałej odległości c od każdej osi obrotu.



Rys. 58

Z rysunku wynika, że:

$$\frac{a_3}{a_2} = \frac{y_3}{y_2} = \frac{c \cdot \lg \gamma}{c \cdot \lg \beta} = \frac{\lg \gamma}{\lg \beta}.$$

Dodając jedność po obu stronach równania, otrzymamy:

$$\frac{a_3 + a_2}{a_2} = \frac{\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \beta}. \quad (12)$$

Z drugiej strony, z trójkąta EOS:

$$\begin{aligned} a_3 + a_2 &= O_1 E_1 = OE + EE_1 - OO_1 = OE + c - c \\ &= l (\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tg} \beta). \end{aligned} \quad (13)$$

Podstawiając to do równania (12), otrzymamy:

$$\frac{l (\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tg} \beta)}{a_2} = \frac{\operatorname{tg} \gamma + \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \beta},$$

czyli:

$$a_2 = l \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (14)$$

a podstawiając to do równania (13), otrzymamy:

$$a_3 = l \cdot \operatorname{tg} \gamma. \quad (15)$$

Z rysunku mamy:

$$a_1 = L - c - a_2 - a_3 = L - c - l \cdot \operatorname{tg} \beta - l \cdot \operatorname{tg} \gamma,$$

poza tym również z rysunku:

$$L = l \cdot \operatorname{tg} \gamma + l \cdot \operatorname{tg} \alpha + c,$$

zatem:

$$a_1 = l \cdot \operatorname{tg} \alpha - l \cdot \operatorname{tg} \beta. \quad (16)$$

Na podstawie tych danych możemy obliczyć kąty ε_1 , ε_2 i ε_3 , jakie w poszczególnych miejscach tworzy prosta $E_0 K_0$ z osią instrumentu:

$$\operatorname{tg} \varepsilon_1 = \frac{y_1}{a_1 + a_2} = \frac{c \cdot \operatorname{tg} \alpha}{l \cdot \operatorname{tg} \alpha} = \frac{c}{l};$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon_2 = \frac{y_2}{a_2} = \frac{c \cdot \operatorname{tg} \beta}{l \cdot \operatorname{tg} \beta} = \frac{c}{l};$$

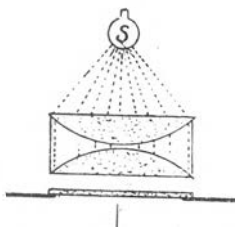
$$\operatorname{tg} \varepsilon_3 = \frac{y_3}{a_3} = \frac{c \cdot \operatorname{tg} \gamma}{l \cdot \operatorname{tg} \gamma} = \frac{c}{l}.$$

Ponieważ kąty ε_1 , ε_2 , ε_3 są sobie równe, wobec tego linia $E_0 K_0$ jest prosta, a więc ster Carpentiera spełnia warunek Scheimpfluga.

W niektórych przetwornikach, jak np. w przetworniku Aschenbrennera, punkty sprzęgnięcia liniału z ramionami poszczególnych płaszczyzn (K_0 , O_0 , E_0) ślizgają się nie po poziomych prowadnicach, ale po okręgach kół o środkach leżących na osiach obrotu poszczególnych płaszczyzn. Rozwiązanie takie, aczkolwiek pod względem geometrycznym fałszywe, zostało zastosowane ze względu na ułatwienia natury konstrukcyjnej. Przy małych kątach nachylenia: α , β i γ okręgi kół niewiele odbiegają od linii prostej, wobec czego błędy tym wywołane są praktycznie bez znaczenia.

Przetworniki posiadające oba mechanizmy spełniające zarówno równanie soczewek, jak i warunek Scheimpfluga nazywają się prze-

twornikami pełnoautomatycznymi. Pierwsze takie przetworniki były zbudowane przez firmę „Photogrammetrie“ w Monachium, konstrukcji C. Aschenbrennera i przez Zeissa w Jenie. W obu tych przetwornikach, jak również i innych dawniej budowanych w Dreźnie, Holandii, ZSRR, Francji, zastosowano kondensor do rzutowania zdjęć. Schematyczny przekrój kondensora jest pokazany na rys. 59. Tego rodzaju rozwiązanie było bardzo dobre pod względem równomierności rozłożenia światła na całe pole negatywu. Posiadało jednak i niedogodności, wydłużało bowiem bardzo konstrukcję przyrządu,

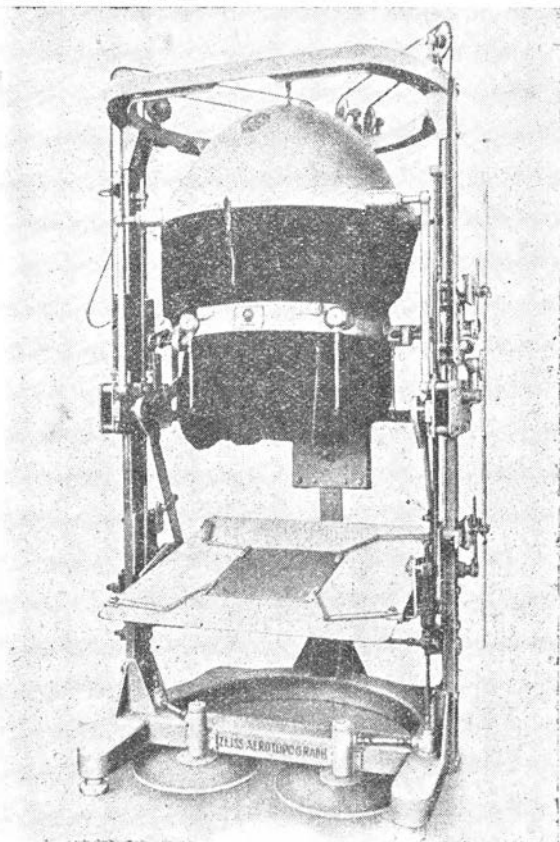


Rys. 59

wymagało użycia silnej żarówki (w przetwornikach Zeissa 1000 Watt) i podnosiło cenę instrumentu, gdyż kondensory o tak dużej średnicy są dość kosztowne. W modelach obecnie produkowanych do przerzutowywania obrazów używa się żarówek znacznie słabszych (100 Watt) i zwierciadeł wklęsłych zamiast kondensora, dzięki czemu zarówno wymiary jak i waga przetworników jest znacznie mniejsza.

Rys. 60 przedstawia nowy automatyczny przetwornik Zeissa, SEG I. Na dwu pionowych kolumnach jest osadzony ekran, dający się nachylać dokoła osi poziomej, a wyżej — mostek z osadzonym w nim obiektywem, wreszcie ramka na negatyw i źródło światła ze zwierciadłem metalowym.

Obiektyw może być przesuwany tylko w kierunku pionowym, negatyw może być nachylany dokoła osi poziomej, równoległej do osi nachylania ekranu, oraz przesuwany w kierunku pionowym i wreszcie w swojej własnej płaszczyźnie



Rys. 60

obracany i przesuwany w kierunkach prostopadłym i równoległym do osi nachylenia.

Aby zmienić skalę rzutowanego na ekran obrazu potrąca się lewą tarczę nożną, która powoduje przesuwanie w kierunku pionowym kliszy i obiektywu, z jednoczesnym zachowaniem warunku soczewek dzięki zastosowaniu inwersora prostokątnego.

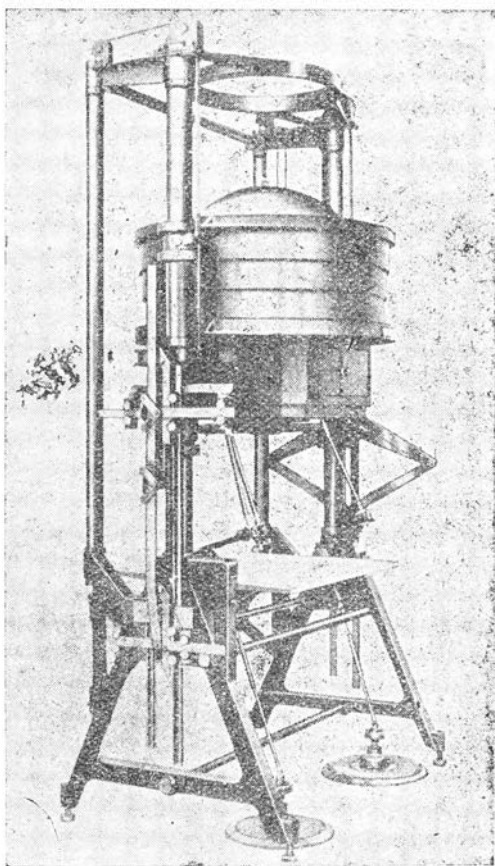
Ekran nachyla się przy pomocy prawej tarczy nożnej, a wtedy przez zastosowanie steru Carpentiera zostaje jednocześnie nachylona i klisza tak, że prosta przecięcia się płaszczyzny ekranu z płaszczyzną kliszy wypada w płaszczyźnie głównej obiektywu (zajmującej położenie poziome).

Skrećanie negatywu oraz przesuwanie go w kierunkach prostopadłym i równoległym do osi obrotu wykonuje się za pomocą ręcznych pokręteł tak umieszczonych, że operator wygodnie może je dosięgnąć ze swego miejsca. Wszystkie możliwe ruchy instrumentu można odczytać na odpowiednich podziałkach.

Przetwornik ten pozwala na opracowywanie zdjęć o wymiarach do 30×30 cm i nachyleniu do 40° . Zakres powiększenia 0,5 do $5 \times$. Obiektyw typu Dagor, 1:6,8 i ogniskowej 18 cm. Wysokość instrumentu wynosi 2,8 m, waga — 430 kg.

Podobnie jest zbudowany nowy automatyczny przetwornik Wilda E2 (rys. 61). Posiada on wszystkie te same możliwości ruchów. Warunek soczewek spełnia inwersor nożykowy, poruszany prawą tarczą nożną. Warunek Scheimpfluga (pł. główna obiektywu również pozostaje stale w położeniu poziomym) spełnia ster Carpentiera, poruszany lewą tarczą nożną.

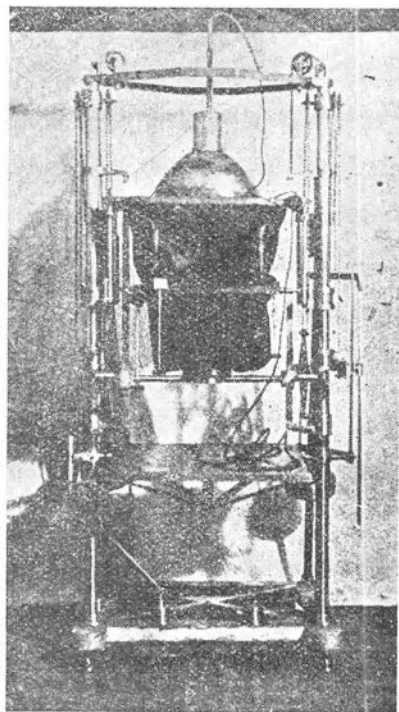
Przetwornik ten również pozwala na opracowywanie zdjęć do wymiarów 30×30 cm. Zaopatrzony on jest w obiektyw o sile światła



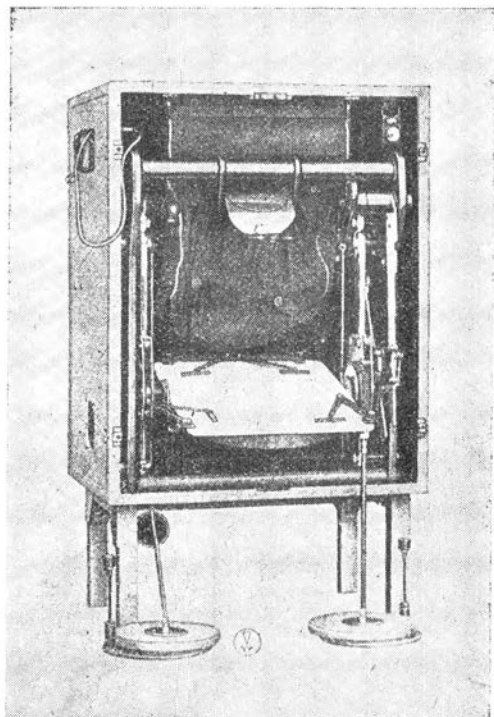
Rys. 61

1:6,2 i ogniskowej 178 mm. Zasięg powiększenia od 0,5 do 5 $\times$. Możliwość nachylania ekranu od -5 do $+40^\circ$. Możliwość przesuwania negatywu w kierunku prostopadłym do osi nachylania w granicach od -25 do $+60$ mm, a w kierunku równoległym do osi: ± 22 mm. Wysokość instrumentu — 3,04 m, waga — 700 kg.

Analogiczny przetwornik zbudował w r. 1939 prof. E. Wilczkiewicz na Politechnice Lwowskiej (rys. 62). Posiadając te same możliwości ruchów co i przetworniki poprzednio opisane pozwalał na opracowywanie zdjęć o wymiarach do 18×18 cm. Granice powiększenia były od



Rys. 62



Rys. 63

$\frac{1}{3}$ do 3 $\times$. Ekran można było nachylać do 30° . Wyposażony był w obiektyw typu Dagor o ogniskowej 150 mm. Wysokość instrumentu wynosiła 2,5 m. Waga — 350 kg.

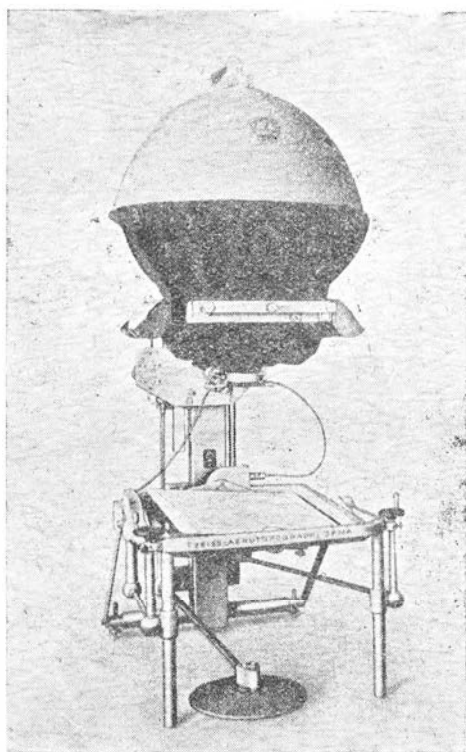
Fabryka Zeissa, poza modelem normalnym, SEG I, produkowała przed wojną przetworniki polowe dla wojska SEG II (rys. 63). Przetworniki te były specjalnie przystosowane do transportu i zmontowane w skrzyniach o wymiarach $1,5 \times 1,2 \times 0,8$ m, wagi 300 kg. W celu zmniejszenia wymiarów przetwornika zastosowano łamany bieg promieni przez umieszczenie między negatywem a obiektywem płaskiego zwierciadła, nachylonego pod kątem 45° do osi obiektywu. Na prze-

twornikach tych mogą być opracowywane zdjęcia do wymiarów 18×18 cm, o nachyleniu nie przekraczającym 15° . Posiadają one te same możliwości ruchów co i typ normalny, z wyjątkiem możliwości przesuwania negatywu w kierunku równoległym do osi nachylania.

Zastosowano w nich obiektyw Orthometar o sile światła $1:6,3$ i ogniskowej 21 cm. Pozwalają one na wykonywanie powiększeń w granicach od 0,7 do $2,5 \times$.

W sposób nieco odmienny został zbudowany lekki przetwornik Zeissa SEG IV, udoskonalony model przetwornika Hegershoffa, budowanego około roku 1930 przez firmę „Aerotopograph“ w Dreźnie (rys. 64).

W przetworniku tym ekran może być nachylany dokoła dwu wzajemnie prostopadłych osi, gdy płaszczyzna negatywu pozostaje w położeniu poziomym. Warunek soczewek jest spełniony automatycznie za pomocą inwersora poruszanego tarczą nożną. W celu zachowania warunku Scheimpfluga obiektyw jest osadzony w oprawie kardanońskiej i jest automatycznie nachylany stosownie do położenia nadawanego ekranowi. Na przetworniku tym można przetwarzać negatywy do wymiarów 30×30 cm, przy czym ramka na negatywy może być przesuwana w granicach ± 5 cm w obu kierunkach odpowiadających osiom kardanońskiego zawieszenia ekranu. Granice powiększenia: 0,7 do $2,5 \times$, największe możliwe nachylenie ekranu — 16° . Do instrumentu tego zastosowano obiektyw typu Dagor, o sile światła $1:6,6$ i ogniskowej 180 mm. Waga przetwornika wynosi 210 kg.



Rys. 64

Na zupełnie innej zasadzie został zbudowany w ZSRR przetwornik Sokołowa o osi poziomej, podobnie jak w przetworniku Roussilhe'a. W instrumencie tym przyjęto za zasadę, że podczas przetwarzania położenie środka rzutów powinno być takie jak w czasie fotografowania. Z tego względu, zależnie od skali, w jakiej ma być wykonane przetworzenie, używa się obiektywów o różnych ogniskowych: 150, 180

i 210 mm. Dla uwzględnienia nachylenia w granicach 0 do 10° nachylany jest ekran i obiektyw. Przetwornik pozwala na wykonywanie powiększeń w granicach od 0,6 do 2 $\times$. Ponieważ praca na tym przetworniku była dość uciążliwa ze względu na pionowe położenie ekranu i na to, że wszystkie nastawienia trzeba było na nim wykonywać ręcznie, przetwornik został przerobiony na typ pionowy, przy czym dodano jednocześnie inwersor spełniający warunek soczewek poruszany tarczą nożną, a tym samym stało się zbyteczne zmienianie obiektywów w zależności od skali przetwarzania.

Bardzo oryginalnie przedstawia się konstrukcja połowego przetwornika, zbudowanego w ZSRR przez Drobyszewa. Wykonany on jest w formie stołu, którego blatem jest przezroczysty ekran, nachylany dookoła dwu wzajemnie prostopadłych osi. Obraz zdjęcia jest przerzutowywany od spodu, a ze względu na brak miejsca źródło światła jest umieszczone z boku. Promienie świetlne po odbiciu od płaskiego zwierciadła, nastawionego pod kątem 45° do osi obiektywu, padają na kondensor i przerzutowują obraz negatywu przez obiektyw na ekran. Przetwornik ten nie jest pełnoautomatyczny i może służyć jedynie do opracowań o niedużej dokładności, przy czym zmiany powiększenia są również dość ograniczone.

Aby ocenić wartość takiej czy innej konstrukcji przetwornika, należy w pierwszym rzędzie sprawdzić, czy dane rozwiązanie konstrukcyjne spełnia konieczne warunki geometryczne oraz czy ilość niezależnych ruchów przetwornika, tj. ilość stopni swobody, jest wystarczająca dla doprowadzenia płaszczyzny kliszy i ekranu do położenia perspektywicznego.

Sprawdzenie warunków geometrycznych będzie polegało na sprawdzeniu prostoliniowości prowadnic, równoległości osi obrotu kliszy, obiektywu i ekranu, jakości obiektywu (czy nie posiada dystorsji), wreszcie prawidłowości wykonania i działania inwersora spełniającego równanie soczewek oraz steru — spełniającego warunek Scheimpfluga.

Z przytoczonego w rozdziale 1 twierdzenia V wynika, że przy obracaniu jednej z dwu płaszczyzn, znajdujących się w kolineacji, środek rzutów powinien przesunąć się po okręgu, którego środek leży na prostej zbiegu względnie prostej zniknięcia. Ponieważ spełnienie tego warunku komplikowałoby budowę przetwornika, a przy zdjęciach prawie pionowych jest praktycznie niepotrzebne, przeto nawet w przetwornikach uważanych za pierwszorzędnej jakości warunek ten nie jest zachowany. Przeważnie płaszczyzna główna obiektywu pozostaje stale w położeniu poziomym, a płaszczyzny kliszy i ekranu są nachylane tak, aby ich krawędź przecięcia leżała w tej płaszczyźnie. Wskutek tego oś obiektywu, zajmująca położenie pionowe, przy nachylaniu ekranu prze-

chodzi stale przez punkt główny kliszy, leżący na jej osi obrotu. Tymczasem, zgodnie z rys. 50 b, oś obiektywu powinna przebijać płaszczyznę kliszy w punkcie L , przesuniętym w kierunku prostopadłym do osi nachylenia ekranu o wielkość p . Dla umożliwienia wprowadzenia potrzebnej z tego powodu poprawki, w przetwornikach uniwersalnych istnieje możliwość przesuwania negatywu w kierunku prostopadłym do osi nachylenia.

Ilość koniecznych niezależnych stopni swobody wynika z przytoczonego w rozdziale 1 twierdzenia IV. Skoro kolineacja dwu płaszczyzn jest wyznaczona przez cztery pary punktów odpowiednich, tj. przez dwa odpowiadające sobie czworoboki, to ponieważ do zbudowania czworoboku potrzeba pięciu niezależnych elementów (np. cztery boki i jedna przekątna, względnie 2 boki i 3 kąty itd.), to przetwornik uniwersalny powinien posiadać pięć niezależnych stopni swobody ruchów. Jeżeli więc przetwornik ma być pełnoautomatyczny, to nie potrzebuje mieć więcej możliwości ruchów ponad pięć.

Jak wynika z praktyki, najszybciej daje się zestroić zdjęcie na przetworniku posiadającym następujące możliwości ruchów:

1. nachylanie ekranu z jednoczesnym nachylaniem kliszy,
2. zmiana skali przy jednoczesnym zachowaniu warunku soczewek,
3. obracanie (skręcanie) negatywu w jego płaszczyźnie dokoła punktu głównego,
4. przesuwanie negatywu w kierunku prostopadłym do osi nachylenia i
5. przesuwanie negatywu w kierunku równoległym do osi nachylenia.

Na takim przetworniku można na ogół przetworzyć dowolne zdjęcie terenu płaskiego, aby tylko kąty nachylenia zdjęcia i terenu nie były zbyt duże i nie przekraczały możliwości ruchów przetwornika. Zasadniczo do opracowywania planów drogą przetwarzania pojedynczych zdjęć lotniczych używa się jedynie zdjęć prawie pionowych. Ponadto tereny o dużych kątach nachylenia nie są na ogół już płaskie, wobec czego konstruktorzy przetworników dostosowują możliwości ruchów do wypadków spotykanych w praktyce. Takie ograniczenie ułatwia konstrukcję, podnosi jednocześnie precyzję wykonania instrumentu i czyni go prostszym w obsłudze.

Niezbędna ilość stopni swobody może być w pewnych wypadkach zmniejszona, jak np.:

1. w przypadku zestrzajania nie dwu figur płaskich, ale wiązki promieni, utrwalonej na kliszy i rekonstruowanej przy ścisłym zachowaniu elementów orientacji wewnętrznej zdjęcia. Mogłoby to mieć zastoso-

wanie w pewnych wypadkach przy pracy na przetworniku poziomym Sokołowa, a ma szerokie zastosowanie przy opracowywaniu zdjęć stereoskopowych, zwłaszcza na autografach, opartych na zasadzie podwójnej projekcji (multiplex, fotokartograf Nistri'ego itp.);

2. jeżeli wiemy, że teren nie jest płaszczyzną dowolną, ale ściśle poziomą. W tych wypadkach wystarczą 4 stopnie swobody i tak np. w przetworniku polowym Zeissa SEG II nie ma możliwości przesuwania negatywu w kierunku równoległym do osi nachylania płaszczyzny obrazu.

7. PODKŁADY GEODEZYJNE

Jak wynika z poprzednich rozważań, do przetworzenia zdjęcia na plan trzeba mieć 4 pary punktów odpowiednich, z których żadne 3 nie leżą na jednej prostej¹⁾, co w praktyce sprowadza się do wyznaczania dla każdego zdjęcia spólrzędnych płaskich czterech punktów terenu, odwzorowanych i zidentyfikowanych na negatywie. Punkty takie nazywamy foto-punktami. Wyniki prac pomiarowych, dotyczących wyznaczenia niezbędnych do przetworzenia elementów, nazywamy podkładem geodezyjnym.

Przy wyborze foto-punktów należy dążyć, aby o ile możności obejmowały one część wykorzystywaną z danego zdjęcia, gdyż zestrojenie, jak każda zresztą czynność pomiarowa, jest wykonywane z pewnym błędem przypadkowym. Z tego względu obraz, położony wewnątrz czworoboku, utworzonego przez czwórkę foto-punktów, będzie przetworzony z dokładnością większą lub równą zestrojeniu (o ile nie zachodzą inne źródła błędów, wywołane np. falistością terenu). Punkty zaś położone na zewnątrz czworoboku mogą być przetworzone mniej dokładnie, będzie tu zachodziła bowiem ekstrapolacja.

W praktyce należy więc dążyć, aby foto-punkty były rozmieszczone możliwie po rogach, ale w odległości około 1 cm od brzegu zdjęcia, a to z tego względu, że na skrajach kliszy mogą już niekiedy występować silniejsze zniekształcenia, wywołane dystorsją obiektywu, oraz nieostrość obrazu.

Ponieważ dla pokrycia obszaru przeznaczonego do opracowania nie wystarcza na ogół jedno zdjęcie, ale potrzebny jest zespół o pewnym pokryciu w szeregach i między szeregami, przeto ze względów ekonomicznych można i należy obierać foto-punkty tak, aby służyły one

¹⁾ W pewnych przypadkach dwie pary trójek punktowych, leżących na dwu prostych (str. 12).

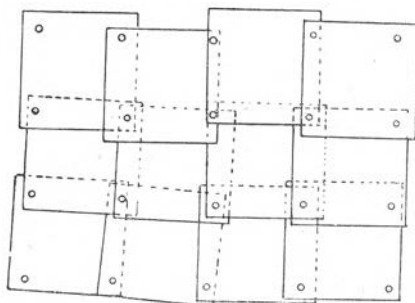
jednocześnie do przetwarzania zdjęć sąsiednich. W przypadku idealnym foto-punkty należałoby obierać tak, jak pokazane jest na rys. 65.

A więc:

dla zdjęcia 1, szeregu I — 4 fp.	
„ „ 2 „ „ — 2 „	
„ „ n_1 „ „ — 2 „	
Razem: $2n_1 + 2$ foto-punkty	
dla zdjęcia 1, szer. II — 2 fp.	
„ „ 2 „ „ — 1 „	
„ „ n_2 „ „ — 1 „	
Razem: $n_2 + 1$ foto-punktów	

itd., czyli łącznie ilość foto-punktów byłaby równa ilości zdjęć + ilość zdjęć w szeregu + ilość szeregów + 1. Ponieważ w praktyce takie przypadki idealne dość rzadko się spotyka, wzór ten może służyć jedynie do przybliżonego ustalania ilości foto-punktów, co ma znaczenie przy kosztorysowaniu robót, przy czym trzeba tą drogą otrzymaną ilość zwiększyć o pewien procent, zależnie od warunków lokalnych.

Przy wyborze foto-punktów jest rzeczą równie ważną jak ich ilość pewność ich identyfikacji. Z tego względu przy pracach, w których jest wymagana wysoka dokładność, względnie przy opracowywaniu obszarów ubogich w szczegóły sytuacyjne, stosuje się przed wykonaniem zdjęć lotniczych sygnalizację foto-punktów w terenie. Sposób sygnalizacji może być różny, zależnie od okoliczności, byle tylko spełniał swoje zadanie. W terenach jasnych, np. na piaskach, znaki powinny być ciemne, na gruntach pokrytych roślinnością — białe. Najprostszym sposobem jest bielenie znaków wapnem, a tam, gdzie to nie jest możliwe — wykładanie znaków zrobionych z drzewa, płótna, kartonu lub innego materiału białego, względnie na biało pomalowanych. Z punktu widzenia fotograficznego najodpowiedniejsze są znaki malowane matową farbą olejną, bo nie dają odbłasków. Są jednak dość kosztowne. W Szwajcarii przy wykonywaniu zdjęć dla celów katastralnych jest stosowana sygnalizacja kartonami kwadratowymi lub kwadratami ze specjalnego materiału, wyrabianego z mączki drzewnej,



Rys. 65

zwanego pavatexem. Sygnały takie są rozkładane przed lotem (ewentualnie przy użyciu młodzieży szkolnej), a następnie zbierane i wykorzystywane do prac następnych.

U nas w Polsce tylko przy niektórych pracach, wykonywanych przez Fotolot przed wojną, była stosowana sygnalizacja. Robiono ją w postaci krzyży lub innych figur bielonych na ziemi wapnem. Do bielenia były sporządzane z desek szablony odpowiednich kształtów, na ogół w formie równoramiennego krzyża o szerokości ramion równej ich długości. Kształt znaków może być dowolny, aby tylko najmniejszy z wymiarów znaku nie był mniejszy na zdjęciu od 0,02 mm. Wymiary sygnałów zależą od skali, w jakiej zdjęcia mają być wykonane. Kształty znaków można sobie dobierać zależnie od potrzeb. Np. jeżeli są sygnalizowane punkty poligonowe i jednocześnie jakieś inne, np. graniczniki, to dla odróżnienia jedno można znaczyć krzyżami, drugie — kwadratami względnie znakami w kształcie litery *T* lub *L*.

Sygnalizacja punktów w terenie przed wykonaniem zdjęć posiada jednak i wiele ujemnych stron, a mianowicie:

1. ponieważ nie da się ściśle przewidzieć zasięgu poszczególnych zdjęć, trzeba obierać i wyznaczać w terenie więcej foto-punktów, niż to jest konieczne do przetworzenia,

2. ponieważ obiera się foto-punkty przed wykonaniem zdjęć, bardzo często okazuje się potem, że są one niekorzystnie rozmieszczone na zdjęciach, a nawet czasami i w niedostatecznej ilości, wskutek czego aby zdjęcia przetworzyć, trzeba jeszcze raz jechać w teren dla wykonania pomiarów uzupełniających,

3. sama sygnalizacja jest dość kosztowna i kłopotliwa. Na wykonanie sygnalizacji potrzeba sporo czasu i nie można wykonywać zdjęć przed jej zakończeniem, choćby pogoda była sprzyjająca. Natomiast po zakończeniu sygnalizacji nieraz dość długo trzeba czekać na odpowiednią do zdjęć pogodę. W międzyczasie deszcze, bydło lub nawet psotne dzieci mogą sygnalizację zniszczyć. Po dłuższej przerwie trzeba sygnalizację sprawdzić i uzupełnić, na co traci się dni pogodne i opóźnia wykonanie programu.

Z tych względów, o ile to tylko nie jest niezbędne z jakichś innych przyczyn, wyznaczanie położenia foto-punktów przeprowadza się po wykonaniu zdjęć na odbitkach stykowych. Za foto-punkty obiera się szczegóły terenu, ostro odwzorowane na zdjęciach i leżące w płaszczyźnie terenu, jak np. skrzyżowania miedz, krawężniki, rogi parcel itp. Należy natomiast unikać obierania rogów domów, zwłaszcza jeżeli one mają być wspólne dla kilku zdjęć, gdyż jeżeli są one dobrze widoczne na jednym zdjęciu, to na innych będą z pewnością zasłonięte obrazem ścian budynku. Rogi linii okapowych nie wchodzą w ogóle w grę, ponieważ ich obrazy na zdjęciach są przesunięte ze względu na wysokość

budynku. Przy wyborze foto-punktów, w wypadkach wątpliwych, o ile tylko pozwala na to pokrycie wzajemne zdjęć, należy posilkować się stereoskopem. Plastyka, jaką daje nam stereoskop, ułatwia zorientowanie się co przedstawia dany szczegół oraz czy leży on rzeczywiście na płaszczyźnie terenu.

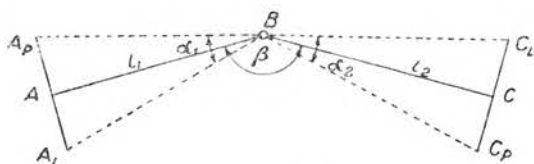
Po ustaleniu na zdjęciach wszystkich foto-punktów trzeba się zastanowić nad sposobem wyznaczenia ich współrzędnych. Może to być wykonane dowolną metodą geodezyjną, aby tylko dokładność była wystarczająca. Należy wziąć pod uwagę istniejące na tym terenie zastabilizowane punkty pomiarowe (triangulacyjne i poligonowe) i zaprojektować pomiar w nawiązaniu do punktów już istniejących. W przypadku braku jakichkolwiek punktów nawiązania należy zaprojektować sieć lokalną. Błędne jest mniemanie, że do wyznaczenia położenia foto-punktów niepotrzebna jest duża dokładność. Dopuszczalny błąd położenia nie powinien przekraczać $\pm 0,1 \text{ mm}$ w skali opracowywanego planu, co np. w skali 1:5 000 odpowiada wprawdzie $\pm 0,5 \text{ m}$ na gruncie ale to dotyczy błędu położenia. Jeżeli pomiary foto-punktów będą wykonywane np. metodą poligonową i boki będą mierzone z dokładnością $\pm 0,5 \text{ m}$, to błąd położenia będzie znacznie większy, zwłaszcza, jeżeli foto-punkty, znajdujące się na obszarze tego samego zdjęcia, byłyby domierzane do dwu różnych ciągów poligonowych. Wybór zatem odpowiedniej metody wyznaczenia współrzędnych foto-punktów, szczególnie na większych obszarach, jest poważnym zagadnieniem geodezyjnym, którego nie należy bagatelizować.

Bardzo odpowiednią do pomiaru podkładu geodezyjnego jest metoda poligonizacji paralaktycznej [9], stosowana na dużą skalę przed wojną przy sporządzaniu planów drogą przetwarzania dla regionalnych planów zabudowy, regulacji rzek i klasyfikacji gruntów.

Jeżeli nad punktem poligonowym B ustawimy teodolit, a nad sąsiednimi punktami A i C łaty poziome o stałej i znanej długości b , prostopadłe do celowych BC i BA (rys. 66) i tak, aby ich środki znajdowały się dokładnie nad punktami A i C , to na podstawie pomierzonych kierunków do końców łat można obliczyć:

1. długości boków poligonowych l_1 i l_2 , oraz
2. kąt poligonowy β z wzoru:

$$l = \frac{b}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \quad \text{ i } \quad \beta = \frac{A_l + A_p}{2} - \frac{C_l + C_p}{2}.$$



Rys. 66

Różniczkując wzór na l_1 , otrzymamy:

$$dl = \frac{b}{4 \sin^2 \frac{\alpha}{2}} d\alpha.$$

Mnożąc i dzieląc przez $b \cdot \cos^2 \frac{\alpha}{2}$ znajdziemy:

$$dl = \frac{b^2}{4} \cdot \operatorname{ctg}^2 \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{1}{b \cdot \cos^2 \frac{\alpha}{2}} \cdot d\alpha \cong \frac{l^2}{b} \cdot d\alpha,$$

ponieważ $\cos^2 \frac{\alpha}{2} \cong 1$, gdyż α jest bardzo małe.

Z wzoru tego widać, że błąd długości jest odwrotnie proporcjonalny do długości łąty i wprost proporcjonalny do kwadratu odległości.

Przyjmując błąd pomiaru kąta $d\alpha = 1''$, otrzymamy błędy pomiaru boku przy długościach łąty: 2m i 5m, jak w poniżej podanej tabelce:

$\begin{array}{c} b = \\ l \end{array}$	2 m	5 m
100	0,02 m	0,01 m
200	10	04
300	22	09
400	40	16
500	62	25

W roku 1934 skonstruował Mierniczy Przysięgły S. Grygorczuk pięciometrowe łąty drewniane, które były używane przy zakładaniu podkładów geodezyjnych do prac fotogrametrycznych. Do pomiaru kątów używano teodolitu 1" Wilda T2 z okularzem o powiększeniu 28x, dzięki czemu uzyskiwano bardzo dużą dokładność pomiaru kąta paralaktycznego.

Jak wynika z opublikowanych sprawozdań z prac wykonanych w oparciu o sieć triangulacji państwowej, przy średniej długości boków poligonowych 260 m odchyłka względna była mniejsza od 1:6 000, a przy długościach boków dochodzących nawet do 560 m nie była większa od 1:2 500.

Może trochę bardziej kłopotliwa w wykonaniu, ale pozwalająca na uzyskanie większej jeszcze dokładności jest metoda oparta również na paralaktycznym pomiarze długości, polegająca na następującej zasadzie:

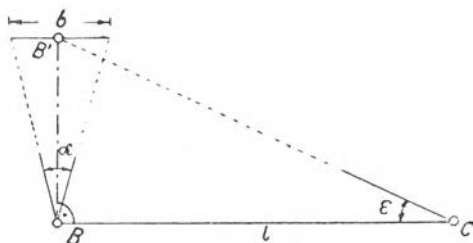
W punkcie poligonowym B (rys. 67) wytycza się pod kątem prostym do boku BC pomocniczy punkt B', na którym ustawia się łątę poziomą o długości 2 m, taką, jakie są produkowane do celów poligonizacji paralaktycznej przez firmy Wilda i Zeissa. Na podstawie pomiaru kąta pa-

ralaktycznego wyznacza się długość BB' , a następnie w punkcie C mierzy się kąt ε i oblicza długość boku l z trójkąta prostokątnego $BB'C$ z wzoru:

$$l = \frac{b}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \cdot \operatorname{ctg} \varepsilon.$$

Jeżeli długość bazy pomocniczej BB' obrać tak, aby $\varepsilon = \alpha$, to śr. błąd wyznaczonego tą drogą boku o długości 500 m wyniesie zaledwie $\pm 0,05$ m [5].

W ten sposób można zatem znacznie zwiększyć długości boków w poligonach, przez co czas pomiaru tą metodą nie będzie dłuższy, niż przy metodzie poprzedniej. Dla podniesienia dokładności i uzyskania większej pewności, długości każdego boku można wyznaczać dwukrotnie: raz z bazy BB' , drugi raz z bazy CC' , założonej podobnie w punkcie C . Poważną przeszkodą przy stosowaniu tej metody będą zabudowania i zarośla, utrudniające wybór punktów pomocniczych B' , C' itd.



Rys. 67

Metody paralaktyczne mają tę zaletę, że są szybkie, można je wykonywać przy wysokim stanie zbóż, nie traktując zasiewów, oraz są niezależne od wpływu różnic wysokości, gdyż otrzymywane tą drogą długości są od razu zredukowane do poziomu.

Niezależnie od metody, jaka byłaby zastosowana do pomiaru podkładu geodezyjnego, stanowiska instrumentów w nielicznych tylko przypadkach (chyba, że podkład został założony przed wykonaniem zdjęć i punkty były sygnalizowane) będą mogły być jednocześnie użyte, jako foto-punkty. Na ogół foto-punkty muszą być domierzane do punktów sieci pomiarowej metodą biegunową, względnie: rzędnych i odciętych.

Przy zakładaniu podkładu geodezyjnego niesłychanie ważną rzeczą jest dobra identyfikacja w terenie punktów obranych na zdjęciach, na co należy kłaść szczególny nacisk. Personel używany do zakładania podkładów geodezyjnych powinien być w tym kierunku specjalnie przeszkolony, a jeżeli nie ma pewności, czy identyfikacja zostanie przeprowadzona bezbłędnie, należy wyznaczać więcej foto-punktów, niż to jest konieczne, aby w wypadku błędów można było punkty źle zidentyfikowane wyeliminować i zdjęcia opracować bez powtarzania pomiarów w terenie. Ma to znaczenie zwłaszcza w tych przypadkach, kiedy punkty sieci pomiarowej nie są stabilizowane. Wówczas dla dodatkowego wyznaczenia położenia jednego foto-punktu trzeba powtarzać pomiar ciągu kilkukilometrowego.

W pewnych przypadkach, jeżeli dla opracowywanego fotogrametrycznie obszaru są już jakieś stare plany, można wyznaczyć foto-punkty wprost z planów, bez pomiaru w terenie, o ile tylko plany te posiadają dostateczną dokładność. Na ogół jednak zmiany sytuacji terenu zachodzą tak szybko, że już po kilku latach szczegóły odwzorowane na zdjęciach różnią się od tych, jakie są pokazane na planie. Z tego względu, przy przygotowywaniu podkładu do przetwarzania tą drogą trzeba być bardzo ostrożnym i wybierać zawsze więcej punktów, niż to jest konieczne.

8. PRZETWARZANIE FOTOMECHANICZNE ZDJEĆ LOTNICZYCH

Czynnością zasadniczą przy opracowywaniu planów na podstawie pojedynczych zdjęć lotniczych jest przetwarzanie ich na przetworniku. Polega ono na zestrojeniu (doprowadzeniu do wzajemnego pokrycia się) obrazów foto-punktów przerzutowanych na ekran z negatywu z ich odpowiednikami, naniesionymi na arkuszu papieru w skali opracowywanego planu, na podstawie współrzędnych geodezyjnych.

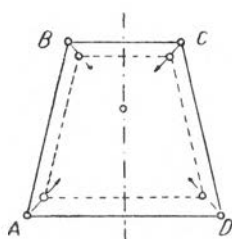
Ponieważ przeważnie zdjęcia lotnicze do takich celów są wykonywane na filmie, dla ułatwienia zestrainowania można przed włożeniem negatywu do przetwornika ponakłuwać na nim wszystkie foto-punkty. Czynność ta powinna być wykonana starannie, pod lupą względnie przy pomocy specjalnego mikroskopu do nakłuwania. Mikroskopy takie były produkowane przez Zeiss'a, a poza tym znajdują się podobne przy niektórych koordynatografach, np. firmy „Haag-Streit“. Ich cechą charakterystyczną jest to, że centrycznie na osi mikroskopu pod obiektywem znajduje się igiełka, a sam mikroskop osadzony jest w oprawie tak, że może być przesuwany w kierunku pionowym. Po nastawieniu mikroskopu na odpowiedni punkt wystarczy mikroskop nacisnąć, a umieszczona pod nim igiełka zrobi otwór w filmie.

Po założeniu negatywu do przetwornika i oświetleniu go otrzymamy na ekranie przerzutowany obraz terenu i ostro rysujące się dzięki nakłuciu foto-punkty w postaci jakby świecących punkcików. Na podkładzie służącym do zestrojenia dobrze jest oznaczyć położenia foto-punktów kółkami wykreślonymi tuszem, o średnicy 2 mm. Zestrojenie będzie więc polegało na sprowadzeniu jasnych punkcików na środki odpowiadających im kółek. Tego rodzaju technika pracy ma szczególne znaczenie przy przetwarzaniu masowym, bo w dużym stopniu mechanizuje pracę i przetwarzający fotogrametra nie rozprasza swojej uwagi wypatrywaniem i zapamiętywaniem położenia poszczególnych foto-punktów.

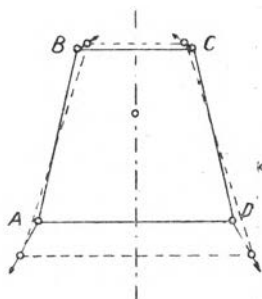
Aby zestrojenie przeprowadzić metodycznie, nie w sposób chaotyczny, należy sobie uprzytomnić wpływ poszczególnych ruchów przetwor-

nika na zmianę położenia na ekranie punktów przerzutowanych ze zdjęcia. Rozpatrzmy wypadki te w odniesieniu do przetworników pełnoautomatycznych typu SEG I Zeissa względnie E2 Wilda.

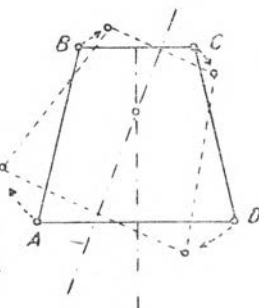
Pięciu niezależnym stopniom swobody przetwornika będą odpowiadały przesunięcia punktów przerzutowanych na ekran, pokazane na rys. 68 — 72, na których linią ciągłą oznaczono położenia pierwotne, a przerywaną — po wykonaniu odpowiedniego ruchu.



Rys. 68



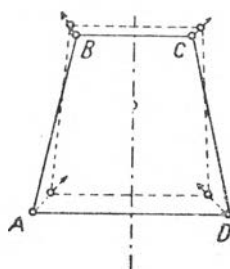
Rys. 69



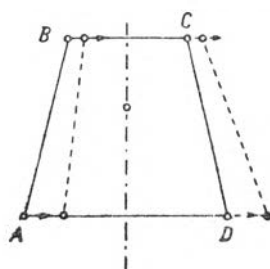
Rys. 70

1. Zmianie skali (rys. 68) będą odpowiadały przesunięcia radialne. Czworoboki otrzymane przy dwu różnych nastawieniach skali będą do siebie podobne i jednokładne, o środku jednokładności w punkcie głównym.

2. Nachylenie kliszy będzie wywoływało zwiększenie skali boku czworoboku położonego bliżej operatora i jednocześnie zmniejszenie bo-



Rys. 71



Rys. 72

ku przeciwnego (zjawisko może być również i odwrotne, jeżeli przetwornik pozwala na nachylanie płaszczyzny kliszy i ekranu w obie strony).

3. Skręcenie kliszy wywołuje przesunięcie po łukach wszystkich punktów w jednym kierunku.

4. Przesunięcie kliszy w jej płaszczyźnie w kierunku prostopadłym do osi nachylenia (rys. 71) wywołuje zjawisko podobne jak w p. 2, tylko że zachodzące zmiany występują w innym stopniu i to zależnie od wielkości poprzednio wprowadzonego nachylenia. Jeżeli nachylenie jest równe zeru, to przesunięciu negatywu towarzyszy jedynie równoległe przesunięcie przerzutowanego czworoboku w kierunku prostopadłym do osi nachylenia.

5. Przesunięcie kliszy w jej płaszczyźnie w kierunku równoległym do osi nachylenia (rys. 72) wywołuje szybsze przesunięcie wierzchołków czworoboku, położonych bliżej operatora, niż dwu pozostałych w kierunkach równoległych do osi nachylenia. Wielkość tych przesunięć jest zależna również od wielkości poprzednio wprowadzonego nachylenia i tak jak w przypadku poprzednim, przy nachyleniu równym zeru powoduje jedynie równoległe przesunięcie całej figury w kierunku równoległym do osi nachylenia.

Z analizy wpływów poszczególnych ruchów na kształt czworoboku, utworzonego przez przerzutowane na ekran foto-punkty, wynika następująca metoda zestrzajania:

1. Po włożeniu negatywu do przetwornika wszystkie nastawienia sprowadzić do położen zerowych.

2. Położyć na ekran podkład z naniesionymi w skali opracowywanego planu foto-punktami i przez zmianę skali doprowadzić do przybliżonego pokrycia punktów przerzutowanych z punktami podkładu, ale tak, aby wszystkie punkty przerzutowane znajdowały się wewnątrz czworoboku podkładu. Przy tej czynności, jak i następnych, podkład przesuwamy odrębnie dowolnie po ekranie.

3. Przez nachylenie ekranu doprowadzić go do takiego położenia, aby skale obu boków czworoboku, równoległych do osi nachylania, były zgodne z podkładem. Przy tej czynności skale każdego z boków sprawdzamy oddzielnie podsuwając odpowiednio podkład i poprawiając ewentualnie skalę nastawioną poprzednio. Może się okazać, że do wykonania tej czynności trzeba nachylić ekran tak, aby przednia jego krawędź poszła do góry. W takim przypadku, ponieważ konstrukcja przetworników nie zawsze na to pozwala, a poza tym dalsza praca przy ekranie tak ustawionym byłaby niewygodna, należy obrócić kliszę o 180° obracając jednocześnie i podkład.

4. Zależnie od wzajemnego usytuowania się punktów przerzutowanych względem punktów naniesionych na podkładzie stosujemy dalsze przesunięcia negatywu, a w pierwszym rzędzie jego skrócenie, aż osiągniemy najlepszą możliwą zgodność. Przy tej czynności wprowadzamy również niewielkie poprawki w skali i nachyleniu.

Przy zestrzajaniu, jeżeli nachylenie wypada dość duże, należy po zakończeniu czynności 1, 2 i 3 obliczyć i uwzględnić wielkość przesunię-

cia p kliszy w kierunku prostopadłym do osi nachylenia, ze względu na konstrukcję przetwornika omówioną w rozdziale 6, str. 69.

Jeżeli opracowywany teren jest rzeczywiście płaski i nie popełniono błędów w przygotowaniu podkładu, zestrojenie takie, przy pewnej wprawie, da się wykonać w ciągu 10 — 15 minut. W każdym bądź razie wprawiony fotogrametra, postępując metodycznie, będzie uzyskiwał coraz lepsze przybliżenia i wreszcie zauważy moment, od którego pary punktów odpowiednich zaczną się rozchodzić. Będzie to świadczyło o istniejących błędach podkładu względnie innych przyczynach uniemożliwiających zestrojenie.

Zestrojenie będzie niemożliwe nawet przy bezbłędnie wykonanym podkładzie, jeżeli foto-punkty nie będą leżały w jednej płaszczyźnie (w przypadku terenu falistego) względnie przy pewnych specjalnych kierunkach nachylenia płaszczyzny terenu i płaszczyzny kliszy. Ostatni przypadek będzie jeszcze omówiony poniżej.

Po zakończeniu zestrojenia zasłaniamy obiektyw czerwonym filtrem i na miejsce podkładu kładziemy papier światłoczuły. Papier ten nasświetlamy przez odpowiedni przeciąg czasu, a po poddaniu go kąpielom fotograficznym uzyskujemy zdjęcie przetworzone, to jest jakby fragment fotograficznego planu terenu w żądanej skali.

Ze względu na kąpiele fotograficzne oraz suszenie powodujące deformacje należałoby używać materiałów fotograficznych niedeformujących się. Zależnie od dalszej techniki wykorzystywania tych przetworzeń można użyć do tego celu płyt szklanych (diapozytywowych), względnie papierów niedeformujących się. Przed wojną były produkowane papiery z wklejoną wewnątrz cienką folią aluminiową, która zapobiegała kurczeniu względnie rozszerzaniu się w czasie obróbki fotochemicznej.

Jeżeli przetwarzania wykonuje się na płytach diapozytywowych, należy uwzględnić ich grubość. W tych przypadkach podkład powinien być tej samej grubości (można podłożyć czystą płytę szklaną), względnie po wykonaniu zestrojenia zmienić odpowiednio skalę przetworzenia posiłkując się odczytami na podziałce przetwornika. Grubość płyty szklanej może również wpłynąć na nieostrość przetworzenia. Aby temu zapobiec trzeba zmienić odpowiednio nastawienie inwersora.

Płyty szklane na ogół jednak nie są używane do przetwarzania. Prawie wyłącznie używa się do tego papierów fotograficznych kartonowych, a to z tego względu, że ich deformacja jest bardziej regularna. Deformacja ta jest rzędu kilku $\frac{0}{100}$, zależnie od gatunku papieru i powinna być uwzględniana.

W celu uwzględnienia deformacji papieru fotograficznego należy te deformacje wyznaczyć dla danego gatunku i wyznaczenia te powta-

rać przy każdej zmianie gatunku i warunków panujących w pracowni (inny będzie współczynnik skurczu zimą, kiedy działa centralne ogrzewanie, inny w okresach wiosennym i jesiennym, kiedy nie ma centralnego ogrzewania, a powietrze posiada stosunkowo duży procent wilgotności). W celu wyznaczenia współczynnika skurczu nakłuwamy na koordynatografie na kilku arkuszach punkty w znanej odległości, a następnie, po poddaniu ich kąpielom fotograficznym i wysuszeniu, odczytujemy przy pomocy koordynatografu odległości między nimi. Stosownie do otrzymanego w ten sposób współczynnika skurczu zwiększamy spólrzędne geodezyjne foto-punktów i przygotowujemy podkłady do przetwarzania w tej skali skażonej.

Aby uniknąć dodatkowej czynności obliczania spólrzędnych skażonych ze względu na współczynnik skurczu, można go uwzględnić z dostateczną praktycznie dokładnością i w inny sposób, wprowadzony w Biurze Fotogrametrycznym Głównego Urzędu Pomiarów Kraju, mianowicie przez odpowiednią zmianę skali na przetworniku już po zestrojeniu zdjęcia na podstawie normalnie przygotowanego podkładu. Do tego celu można korzystać z podziałki pionowej przetwornika, dającej nam odległości kliszy od ekranu, względnie posiłkując się podziałką specjalną, naniesioną na ekranie wzdłuż osi nachylenia. W tym celu w Biurze Fotogrametrycznym GUPK na płycie szklanej utrzymującej negatyw w przetworniku naniesiono okrąg koła. Koło to po zestrojeniu odrzuca się na ekranie w formie elipsy, której jedną ze średnic możemy pomierzyć przy pomocy podziałki na ekranie, a następnie przez zmianę skali powiększyć ją o wielkość skurczu i dopiero wtedy przystąpić do naświetlania. Sposób ten nie jest zupełnie ścisły, ale jeżeli zdjęcia są prawie pionowe i teren jest poziomy, to po zestrojeniu ich w przetworniku płaszczyzna kliszy niewiele zostaje nachylona w stosunku do płaszczyzny ekranu i metoda ta będzie wystarczająco dokładna.

Aby wyczerpać zagadnienie przetwarzania omówimy jeszcze poszczególne przypadki, jakie mogą zajść, jeżeli teren jest płaski, ale niepoziomy [1]. Z rozważań przeprowadzonych w rozdziale 1 wynika, że i w przypadku terenu niepoziomego zdjęcie (rzut środkowy terenu) i plan (rzut prostokątny terenu) będą z sobą w kolineacji i mogą być zawsze sprowadzone do położenia perspektywicznego. Ale położenie perspektywiczne będzie i wówczas, kiedy środek rzutów leży w nieskończoności. Rzut środkowy staje się wtedy rzutem równoległym, a takiego przerzutowania na przetworniku opisanej konstrukcji wykonać nie można.

Jaskrawym przykładem tego będzie *przypadek, kiedy płaszczyzna kliszy w chwili zdjęcia zajmuje położenie równoległe do płaszczyzny terenu*. Jeżeli wyobrazimy sobie na płaszczyźnie terenu kwadrat, to odwzoruje się on na zdjęciu również jako kwadrat, a na planie będzie

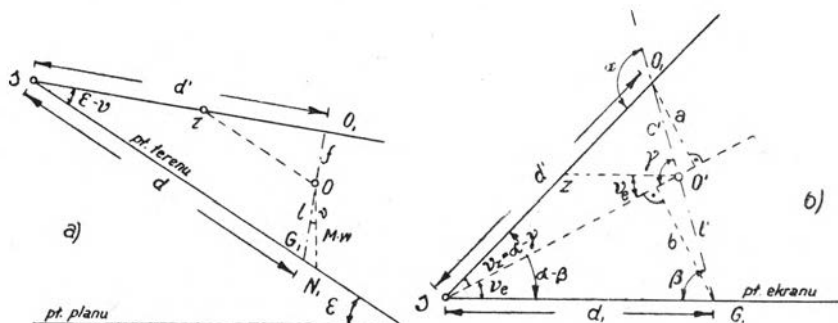
równoległobokiem, gdyż w rzucie prostokątnym równoległość prostych zostaje zachowana (powinowactwo). Natomiast przy przetwarzaniu na przetworniku, które wykonuje się drogą rzutu środkowego, nie można znaleźć położenia takiego, aby kwadrat przetwarzał się na równoległobok, ponieważ co najwyżej tylko proste równoległe do osi nachylenia mogą się przetwarzać na proste równoległe.

Opierając się jednak na drugiej części twierdzenia IV (str. 12) można i w tym przypadku przejść ze zdjęcia do planu, ale drogą kilkukrotnego przetwarzania. W takich przypadkach należy zatem zdjęcie przefotografować mniej więcej w skali 1:1, przy nachyleniu ekranu pod kątem równym w przybliżeniu kątowi nachylenia terenu, a następnie to zdjęcie raz przetworzone włożyć do przetwornika na miejsce negatywu i wykonać przetworzenie na punkty podkładu.

Rozwiązanie takie jest możliwe, ale niepraktyczne. Dla metodycznego jego przeprowadzenia trzeba by znać elementy orientacji zewnętrznej zdjęcia oraz kąt i kierunek nachylenia płaszczyzny terenu, czego na ogół nie posiadamy. Bez znajomości tych elementów podwójne przetwarzanie będzie przeprowadzane „po omacku” i może nie doprowadzić od razu do celu. Ponadto przetworzenie pomocnicze będzie pozytywnem (w znaczeniu fotograficznym), zatem przed założeniem do przetwornika należałoby je skopiować, aby otrzymać negatyw.

Drugi szczególny przypadek będzie zachodził wtedy, kiedy płaszczyzny kliszy i terenu będą się przecinały wzdłuż linii poziomej.

W tym przypadku krawędź przecięcia płaszczyzny kliszy z płaszczyzną terenu będzie jednocześnie osią perspektywy zdjęcia i planu. Odpowiednie związki geometryczne weźmy z rys. 73 a i b, na których przed-



Rys. 73

stawione są usytuowania poszczególnych płaszczyzn w chwili zdjęcia i przy przetwarzaniu w przekroju płaszczyzną pionową, poprowadzoną przez środek rzutów prostopadle do osi perspektywy. Oznaczenia zostały przyjęte podobne jak w rozdziale 6 na rys. 50 a i b.

Po doprowadzeniu płaszczyzny zdjęcia i planu do położenia perspektywicznego musi zachodzić proporcjonalność odcinków osi zdjęcia:

$$l' : c' = l : f = \lambda = \frac{M \cdot w}{f} \cdot \frac{\cos \varepsilon}{\cos (\varepsilon - \nu)} \quad (1)$$

ponieważ $\sphericalangle OGN_1 = 90 + (\varepsilon - \nu)$, a $\sphericalangle GN_1 O = 90 - \varepsilon$.

Następnie z rys 73 b wynika:

$$\begin{aligned} \sin \nu_e &= \sin \gamma \cdot \frac{l'}{d_1}, \\ \sin \nu_z &= \sin \gamma \cdot \frac{c'}{d'}, \end{aligned}$$

skąd:

$$\frac{\sin \nu_e}{\sin \nu_z} = \frac{l'}{c'} \cdot \frac{d'}{d_1} = n.$$

Ponieważ z trójkąta sO_1G : $d' = d \cdot \cos (\varepsilon - \nu)$, a $d_1 = d \cdot \cos \varepsilon$ jako rzut prostokątny odcinka d na płaszczyznę planu, zatem biorąc pod uwagę (1)

$$\frac{\sin \nu_e}{\sin \nu_z} = n = \frac{M}{f} \cdot \frac{w}{\lambda} = \lambda \cdot \frac{\cos (\varepsilon - \nu)}{\cos \varepsilon}. \quad (2)$$

Odległości punktów O_1 i G_1 od płaszczyzny głównej obiektywu muszą spełniać warunek soczewek:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f_p};$$

poza tym z rys. 73 b:

$$\begin{aligned} b &= d_1 \cdot \sin \nu_e, \\ a &= d' \cdot \sin \nu_z = \frac{d'}{n} \cdot \sin \nu_e. \end{aligned}$$

wobec czego:

$$\frac{1}{d_1 \cdot \sin \nu_e} + \frac{n}{d' \cdot \sin \nu_e} = \frac{1}{f_p},$$

skąd:

$$\sin \nu_e = f_p \left(\frac{1}{d_1} + \frac{n}{d'} \right).$$

Podstawiając: $n = \frac{l'}{c'} \cdot \frac{d'}{d_1}$ i $\frac{l'}{c'} = \frac{l}{f}$, otrzymamy.

$$\sin \nu_e = f_p \left(\frac{1}{d_1} + \frac{l}{f d_1} \right) = f_p \left(\frac{f + l}{f \cdot d_1} \right),$$

a ponieważ: $d_1 = d \cdot \cos \varepsilon$, a $\frac{f+l}{d} = \sin(\varepsilon - \nu)$, z trójkąta $s O_1 G$, to ostatecznie:

$$\sin \nu_e = \frac{f_p}{f} \cdot \frac{\sin(\varepsilon - \nu)}{\cos \varepsilon} \text{ i } \sin \nu_z = \frac{\sin \nu_e}{n} = \frac{f_p \cdot \sin(\varepsilon - \nu)}{n \cdot f \cdot \cos \varepsilon}. \quad (3)$$

Na podstawie tych danych można już obliczyć, podobnie jak w rozdziale 6, elementy nastawienia przetwornika. Z trójkątów wykreślonych oddzielnie na rys. 74 mamy:

$$x = a \cdot \operatorname{tg}(\gamma - 90) = -a \cdot \operatorname{ctg} \gamma,$$

$$y = b \cdot \operatorname{tg}(\gamma - 90) = -b \cdot \operatorname{ctg} \gamma,$$

skąd:

$$x + y = -(a + b) \cdot \operatorname{ctg} \gamma.$$

Ale z rys. 73 b:

$$x + y = d' \cos \nu_z - d_1 \cdot \cos \nu_e,$$

wobec czego:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{a + b}{d_1 \cos \nu_e - d' \cos \nu_z}.$$

Podstawiając poprzednio obliczone wartości a i b , otrzymamy:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma &= \frac{d_1 \cdot \sin \nu_e + \frac{d'}{n} \sin \nu_e}{d_1 \cdot \cos \nu_e - d' \cos \nu_z} = \frac{d_1 + \frac{d'}{n}}{d_1 - \frac{d'}{n'}} \cdot \operatorname{tg} \nu_e \\ &= \left[\left(1 + \frac{1}{n} \cdot \frac{\cos(\varepsilon - \nu)}{\cos \varepsilon} \right) \right. \\ &\quad \left. : \left(1 - \frac{1}{n'} \cdot \frac{\cos(\varepsilon - \nu)}{\cos \varepsilon} \right) \right] \operatorname{tg} \nu_e. \quad (4) \end{aligned}$$

gdzie:

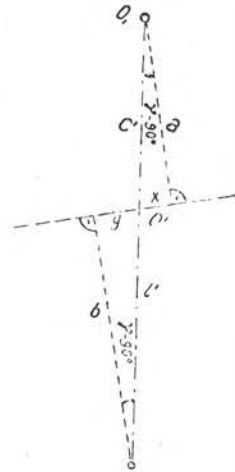
$$n' = \frac{\cos \nu_e}{\cos \nu_z}. \quad (5)$$

Dalej z trójkąta $s O_1 O'$:

$$c' = d' \cdot \frac{\sin \nu_z}{\sin \gamma}.$$

A ponieważ

$$d' \cdot \sin \nu_z = \frac{d'}{n} \sin \nu_e = \frac{d'}{n} \cdot f_p \left(\frac{1}{d_1} + \frac{n}{d'} \right) = f_p \left(1 + \frac{d'}{d_1} \cdot \frac{1}{n} \right)$$



Rys. 74.

przeto:

$$c' = \frac{f_p}{\sin \gamma} \left(1 + \frac{1}{n} \cdot \frac{\cos (\varepsilon - \nu)}{\cos \varepsilon} \right). \quad (6)$$

Następnie z wzoru (1) i (2):

$$l' = \lambda \cdot c' = c' \cdot n \cdot \frac{\cos \varepsilon}{\cos (\varepsilon - \nu)}. \quad (7)$$

Wreszcie z trójkątów $sO'G_1$ i $sO'O_1$:

$$\beta = \gamma - \nu_e, \quad (8)$$

i

$$\alpha = \gamma + \nu_z. \quad (9)$$

Aby więc na podstawie elementów orientacji zewnętrznej zdjęcia (f , $M \cdot w$, ν i ε) obliczyć elementy nastawienia przetwornika (z , β , γ , c' i l') należy obliczyć najpierw z wzorów (2), (3) i (5) wielkości pomocnicze: n , n' , ν_e i ν_z a następnie na podstawie wzorów (4), (6), (7), (8) i (9) potrzebne elementy nastawienia. Jeżeli przez wzajemne nachylenie kliszy i ekranu dookoła osi perspektywy s doprowadzilibyśmy do położenia, w którym $\alpha = 0$, to takie położenie będzie odpowiadało zdjęciu o jakimś fikcyjnym nachyleniu (ν) płaszczyzny planu, przedstawiającej niejako poziomą płaszczyznę terenu.

Wielkość tego nachylenia (ν) można obliczyć z wzoru:

$$\cos (\nu) = \frac{zO_1}{zO'} = \frac{d'}{d_1} = \frac{\cos (\varepsilon - \nu)}{\cos \varepsilon}. \quad (10)$$

Odpowiadającą temu fikcyjną ogniskową kamery (f) można obliczyć z wzoru:

$$(f) = zO' \cdot \sin (\nu),$$

a ponieważ

$$zO' = zO_1 \cdot \frac{\cos \varepsilon}{\cos (\varepsilon - \nu)}, \text{ a } zO_1 = f \cdot \operatorname{ctg} (\varepsilon - \nu),$$

zatem:

$$(f) = f \cdot \sin (\nu) \cdot \frac{\cos \varepsilon}{\sin (\varepsilon - \nu)}. \quad (11)$$

Ponieważ zaś wartość stosunku λ musi być zachowana również i dla tego przypadku fikcyjnego, w którym $\varepsilon = 0$, czyli

$$\lambda = \frac{(M \cdot w)}{(f)} \cdot \frac{1}{\cos (\nu)} = \frac{M \cdot w}{f} \cdot \frac{\cos \varepsilon}{\cos (\varepsilon - \nu)},$$

przeko:

$$(M \cdot w) = \frac{(f) \cdot \cos(\nu) \cdot M \cdot w \cdot \cos \varepsilon}{f \cdot \cos(\varepsilon - \nu)},$$

a po uwzględnieniu (10) i (11):

$$(M \cdot w) = M \cdot w \cdot \sin(\nu) \cdot \frac{\cos \varepsilon}{\sin(\varepsilon - \nu)}. \quad (12)$$

Na podstawie wartości fikcyjnych (ν) , (f) i $(M \cdot w)$ można również obliczyć elementy nastawienia przetwornika tak, jak i w przypadku terenu poziomego, tj. z wzorów podanych w rozdziale 6.

Fikcyjny kąt nachylenia (ν) ma jednak tylko wtedy jakiś sens, jeżeli $\nu < 0$, tj. jeżeli płaszczyzna kliszy jest nachylona w przeciwnym kierunku niż płaszczyzna terenu. Jeżeli bowiem $\nu > 0$, to $\cos(\varepsilon - \nu) > \cos \varepsilon$ i $\cos(\nu) > 1$, czyli wartość (ν) przestaje być realna. Jednocześnie tracą znaczenie i wielkości (f) i $(M \cdot w)$.

W przypadku szczególnym, kiedy $\nu = 0$, wtedy również $(\nu) = 0$ i jednocześnie $(f) = 0$. Wówczas $\sin \nu_z$ i $\sin \nu_e$ są nieoznaczone $(= \frac{0}{0})$.

Zatem nie można wyznaczyć kątów nachylenia kliszy i ekranu na podstawie wartości fikcyjnych.

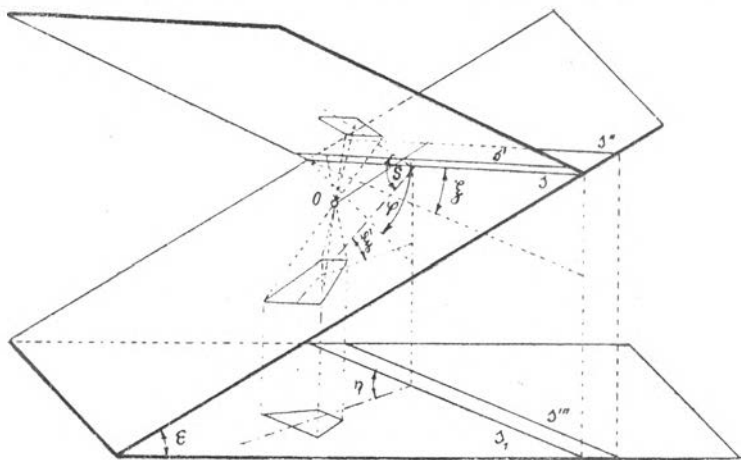
Wreszcie, jeżeli $\nu = \varepsilon$, płaszczyzna kliszy jest wtedy równoległa do płaszczyzny terenu, a zatem zachodzi wówczas przypadek poprzednio omówiony, nie dający się rozwiązać na przetworniku.

W omawianym przypadku przecinania się płaszczyzny kliszy z płaszczyzną terenu wzdłuż linii poziomej kąt skręcenia σ nie ulega zmianie, gdyż jeżeli płaszczyzna kliszy przecina się z płaszczyzną terenu wzdłuż prostej poziomej, to linie zbiegu płaszczyzny terenu i planu będą do siebie równoległe i poziome.

Z kolei przejdziemy do omówienia przypadku ogólnego, kiedy płaszczyzna kliszy przecina się z płaszczyzną terenu wzdłuż prostej niepoziomej. Wtedy również i linia zbiegu nie będzie pozioma. W przeciwieństwie do poprzednio omówionego przypadku krawędź przecięcia płaszczyzny kliszy z płaszczyzną terenu nie będzie prostą, przystającą z jej rzutem prostokątnym na płaszczyźnie planu, lecz tylko będzie zachodziło między nimi podobieństwo. Ale jeżeli między figurami płaskimi, znajdującymi się w kolineacji, nie zachodzi ani podobieństwo, ani powinowactwo, to jednej grupie prostych równoległych odpowiadają proste podobne, a każdej innej — proste będące z nimi w odpowiedniości rzutowej. Z tego względu oś perspektywy zdjęcia i planu musi być równoległa do osi perspektywy zdjęcia i terenu.

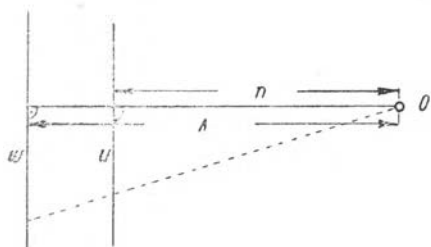
Zachodzące w tym przypadku zależności geometryczne przedstawia rys. 75. Płaszczyzna zdjęcia przecina się z płaszczyzną terenu wzdłuż prostej s , nachylonej do poziomu pod kątem ξ . Rzutem prostokątnym

prostej s na płaszczyznę planu jest s_1 , s' jest osią perspektywy dla płaszczyzny zdjęcia i planu na płaszczyźnie zdjęcia, a s'' — na płaszczyźnie terenu, wreszcie s''' — na płaszczyźnie planu. Proste s'' i s' są do siebie równoległe i leżą w płaszczyźnie przechodzącej przez środek rzutów O .



Rys. 75

Ponadto prosta s' jest rzutem środkowym prostej s'' , wobec czego odpowiedniość, zachodząca między szeregami punktowymi tych prostych, jest jednokładna (podobieństwo środkowe) o środku jednokładności w punkcie O i stosunku jednokładności równym $u : v = n : m$ (rys. 76).



Rys. 76

Między płaszczyzną terenu i planu, a zatem i między odcinkami odpowiednimi prostych s'' i s''' zachodzi natomiast powinowactwo, w którym stosunek odpowiednich odcinków na prostych s''' i s'' , np. $m_1 : m = \cos \xi$, gdzie przez m_1 oznaczono rzut prostokątny odcinka m na płaszczyznę planu.

Skoro zatem prosta s' jest osią perspektywy dla płaszczyzny zdjęcia i planu na płaszczyźnie zdjęcia, a prosta s''' jej odpowiednikiem na płaszczyźnie planu, to ich odcinki odpowiednie muszą być sobie równe, czyli:

$$n = m_1 = m \cdot \cos \xi,$$

zatem:

$$u : v = \cos \xi.$$

Prostej t' , poprowadzonej na płaszczyźnie zdjęcia przez punkt główny prostopadle do osi perspektywy względnie prostej zbiegu będzie

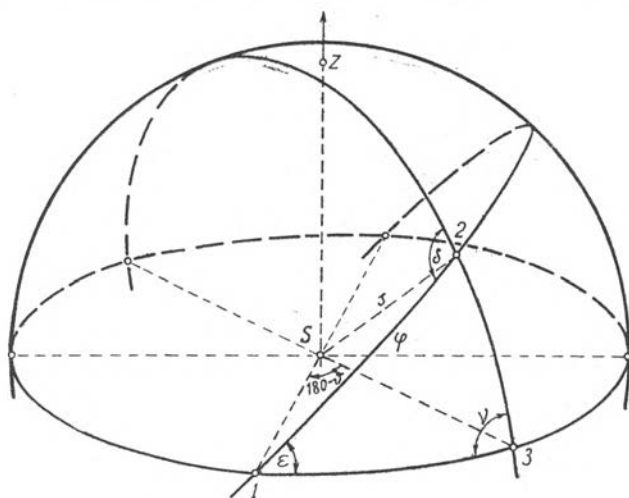
odpowiadała na płaszczyźnie planu prosta t_1 , tworząca kąt $\eta \neq 90^\circ$ z osią s_1 . We wszystkich poprzednio omówionych przypadkach kąt ten zawsze był kątem prostym.

Inne elementy oznaczmy następująco:

- ϑ — różnica kątów kierunkowych (azymutów) linii największego spadku płaszczyzny terenu i zdjęcia,
- δ — kąt nachylenia płaszczyzny kliszy względem płaszczyzny terenu,
- ξ' — kąt nachylenia prostej, leżącej na płaszczyźnie terenu i prostopadłej do s_1 względem płaszczyzny poziomej,
- φ — kąt, jaki tworzy krawędź przecięcia s z prostą poziomą, leżącą na płaszczyźnie terenu,
- η — kąt, na jaki odwzoruje się na płaszczyźnie planu kąt prosty, utworzony przez prostą prostopadłą, poprowadzoną na płaszczyźnie terenu do krawędzi przecięcia płaszczyzny zdjęcia z płaszczyzną terenu.

Z wzorów trygonometrii sferycznej można wyprowadzić następujące zależności między poszczególnymi wielkościami przyjmując za znane: ε , ν i ϑ .

W tym celu prowadzimy przez dowolnie obrany punkt S , na krawędzi przecięcia płaszczyzny terenu z płaszczyzną planu, płaszczyznę równoległą do płaszczyzny zdjęcia, a następnie zataczamy z punktu S kulę o promieniu jednostkowym (rys. 77). Z trójkąta sferycznego 1—2—3,



Rys. 77

utworzonego przez przecięcie powierzchni kuli płaszczyznami planu, terenu i zdjęcia otrzymamy:

$$\cos (180 - \delta) = -\cos \varepsilon \cos \nu + \sin \varepsilon \sin \nu \cos (180 - \vartheta),$$

skąd:

$$\cos \delta = \cos \varepsilon \cos \nu + \sin \varepsilon \sin \nu \cos \vartheta. \quad (13)$$

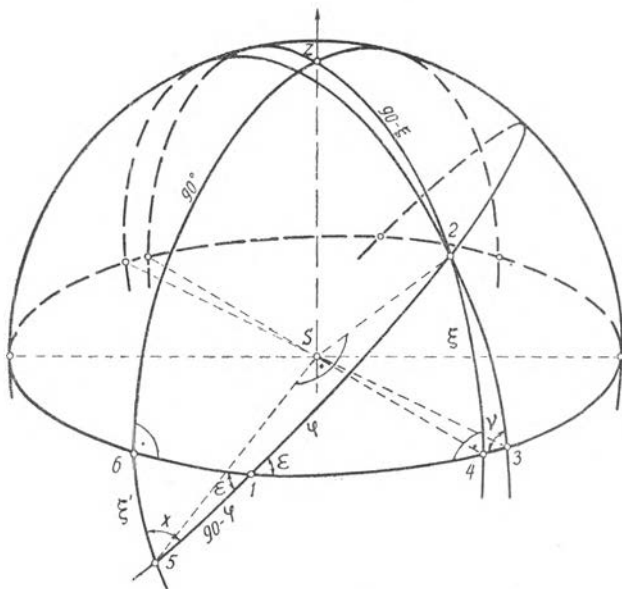
Poza tym:

$$\operatorname{ctg} \varphi \sin \vartheta = \operatorname{ctg} \nu \sin \varepsilon - \cos \vartheta \cos \varepsilon,$$

skąd:

$$\operatorname{ctg} \varphi = \frac{\operatorname{ctg} \nu \sin \varepsilon - \cos \vartheta \cos \varepsilon}{\sin \vartheta}. \quad (14)$$

Uzupełnimy następnie rys. 77 prowadząc płaszczyznę pionową przez krawędź przecięcia s płaszczyzny zdjęcia z płaszczyzną terenu. Otrzymamy w ten sposób kąt ξ . Dalej, wystawiając z punktu S prostą prostopadłą do s i leżącą w płaszczyźnie terenu i prowadząc przez nią płaszczyznę pionową, otrzymamy kąt ξ' (rys. 78).



Rys. 78

Z trójkąta prostokątnego 1 — 2 — 4 możemy napisać:

$$\sin \xi = \sin \varepsilon \cdot \sin \varphi. \quad (15)$$

Następnie z trójkąta 1 — 5 — 6:

$$\sin \xi' = \sin \varepsilon \cdot \cos \varphi. \quad (16)$$

Wreszcie z trójkąta 5 — Z — 2 możemy wyznaczyć kąt η :

$$\sin \eta = \frac{\sin x}{\cos \xi}.$$

Wartość $\sin x$ możemy obliczyć z trójkąta prostokątnego 5 — 6 — 1:

$$\cos \varepsilon = \sin x \cdot \cos \xi',$$

skąd

$$\sin x = \frac{\cos \varepsilon}{\cos \xi'},$$

co po podstawieniu do równania poprzedniego da nam:

$$\sin \eta = \frac{\cos \varepsilon}{\cos \xi \cdot \cos \xi'}. \quad (17)$$

Po ustaleniu tych związków pomocniczych przejdziemy do analizy związków perspektywicznych, jakie występują między płaszczyzną zdjęcia i płaszczyzną terenu a następnie między płaszczyzną zdjęcia i płaszczyzną planu.

Położenie perspektywiczne płaszczyzny zdjęcia względem płaszczyzny terenu przedstawia rys. 79. Jak to zostało już poprzednio wprowadzone:

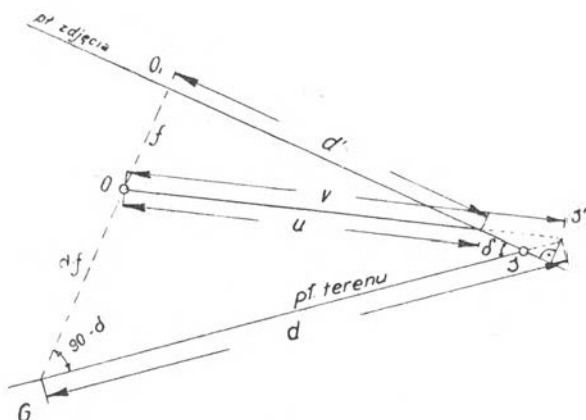
$$u : v = \cos \xi.$$

Dalej z rysunku mamy:

$$d = Gs + ss'' = \frac{f(\lambda + 1)}{\sin \delta} + ss'',$$

ale

$$ss'' = \frac{s''P}{\sin \delta} = f \frac{v - u}{u \cdot \sin \delta} = f \frac{1 - \cos \xi}{\cos \xi \cdot \sin \delta},$$



Rys. 79.

skąd:

$$d = f \cdot \frac{\lambda \cdot \cos \xi + 1}{\cos \xi \cdot \sin \delta}. \quad (18)$$

Z tego samego rysunku:

$$d' = Gs \cdot \cos \delta - s's,$$

a ponieważ:

$$s's = s'P - sP,$$

zaś

$$s'P = d' \cdot \frac{v-u}{u} = d' \cdot \frac{1 - \cos \xi}{\cos \xi}$$

i

$$sP = ss'' \cdot \cos \delta = f \cdot \operatorname{ctg} \delta \cdot \frac{1 - \cos \xi}{\cos \xi},$$

przeto:

$$d' = f \cdot (\lambda + 1) \operatorname{ctg} \delta - d' \cdot \frac{1 - \cos \xi}{\cos \xi} + f \cdot \operatorname{ctg} \delta \cdot \frac{1 - \cos \xi}{\cos \xi},$$

skąd ostatecznie:

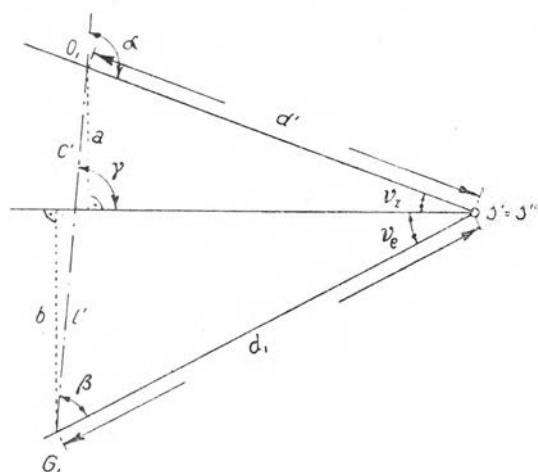
$$d' = f \cdot \operatorname{ctg} \delta \cdot (\lambda \cdot \cos \xi + 1). \quad (19)$$

Położenie perspektywiczne płaszczyzny zdjęcia względem płaszczyzny planu jest przedstawione na rys. 80.

Z rys. 75 wynika, że odległość punktu G_1 od osi perspektywy s'''

$$d_1 = d \cdot \cos \gamma \cdot \sin \eta, \quad (20)$$

ponieważ odcinek d jest nachylony do płaszczyzny planu pod kątem ξ' a rzut jego tworzy z osią s''' kąt η .



Rys. 80

Odległość $O_1s = d'$ tak, jak w położeniu perspektywicznym płaszczyzny zdjęcia względem płaszczyzny terenu, natomiast stosunek $\frac{l'}{c'}$ nie będzie równy λ , lecz

$$\frac{l'}{c'} = \lambda \cdot \cos \gamma. \quad (21)$$

Poza tym, że względu na skośne położenie osi optycznej O_1OG w stosunku do osi perspektywy s''' , w położeniu perspektywicznym płaszczyzny zdjęcia względem płaszczyzny planu, środek

rzutów O musi być przesunięty względem punktu głównego w kierunku równoległym do osi perspektywy o wielkość Δ taką, aby prosta t_1 na płaszczyźnie planu przyjęła położenie prostopadłe do osi perspektywy s''' .

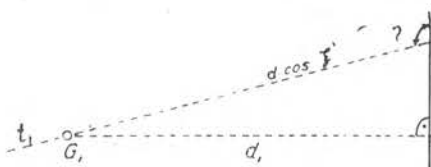
Ponieważ odległość punktu G od osi perspektywy na płaszczyźnie terenu wynosi d , a jej rzut prostokątny na płaszczyznę planu: $d \cdot \cos \xi'$ i tworzy z osią perspektywy kąt η , to wielkość przesunięcia Δ musi być taka, aby odpowiadała na płaszczyźnie planu: $d \cdot \cos \xi' \cdot \cos \eta$ (rys. 81).

Z tego wynika, że:

$$\Delta : d \cdot \cos \xi' \cdot \cos \eta = \frac{c'}{l' + c'},$$

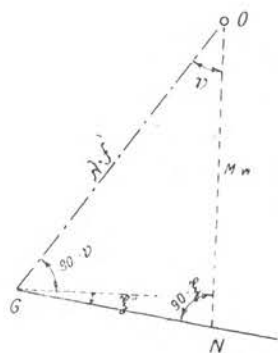
skąd po uwzględnieniu (18) i (21),

$$\Delta = f \cdot \frac{\cos \xi' \cdot \cos \eta}{\sin \xi \cdot \sin \delta}. \quad (22)$$



Rys. 81.

Postaramy się z kolei wyrazić stosunek λ przez f i $M \cdot w$, analogicznie jak w przypadku poprzednim. W tym celu rozpatrzmy rys. 82, przedstawiający przekrój płaszczyzną pionową, poprowadzoną przez oś obiektywu.



Rys. 82

Krawędź przecięcia się tej płaszczyzny z płaszczyzną terenu będzie nachylona do płaszczyzny planu (poziomu) pod kątem ξ'' , który da się wyznaczyć z trójkąta prostokątnego 1 — 7 — 8 (rys. 83). Nowopoprowadzona płaszczyzna będzie przechodziła przez prostą SZ i będzie prostopadła do płaszczyzny zdjęcia, zatem bok $8 - 3 = 90^\circ$, a $8 - 1 = 3 - 90^\circ$.

Ostatecznie więc:

$$\operatorname{tg} \xi'' = \operatorname{tg} \varepsilon \cdot \cos \vartheta.$$

Z rys. 82 otrzymamy bezpośrednio:

$$\frac{M \cdot w}{\lambda \cdot f} = \frac{\cos (\vartheta - \xi'')}{\cos \xi''}.$$

Po rozwinięciu i podstawieniu wartości $\operatorname{tg} \xi''$ będziemy mieli:

$$\frac{M \cdot w}{\lambda \cdot f} = \cos \vartheta + \sin \vartheta \cdot \operatorname{tg} \varepsilon \cdot \cos \vartheta, \quad (23)$$

skąd:

$$\lambda = \frac{M \cdot w}{f} \cdot \frac{\cos \varepsilon}{\cos (\varepsilon - \vartheta) - \sin \vartheta \cdot \sin \varepsilon \cdot (1 - \cos \vartheta)}. \quad (24)$$

Obliczenie elementów nastawienia przetwornika wykonuje się analogicznie jak w poprzednio omówionym przypadku szczególnym.

A więc:

$$\frac{\sin \vartheta_e}{\sin \vartheta_k} = n = \frac{l'}{c'} \cdot \frac{d'}{d_1} = \lambda \cdot \cos \xi \cdot \frac{f \cdot \operatorname{ctg} \delta \cdot (\lambda \cdot \cos \xi + 1) \cdot \cos \xi \cdot \sin \delta}{f \cdot \cos \xi' \cdot \sin \eta \cdot (\lambda \cdot \cos \xi + 1)}.$$

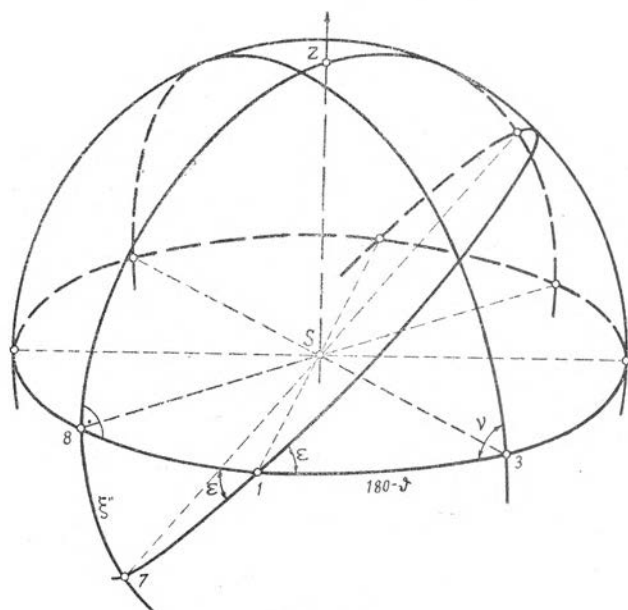
skąd po podstawieniu (17) i (24):

$$n = \frac{M \cdot w}{f} \cdot \frac{\cos^3 \xi \cdot \cos \hat{\sigma}}{\cos(\varepsilon - \nu) - \sin \nu \cdot \sin \varepsilon \cdot (1 - \cos \hat{\sigma})}; \quad (25)$$

$$\sin \nu_e = f_p \cdot \left(\frac{1}{d_1} + \frac{n}{d'} \right) = f_p \cdot \left(\frac{1}{d_1} + \frac{l'}{c' \cdot d_1} \right) = f_p \cdot \frac{c' + l'}{c' \cdot d_1}$$

$$= f_p \cdot \frac{\frac{l'}{c'} + 1}{d_1} = f_p \cdot \frac{\lambda \cdot \cos \xi + 1}{d_1} = \frac{f_p}{f} \cdot \frac{\cos^2 \xi \cdot \sin \hat{\sigma}}{\cos \varepsilon},$$

$$\sin \nu_z = \frac{\sin \nu_e}{n} = \frac{f_p}{f \cdot n} \cdot \frac{\cos^2 \xi \cdot \sin \hat{\sigma}}{\cos \varepsilon}. \quad (26)$$



Rys. 83

Następnie, tak jak przy wyprowadzaniu wzoru (4), obliczamy:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma &= \frac{d_1 \cdot \sin \nu_e + d' \cdot \sin \nu_z}{d_1 \cdot \cos \nu_e - d' \cdot \cos \nu_z} \\ &= \left[\left(1 + \frac{1}{n} \cdot \frac{\cos \hat{\sigma} \cdot \cos^2 \xi}{\cos \varepsilon} \right) : \left(1 - \frac{1}{n'} \cdot \frac{\cos \hat{\sigma} \cdot \cos^2 \xi}{\cos \varepsilon} \right) \right] \operatorname{tg} \nu_e, \quad (27) \end{aligned}$$

gdzie

$$n' = \frac{\cos \nu_e}{\cos \nu_z}, \quad (28)$$

analogicznie otrzymamy:

$$c' = \frac{f_p}{\sin \gamma} \cdot \left(1 + \frac{1}{n} \cdot \frac{\cos \delta \cdot \cos^2 \xi}{\cos \varepsilon} \right); \quad (29)$$

$$l' = \lambda \cdot \cos \xi \cdot c' = c' \cdot n \cdot \frac{\cos \varepsilon}{\cos \delta \cdot \cos^2 \xi}; \quad (30)$$

$$\beta = \gamma - \nu_e \quad (31)$$

$$\alpha = \gamma + \nu_z. \quad (32)$$

W porównaniu do poprzednio omówionego przypadku szczególnego, do nastawienia przetwornika należy obliczyć poza α , β , γ , c' i l' jeszcze wielkość przesunięcia Δ z wzoru (22).

Widzimy więc, że zasadniczo można opracowywać na przetworniku zdjęcia lotnicze terenów nachylonych i że w ogólnym przypadku konstrukcja przetwornika użytego w tym celu powinna pozwalać na przesuwanie kliszy (względnie obiektywu) w kierunku równoległym do osi nachylenia, tj. przetwornik powinien posiadać wszystkie pięć stopni swobody. Praktycznie jednak nie należy projektować opracowania planów terenów niepoziomych drogą przetwarzania zdjęć, ponieważ:

1. mogą zajść przypadki szczególne, w których trzeba by stosować przetwarzanie kilkakrotne,
2. mogą zajść przypadki, w których dla uzyskania perspektywicznego położenia kliszy względem ekranu należałoby nadać płaszczyźnie kliszy i ekranu takie nachylenie, na które konstrukcja przetwornika już nie pozwala,
3. teren niepoziomy prawie zawsze nie jest również i płaski, a wtedy nie będą już w mocy twierdzenia podstawowe, dotyczące figur płaskich.

W pewnych przypadkach stosuje się przetwarzanie nie na podstawie foto-punktów, a przynajmniej nie w ilości czterech na każde zdjęcie. Ilość foto-punktów może być ograniczona w przypadku znajomości niektórych elementów orientacji zewnętrznej. Można tu posilkować się wzorami ogólnymi: (1) do (8), podanymi w rozdziale 6, przez podstawienie pewnych elementów, otrzymanych taką czy inną drogą.

Pewne korzyści praktyczne dają na razie tylko dwie metody wyznaczania elementów orientacji: przez fotografowanie horyzontu (kamera Nenonena) i wyznaczanie nadiru zdjęcia przy pomocy giroskopu.

W pierwszym przypadku wyznaczamy na podstawie zdjęć horyzontu kąt skręcenia σ i nachylenie płaszczyzny kliszy ν . Na podstawie tych danych możemy obliczyć wszystkie elementy nastawienia przetwornika dla przybliżonej wartości wysokości lotu w i otrzymać w ten sposób zdjęcie, jakby wykonane przy ściśle poziomym położeniu płaszczyzny

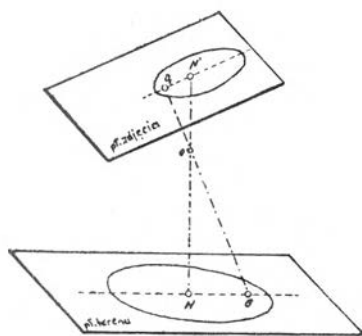
kliszy, a więc plan fotograficzny w jakiejś skali. Dla uzyskania przetworzenia w skali żądanej jest potrzebna już tylko znajomość długości jednego odcinka na zdjęciu i w terenie, względnie spólrzędne dwu tylko foto-punktów zamiast czterech.

Ponadto jeżeli przy wykonywaniu zdjęć były rejestrowane wskazania statoskopu, to na podstawie tych danych można obliczyć zmiany wysokości lotu dla poszczególnych zdjęć. W takich przypadkach teoretycznie wystarczałyby znajomość spólrzędnych dwu foto-punktów tylko dla pierwszego zdjęcia w szeregu. Na ich podstawie można by było obliczyć dokładnie wysokość, z jakiej wykonano pierwsze zdjęcie, a wysokość każdego następnego zdjęcia otrzymalibyśmy ze wskazań statoskopu. Ewentualne dalsze foto-punkty na innych zdjęciach szeregu miałyby znaczenie kontrolne i mogłyby służyć do przeprowadzenia ewentualnego wyrównania.

Podobne uproszczenia można stosować, jeżeli podczas wykonywania zdjęć lotniczych były rejestrowane wskazania giroskopu. Na ich podstawie oznacza się na zdjęciach położenia punktów nadirowych, a z nich w prosty już sposób można obliczyć kąty skreślenia i nachylenia.

Metoda ta jest stosowana obecnie przy sporządzaniu planów w dużych skalach okolic zniszczonych przez działania wojenne dla Ministerstwa Odbudowy we Francji. Jednocześnie z uwagi na to, że zdjęcia lotnicze są prawie pionowe o nachyleniu nie przekraczającym 4° , przetwarzanie wykonuje się w sposób uproszczony.

Wyobraźmy sobie na płaszczyźnie poziomej terenu koło o środku w punkcie nadirowym. Obrazem tego koła na płaszczyźnie kliszy będzie elipsa, którą nie trudno jest wykreślić znając kąty skreślenia i nachylenia zdjęcia.



Rys. 84

Duża oś elipsy będzie przechodziła przez punkt główny i punkt nadirowy zdjęcia. Dla różnych kątów nachylenia są przygotowane odpowiednie elipsy na czystym filmie. Po wyznaczeniu na zdjęciu położenia punktu nadirowego i obliczeniu kąta nachylenia nakłada się odpowiednią elipsę na negatyw tak, aby jej środek pokrywał się z punktem nadirowym, a duża średnica elipsy przechodziła przez punkt główny, i wraz z negatywem wkłada do przetwornika. Przetworzenie będzie polegało na dobraniu takiego kąta

nachylenia kliszy i ekranu, aby obraz elipsy przerzutowany na ekran był okręgiem koła. Do doprowadzenia do żądanej skali jest potrzebna już tylko znajomość długości jednego odcinka, który otrzymamy bądź z istniejącego starego planu, bądź też z pomiarów w terenie.

Jak widać, metoda ta odznacza się niesłychaną prostotą i może być wykonywana przez personel o małych kwalifikacjach technicznych, przy czym praca w terenie zostaje sprowadzona do minimum. Brak bardziej szczegółowych sprawozdań nie pozwala na razie nic powiedzieć o dokładności tej metody.

9. ZESTAWIANIE FOTOPLANÓW I OPRACOWYWANIE PLANÓW RYSUNKOWYCH

W przypadkach, kiedy nie zależy na dokładności, a potrzebne są aktualne plany jedynie dla celów orientacyjnych, np. dla ustalenia ogólnych wytycznych jakiegoś projektu urbanistycznego czy też robót inżynierskich, względnie dla opracowywania planów zagospodarowania terenu w sensie urządzeń kulturalno-oświatowych, społecznych itp., można zestawiać z odbitek stykowych zdjęć lotniczych tzw. *fotoszki ce*.

Sporządzenie takich fotoszkieców polega na naklejeniu poszczególnych odbitek stykowych całego zespołu zdjęć z danego obszaru na sztywny karton tak, aby tworzyły jednolity obraz fotograficzny terenu. Przy zestawianiu fotoszkiecu kierujemy się tylko sytuacją na brzegach poszczególnych odbitek. Najpierw należy odbitki starannie ułożyć, przyciskając je ciężarkami uważając, aby szczegóły powtarzające się na zdjęciach sąsiednich dokładnie się pokrywały. Następnie, zależnie od charakteru terenu i jakości zdjęć (pod względem fotograficznym), odcinamy zbędne części odbitek wzdłuż dowolnych linii kierując się przy tym jedynie względami estetycznymi. Jak wynika z praktyki, fotoszkiece przedstawiają się efektowniej, jeżeli zdjęcia są tak poprzycinane, że nie zachodzą na siebie więcej niż na 5 do 10 mm. Przed przystąpieniem do naklejania odbitek zaznaczamy ołówkiem na kartonie, na którym mają one być naklejone, obrysy zdjęć i ewentualnie wyloty kilku charakterystycznych linii sytuacyjnych, jak drogi, rzeki itp. Po zakończeniu tych czynności dobrze jest pościąć (z grubości) ostrym nożem brzegi odbitek, które po naklejeniu znajdują się na wierzchu, aby powierzchnia fotoszkiecu była możliwie równa. Do naklejania najbardziej nadaje się klej stolarski, którego używa się na gorąco. Klejem tym smaruje się odbitki i szybko nakłada w miejsca poprzednio zaznaczone zwracając uwagę, aby zaznaczone przedtem wyloty charakterystycznych szczegółów odpowiadały ich obrazom na zdjęciach.

Aby fotoszkiece po sklejeniu nie skreślały się ważne jest dobranie odpowiedniego kartonu. Nie tyle odgrywa tu rolę grubość kartonu, ile jego struktura. Można uzyskać prawie idealną płaskość fotoszkiecu drogą sklejenia z sobą dwu cienkich nawet arkuszy.

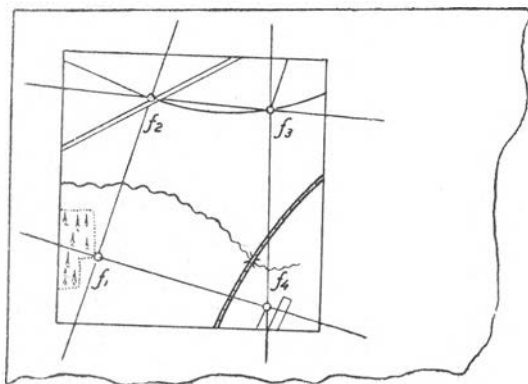
Jeżeli teren był poziomy i zdjęcia zostały starannie wykonane, tj. prawie ściśle pionowe i z tej samej wysokości, to fotoszkiecy takie mogą być nawet dość dokładne, przeważnie jednak będą one w jakiejś skali niezaokrąglonej, np. 1:9 870. Oczywiście dokładność taka czy inna będzie tu rzeczą przypadku i przy wykorzystywaniu fotoszkieców należy sobie z tego zdawać sprawę.

Produktem pełnowartościowym jest fotoplan, który otrzymuje się przez sklejenie zdjęć przetworzonych. Przygotowanie do sklejenia poszczególnych zdjęć przetworzonych jest takie samo jak i przy sporządzaniu fotoszkiecu. Główna i zasadnicza różnica polega na tym, że przy zestawianiu fotoplanu kierujemy się nie tylko sytuacją, ale i położeniem foto-punktów.

Foto-punkty, które służyły do przetworzenia zdjęć, nanosimy za pomocą koordynatografu na arkusze i poszczególne zdjęcia przetworzone wpasowujemy tak, aby obrazy foto-punktów na zdjęciach pokrywały się z ich odpowiednikami naniesionymi ze współrzędnych. Ponieważ od dokładności wpasowania będzie zależała dokładność fotoplanu, czynność ta powinna być wykonana bardzo starannie. Można to zrobić kilkoma sposobami.

Sposób najprymitywniejszy polega na wpasowywaniu zdjęć przetworzonych za pomocą igieł, które przetyka się przez obrazy foto-punktów, następnie, przesuwając zdjęcie przetworzone i podglądając od spodu, doprowadza się je do właściwego położenia.

Inny sposób polega na wykreśleniu ołówkiem kilku prostych, przechodzących przez odpowiednie foto-punkty na arkuszu i na zdjęciu



Rys. 85

przetworzonym, jak to pokazane na rys. 85. Jeżeli następnie zdjęcie przetworzone zostanie ułożone tak, aby przecięcia wykreślonych na nim prostych: f_1f_2 , f_3f_4 , f_2f_4 itd. z krawędzią zdjęcia znalazły się na odpowiednich prostych wykreślonych na arkuszu, to tym samym uzyskamy pokrywanie się obrazów foto-punktów na zdjęciu z ich odpowiednikami na arkuszu.

Jeszcze inny sposób polega na posługiwaniu się siatką kwadratów. Przy nanoszeniu foto-punktów na arkusze, na których mają być zestawiane fotoplany jak również i na arkusze, na podstawie których wy-

konuje się przetwarzanie zdjęć na przetworniku, nanosi się decymetrową siatkę kwadratów. Po wykonaniu zestrojenia na przetworniku papier światłoczuły przykrywa się płytą szklaną z naciętą na niej siatką kwadratów, którą orientuje się dokładnie według spólrzędnych foto-punktów. Po naświetleniu na zdjęciu przetworzonym otrzyma się obraz siatki kwadratów, która następnie posłuży do odpowiedniego wpasowania zdjęcia przetworzonego przy zestawianiu fotoplanów. Spółób ten jest jednak dość uciążliwy i mało stosowany. Należy tu poza tym uwzględnić spółczynnik skurczu papieru fotograficznego użytego do przetwarzania.

W pewnych przypadkach stosuje się przetwarzanie części zdjęć od razu na wspólną płytę, oklejoną papierem światłoczułym. Metoda ta stosowana była przez Service topographique fédéral w Szwajcarii, a próby o wyniku pomyślnym były wykonane również i u nas w Zakładzie Geodezji Politechniki Warszawskiej w r. 1932 [16]. W tym celu papier światłoczuły, o wymiarach sekcji fotoplanu, nakleja się w ciemni na blachę aluminiową i przykrywa papierem nieprzezroczystym (czarnym względnie czerwonym). Podkład do przetwarzania sporządza się na kartonie tej samej grubości co płyta aluminiowa i ustala na nim fragmenty, które mają być otrzymane na fotoplane z poszczególnych zdjęć. Nieprzezroczysty papier osłaniający płytę nacina się tak, aby można było odsłaniać figury, które mają być naświetlone z poszczególnych negatywów. Po zestrojeniu każdego zdjęcia umieszcza się ściśle na miejsce podkładu płytę światłoczułą i przez odpowiednie okienko w papierze osłaniającym ją naświetla tylko dany fragment zdjęcia. Po naświetleniu wszystkich zdjęć wywołuje się od razu cały fotoplan.

Przy tej metodzie unika się deformacji zdjęć przetworzonych w kąpielach fotograficznych i całej procedury zestawiania fotoplanu. Metoda ta wymaga jednak bardzo dużej staranności i dużej wprawy w obieraniu czasu naświetlenia fragmentów poszczególnych zdjęć. Każda niedokładność bardzo jaskrawo występuje potem na fotoplane.

Do naklejenia papieru światłoczułego na blachy aluminiowe nadaje się najbardziej wodny roztwór żelatyny, który po wysuszeniu rozpuszcza się w wodzie dopiero w temperaturze powyżej $+ 40^{\circ}$ C, dzięki czemu znosi doskonale kąpiele o temperaturze pokojowej.

W ten czy inny sposób sporządzony fotoplan, o ile ma on stanowić już końcowy produkt opracowania fotogrametrycznego, trzeba jeszcze ostatecznie wykończyć przez wyretuszowanie ewentualnych rys, zadrapań, skaz i drobnych niedokładności na stykach poszczególnych zdjęć. Poza tym, jak każdy plan pomiarowy, należy go uzupełnić napisami podającymi nazwę obszaru, Nr sekcji, skalę, datę wykonania itp. oraz umieścić na samym fotoplane nazwy miejscowości, Nr Nr punktów po-

miarowych, granice administracyjne i inne potrzebne dane, zależnie od przeznaczenia fotoplanu.

Na ogół jeden egzemplarz fotoplanu nie wystarcza. Zwykle potrzeba jest kilku egzemplarzy. Ponieważ koszt sporządzenia fotoplanu jest dość znaczny, dalsze egzemplarze uzyskuje się zwykle drogą reprodukcji fotograficznej na odpowiednich aparatach reprodukcyjnych, jakie posiada każdy niemal zakład reprodukcyjny. W pewnych wypadkach, jeżeli dane biuro nie dysponuje odpowiednimi środkami, można tu zastosować pewną metodę pośrednią. Mianowicie można sfotografować fotoplan zwykłym aparatem fotograficznym (aby tylko obiektyw nie miał zbyt dużej dystorsji) i otrzymane zdjęcie powiększyć na przetworniku bacząc aby wymiary ramek sekcyjnych odpowiadały wielkościom nominalnym.

Z różnych względów opracowanie nie kończy się na zestawieniu fotoplanu, ale wymagane jest jeszcze opracowanie planu rysunkowego w formie takiej, w jakiej są sporządzane plany pomiarowe, wykonane na podstawie zwykłych pomiarów na gruncie.

W tych przypadkach opracowanie planu rysunkowego musi być poprzedzone odczytaniem zdjęć w terenie. Odczytanie to przeprowadza się na luźnych przetworzonych zdjęciach lotniczych względnie na ich powiększeniach. Technik wykonujący odczytanie musi być świadom treści, jaką ma zawierać plan rysunkowy. Zdjęcie lotnicze zawiera wszystkie szczegóły widoczne na powierzchni terenu. Naniesienie ich na plan zabrałoby wiele czasu i zaciemniło sam plan. Na planie, zależnie od jego przeznaczenia, muszą być podane tylko niektóre spośród widocznych na zdjęciu szczegółów, a za to powinny być ewentualnie uwidocznione inne, na zdjęciach niewidoczne. Łąkę zarosłą krzakami wystarczy oznaczyć na planie odpowiednim znakiem umówionym, natomiast dla tych, którzy mają korzystać z tego planu, mogą być ważne inne szczegóły, których ze zdjęcia lotniczego nie da się odczytać, jak np. studzienki kanałowe w miastach, przewody elektryczne itp. Odczytanie zdjęć jest zatem niejako kompozycją planu. Technik ze zdjęciami obchodzi cały teren i oznacza ołówkiem (ewentualnie ołówkami kolorowymi) wszystkie te szczegóły, które mają być uwidocznione na planie, a więc np.: parkany, z podaniem ich rodzaju (drewniany, murowany, żelazny), miedze stanowiące granice własności, ewentualnie nazwiska właścicieli, kategorie dróg, ilości kondygnacji budynków, rodzaje mostów, przepustów itd. Szczegóły nie uwidocznione na zdjęciach należy podczas odczytywania domierzyć do odwzorowanych na zdjęciach w podobny sposób jak to się robi przy sporządzaniu opisów topograficznych punktów pomiarowych. Jeżeli odczytanie zdjęć zostało dobrze wykonane, to sporządzenie planów rysunkowych sprowadzi się do czynności czysto mechanicznej, którą można wykonać różnymi sposobami.

Można np. przenosić szczegóły sytuacyjne ze zdjęć przetworzonych na plan za pomocą pantografu względnie małym koordynatografem. W tym drugim przypadku korzystnie, jeżeli pracują jednocześnie dwie osoby, mające do dyspozycji dwa jednakowe koordynatografy. Jedna z nich odczytuje przy pomocy jednego koordynatografu współrzędne poszczególnych punktów z odbitek przetworzonych, a druga od razu nastawia je na drugim koordynatografie i nakłuwa na planie.

Niegorzsze wyniki można uzyskać używając do przenoszenia punktów tzw. kodatrasu, tj. pewnego rodzaju kalki (coś w rodzaju błony), bardzo przezroczystej i prawie nie deformującej się. Odpowiednio przycięty arkusz kodatrasu przykleja się brzegami do zdjęcia przetworzonego, wykreśla na nim wszystkie szczegóły, które mają być przeniesione na plan, oraz położenia foto-punktów, a następnie, posiłkując się foto-punktami, nakłada na odpowiednie miejsce arkusza planu i przekłuwa wszystkie szczegóły.

Używanie do tego pojedynczych zdjęć przetworzonych, a nie już zestawionego fotoplanu, ma na celu uniknięcie błędów samego zestawienia, głównie sklejania. Mimo staranności nie da się wykonać naklejania zdjęć w sposób idealny, zwłaszcza że używa się do tego kleju płynnego lub półpłynnego, pod wpływem którego odbitka ma tendencję rozszerzania się. Czynność tę należy wykonywać z tego względu możliwie szybko, wskutek czego nie ma czasu na bardzo staranne dopasowywanie, a co za tym idzie, są nieuniknione pewne niedokładności. Na ogół przyjmuje się, że średni błąd położenia punktu na fotoplane wynosi ± 1 mm. Stosując do opracowania planów rysunkowych wyżej opisane metody można dokładność nieco zwiększyć.

Przy pracach topograficznych w skalach od 1 : 10 000 do 1 : 25 000 lub jeszcze mniejszych stosuje się często inną metodę. Wykonuje się z fotoplanu odbitkę cjanotypową na papierze rysunkowym, odpowiednio naczulonym. Na niej wykreśla się całą treść planu, a następnie tło zmywa się w roztworze soli. Podobnie można postępować, jeżeli przetwarzanie było wykonane na wspólną płytę w sposób wyżej opisany. Obraz wtedy jest znacznie wyraźniejszy i praca przyjemniejsza, mniej męcząca wzrok. Po wykreśleniu planu czy mapy obraz fotograficzny „wybiela się” osłabiaczem Farmera względnie innymi znanymi w fotografii.

Przy pracach topograficznych w skalach od 1:10 000 do 1:25 000 lub trasu na fotoplan i wykreślić na nim plan rysunkowy. Daje to jeszcze tę korzyść praktyczną, że z oryginału w ten sposób sporządzonego można od razu wykonywać światokopie (odbitki ozalidowe), których zawsze przy opracowywaniu różnych projektów potrzeba bardzo wiele.

Jak wynika z istoty samej metody drogą przetwarzania uzyskujemy jedynie plany sytuacyjne, a do wielu bardzo zagadnień jest konieczna

również i rzeźba terenu w postaci warstwic. W tych przypadkach warstwicze trzeba wyznaczyć jedną ze znanych w geodezji metod.

Ponieważ tereny nadające się do opracowania metodą przetwarzania muszą być stosunkowo płaskie, bo, jak wynika z rozważań przeprowadzonych w rozdziale 1, wszelkie różnice wysokości wywołują pewne błędy położenia, przeto można tu stosować nieco uproszczoną metodę tachimetrycznego wyznaczenia warstwic przy pomocy niwelatora. Ze względu na bogactwo szczegółów odwzorowanych na zdjęciach lotniczych można z łatwością zidentyfikować zarówno stanowisko niwelatora jak i punktów, na których ustawia się łąty. Odpada więc potrzeba odczytywania kątów poziomych i mierzenia odległości. Używając ponadto do pomiarów niwelatora upraszcza się również stronę obliczeniową, bo różnice wysokości punktów, na których ustawiona została łąta względem poziomu instrumentu, są po prostu równe odczytowi na łącie. Jeżeli jeszcze do tego użyć łąt o przesuwany podział względem podstawy (jakie były produkowane przez fabrykę Zeissa do tachimetru Dahlta), to można doprowadzić do tego, że odczyt na łącie będzie od razu wysokością danego punktu + pewna stała dla danego stanowiska ilość metrów.

W ten sposób wyczerpaliliśmy zagadnienie opracowywania planów sytuacyjnych dla terenów płaskich. Należy z kolei omówić możliwości stosowania metody przetwarzania w terenach lekko falistych.

W rozdziale 1 podany był wzór na wielkość błędu na skutek różnic wysokości:

$$\Delta s = \Delta h \cdot \operatorname{tg} \zeta,$$

z którego wynika, że wielkość jego zależy od różnicy wysokości Δh punktu P i odległości tego punktu od punktu nadirowego względnie osi zdjęcia.

Zależnie od skali opracowywanego planu i wymaganej dokładności łatwo można obliczyć jakie różnice wysokości mogą być jeszcze tolerowane. Granice tolerancji można zwiększyć stosunkowo łatwo przez zwiększenie pokrycia między zdjęciami. Wtedy do opracowania fotoplanu czy też planu rysunkowego będą wykorzystywane jedynie części środkowe zdjęć, a więc $\operatorname{tg} \zeta$ będzie mniejszy, a co za tym idzie dopuszczalne Δh będzie odpowiednio większe. Dla punktu nadirowego $\operatorname{tg} \zeta = 0$ i $\Delta s = 0$ niezależnie od wielkości Δh . Nie można się w tym jednak posuwać zbyt daleko, bo wtedy trzeba by było wykonywać zbyt dużo zdjęć, co znacznie podniosłoby koszt opracowania, i metoda ta stałaby się nieekonomiczna.

Istnieje kilka sposobów opracowania terenów falistych, które pokrótce omówimy. W każdym z nich jest wymagana choć przybliżona znajomość rzeźby terenu, co jest możliwe, jeżeli dla opracowywanego terenu istnieją dość dokładne mapy warstwicowe w skali 1 : 25 000.

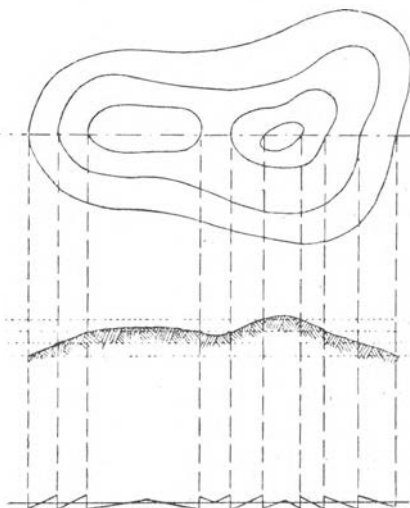
W tych przypadkach trzeba przede wszystkim wyznaczyć wysokości foto-punktów drogą pomiarów w terenie względnie na podstawie mapy. Dalej należy ustalić jakiś poziom odniesienia i w stosunku do niego, na podstawie przybliżonych elementów orientacji zdjęcia, obliczyć wielkości radialnych przesunięć foto-punktów, wynikających z ich różnic wysokości w stosunku do przyjętego poziomu. Wielkości tych przesunięć nanosimy na podkład, przy pomocy którego zestrajamy zdjęcie w przetworniku. Takie przetworzenie będzie zupełnie ścisłe dla warstwiczy odpowiadającej przyjętemu poziomowi. W dopuszczalnych granicach dokładności można przyjąć, że będzie ono słuszne dla pewnego pasa powierzchni terenu o wysokościach $\pm \Delta w$ w stosunku do poziomu odniesienia.

Po takim przetworzeniu zmieniamy poziom odniesienia o $2\Delta w$ i ponownie obliczamy wielkości radialnych przesunięć foto-punktów w prosty już bardzo sposób, gdyż $\text{tg} \zeta$ pozostaje bez zmiany, a zmienia się tylko Δh o wielkość $2\Delta w$. Zestrojenie również będzie ułatwione, bo wystarczy na ogół jedynie zmiana skali. Postępując w ten sposób dalej, możemy uzyskać przetworzenia całej interesującej nas powierzchni.

W metodzie tej doprowadzamy jakby do spłaszczenia powierzchnię terenu, jak to pokazano na rys. 86.

Po wykonaniu każdego zestrojenia podkładamy papier światłoczuły i sporządzamy przetworzenia, z których następnie, posiłkując się istniejącym planem warstwicowym, można powycinać obrazy pasów odpowiadających przyjętym poziomom i razem skleić.

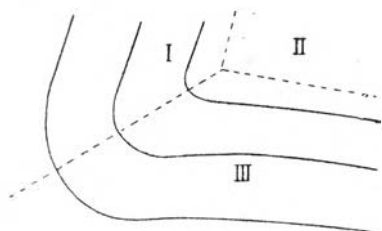
R. Martin w pracy pt.: „Coup d'oeil d'ensemble sur la Photogrammétrie Aérienne et Terrestre“ opisuje szczegółowo metodę takiego przetwarzania. Do przetwornika wkłada się zdjęcie przetworzone np. dla najniższego poziomu odniesienia. Wówczas przy równoległym położeniu płaszczyzny kliszy względem płaszczyzny ekranu otrzymuje się na ekranie właściwy plan pierwszego pasa. Przed naświetleniem zasłania się partie odpowiadające innym poziomom pozostawiając odkryte jedynie części odpowiadające położeniu pierwszego pasa. Następnie, zmieniając powiększenie na podstawie analitycznie obliczonych



Rys. 86

równoległych przesunięć ekranu i kliszy uzyskuje się właściwe obrazy następnych pasów, które naświetla się w ten sam sposób na tym samym arkuszu papieru światłoczułego. Postępując w ten sposób dalej dochodzi się do naświetlenia całości i po wywołaniu otrzymuje na jednym arkuszu fotoplan terenu odwzorowanego na danej kliszy.

Jeżeli posiadamy plan warstwiczny zdejmowanego terenu, to można również opracować fotoplan i w inny sposób. Ponieważ na przetworniku można na ogół opracowywać zdjęcia terenów płaskich nie tylko poziomych, ale i nachylonych, przeto w granicach dopuszczalnej tolerancji można go podzielić na partie, jak to pokazane na rys. 87. Zdję-



Rys. 87

cia lotnicze przetwarza się wtedy według foto-punktów, zredukowanych do jakiegoś poziomu, na zdjęcie ściśle pionowe. Na zdjęciu tym wybiera się fotopunkty dla części I, II i III, odczytuje ich współrzędne (najlepiej w układzie współrzędnych biegunowych o początku w punkcie nadirowym), oblicza się przesunięcia radialne na podstawie wysokości wyinterpolowanych z planu

warstwicowego i sporządza podkłady do przetworzenia poszczególnych części, z których zestawia się już w sposób normalny fotoplan, nie obciążony błędami wynikającymi z różnic wysokości.

Do przetwarzania terenów falistych, dla których istnieją już plany warstwiczne, został skonstruowany przez O. Lacmanna [10] specjalny przetwornik, w którym rzutuje się na ekran kolejno tylko niewielkie części zdjęcia za pomocą specjalnego urządzenia projekcyjnego, dającego się odpowiednio regulować w zależności od średniego poziomu przetwarzanego w danym momencie fragmentu. Po naświetleniu wszystkich fragmentów wywołuje się całość i otrzymuje na jednym arkuszu fotoplan złożony nie z pasów, jak w metodzie poprzedniej, lecz przylegających do siebie pól kwadratów.

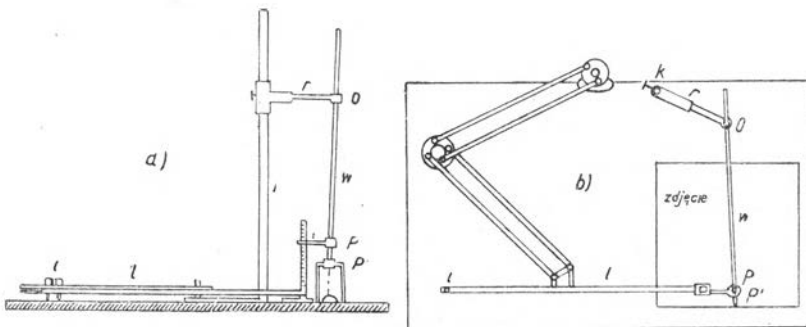
Wszystkie te metody nie zyskały praktycznego znaczenia, ponieważ są dość żmudne, a co za tym idzie — nieekonomiczne i wymagają posiadania względnie dokładnego planu warstwicowego. Do opracowywania planów terenów nie tylko falistych, ale nawet górzystych, posiada fotogrametria inne metody, zupełnie dokładne, oparte na efekcie stereoskopowym.

W pewnych przypadkach, jeżeli są wykonywane zdjęcia bardzo dużych obszarów, zupełnie płaskich, na których znajdują się tylko niewielkie fragmenty o znacznych różnicach wysokości, można przy opracowywaniu planów rysunkowych na podstawie zdjęć przetworzonych wprowadzić poprawki dla poszczególnych punktów.

Do tego celu został zbudowany we Francji specjalny przyrząd bardzo prostej konstrukcji, tzw. pantograf-restitutor, który pozwala na obliczanie i wprowadzanie poprawek ze względu na różnice wysokości w sposób zupełnie mechaniczny.

Rys. 88 a i b przedstawia schematycznie przyrząd ten w rzutach pionowym i poziomym.

Na pionowej kolumnie k jest umieszczone ramię r , które można przesuwac w kierunku pionowym tak, że można je ustawić na wysokość odpowiadającą (w skali) wysokości, z jakiej zostało wykonane zdjęcie.



Rys. 88

Na końcu ramienia r znajduje się przegub Kardana, który odtwarza nam jakby położenie środka rzutów O . Przez przegub ten przechodzi metalowe wodzidło W , którego zadaniem jest jakby materializowanie promieni rzucających od punktu przedmiotu P w przestrzeni do obrazu tego punktu P' na zdjęciu przetworzonym.

Koniec wodzidła spoczywa w punkcie P' znajdującym się na stoliczku, który można przesuwac po płaszczyźnie stołu, a zatem koniec wodzidła będzie się poruszał w płaszczyźnie równoległej do płaszczyzny stołu. Budowa stoliczka jest taka, że w jego spodniej części znajduje się lupa płasko-wypukła z naciętym na dolnej płaskiej powierzchni kąłkiem, odpowiadającym rzutowi prostokątnemu punktu P' na płaszczyznę stołu.

Jeżeli umieścimy na stole zdjęcie przetworzone dla jakiegoś poziomu odniesienia (będzie to odpowiadało zdjęciu wykonanemu z wysokości $w = f/M$ przy ściśle poziomym położeniu kliszy), a następnie ustawimy ramię r tak, aby środek przegubu O znajdował się pionowo nad punktem głównym zdjęcia w odległości $M \cdot w$ od poziomu górnej płaszczyzny stoliczka, to po nastawieniu stoliczka na jakiś punkt zdjęcia P' wodzidło W przyjmie położenie promienia rzucającego. Jeżeli punkt P nie leżał na płaszczyźnie odniesienia, ale był od niej oddalony o wielkość Δh , to położenie punktu P na planie można otrzymać przez przecięcie

promienia rzucającego (wodzidła) płaszczyzną poziomą, poprowadzoną w odległości $M \cdot \Delta h$ od płaszczyzny odniesienia.

W opisywanym przyrządzie z liniałem l aparatu Culmana jest połączona pionowa kolumnienka, po której można przesuwac w kierunku pionowym ramię q , zakończone pierścieniem P obejmującym wodzidło. Jeżeli ramię q nastawimy przy pomocy podziałki, znajdującej się na kolumnienke na odległość $M \cdot \Delta h$ od poziomu P' , to przecięcie wodzidła z pierścieniem wyznaczy nam położenie punktu P na planie. Punkt ten zostanie naniesiony na arkuszu papieru, ułożonym z boku, przy pomocy ołówka względnie igielki i , umieszczonej na drugim końcu liniału l .

Sposób użycia tego instrumentu nie wymaga specjalnych wyjaśnień. Pod instrumentem układa się zdjęcie przetworzone tak, aby przegub O znajdował się nad punktem głównym. Z boku układa się papier rysunkowy. Arkusz planu należy tak zorientować, aby przy nastawieniu stoliczka na obraz foto-punktu na zdjęciu przetworzonym ołówek znajdował się nad odpowiednim foto-punktem naniesionym na plan na podstawie współrzędnych geodezyjnych. Po takim zorientowaniu planu i zdjęcia nastawia się stoliczek kolejno na szczegóły sytuacyjne i za pomocą ołówka czy igielki oznacza ich położenia na planie. A więc praca identyczna jak przy pantografowaniu. Dla punktów nie leżących w płaszczyźnie przyjętego poziomu odniesienia jest potrzebna znajomość wysokości punktów, które musimy wyznaczyć, jak i w poprzednio omawianych przypadkach.

10. ZASADY TRIANGULACJI RADIALNEJ I JEJ WYRÓWNIANIA GRAFICZNEGO

Potrzeba wyznaczenia drogą pomiarów w terenie współrzędnych foto-punktów znacznie podraża i przedłuża opracowanie planów drogą przetwarzania zdjęć lotniczych, co w niektórych przypadkach może sprawić, że metoda ta przestaje być ekonomiczną.

W terenach płaskich, a jedynie takie mogą być opracowywane tą metodą, można znacznie zmniejszyć ilość pracy pomiarowej, potrzebnej do założenia i zdjęcia podkładu geodezyjnego, przez zastosowanie triangulacji radialnej.

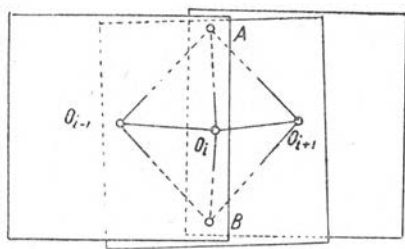
W rozdziale 1, przy omawianiu zależności geometrycznych między sytuacją terenu a jej rzutem perspektywicznym na zdjęciu, były wprowadzone wielkości zniekształceń kątów o wierzchołkach w punktach głównych, nadirowych i izocentrycznych. Jeżeli zdjęcie było wykonane przy ściśle pionowym położeniu osi kamery ($\nu = 0$), to jego punkt główny byłby jednocześnie punktem nadirowym i izocentrycz-

nym i kąty o wierzchołkach w punkcie głównym byłyby zupełnie nie zniekształcone. Każde odchylenie osi kamery od położenia pionowego wywołuje błędy wynikające z: 1) różnic wysokości Δh punktów terenu i 2) kąta nachylenia zdjęcia ν .

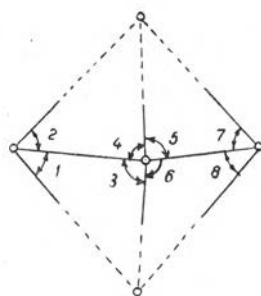
Pierwsze nie obarczają kątów o wierzchołkach w punktach nadirowych, drugie — w punktach izocentrycznych. Z tego względu, zależnie od charakteru powierzchni zdejmowanego terenu, należałoby posilkować się bądź punktami nadirowymi, bądź też — izocentrycznymi.

Do wyznaczenia na zdjęciu tak jednych, jak i drugich jest potrzebna znajomość kierunku i wielkości nachylenia zdjęcia, tj. kąta skreślenia σ i nachylenia ν . Ponieważ wyznaczanie tych elementów na podstawie obrazu umieszczonej w kamerze libeli pudełkowej jest niezbyt dokładne, a czasami wręcz fałszywe, przeto najwłaściwsze jest posilkowanie się punktami głównymi. Nie dotyczy to oczywiście przypadków, kiedy elementy orientacji zewnętrznej zdjęć zostały wyznaczone jakimś innym sposobem, dostatecznie pewnym.

Dla przeprowadzenia triangulacji radialnej trzeba, aby zdjęcia miały pokrycie w szeregu ponad 50%. Normalnie stosuje się pokrycie 60%. Wówczas na i -ym zdjęciu szeregu będzie odwzorowany punkt główny zdjęcia poprzedniego ($i-1$)-ego i następnego ($i+1$)-ego, a poza tym będzie istniał pas o szerokości wynoszącej 20% boku kliszy i leżący mniej więcej po środku zdjęcia i -ego prostopadłe do osi szeregu, który będzie odwzorowany również i na obu zdjęciach sąsiednich (rys. 89). W pasie tym można znaleźć jakieś leżące możliwie daleko od osi



Rys. 89



Rys. 90

szeregu szczegóły sytuacyjne A i B, które nazwiemy punktami bocznymi. W ten sposób na zdjęciu $i-1$ będziemy mogli pomierzyć kierunki z punktu głównego do punktów: A, O_i i B; na zdjęciu i — kierunki do punktów: O_{i-1} , A, O_{i+1} i B, wreszcie na zdjęciu $i+1$ — kierunki do punktów: B, O_i i A. W wyniku otrzymamy jakby element siatki triangulacyjnej, zwany rozetą, przedstawiony na rys. 90, w którym z 12 wszystkich istniejących w niej kątów zostało pomierzonych

8, a zatem o 2 więcej, niż to jest niezbędne do zbudowania takiej figury. Z ilości obserwacji nadliczbowych wynikają dwa warunki:

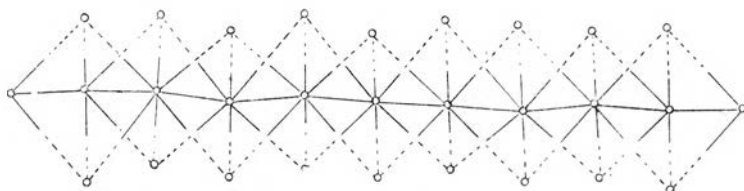
1. horyzontu

$$3 + 4 + 5 + 6 = 360^\circ \text{ i}$$

2. boków

$$\frac{\sin(2 + 4) \cdot \sin 7 \cdot \sin(6 + 8) \cdot \sin 1}{\sin 2 \cdot \sin(5 + 7) \cdot \sin 8 \cdot \sin(1 + 3)} = 1.$$

Powtarzając te same czynności na wszystkich zdjęciach szeregu, otrzymamy łańcuch rozet, pokazany na rys. 91, po wyrównaniu którego i obliczeniu współrzędnych punktów bocznych otrzymamy aż nadto wystarczający podkład do przetwarzania, bo po 6 foto-punktów na każde



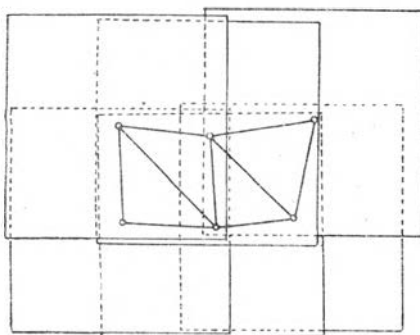
Rys. 91

zdjęcie. Przy przetwarzaniu nie bierze się zwykle pod uwagę punktów głównych, ponieważ nie są one na ogół żadnymi szczegółami sytuacyjnymi, a więc są trudne do zidentyfikowania. W pewnych jednak przypadkach, np. przy przetwarzaniu zdjęć terenów falistych, z uwagi na to, że wpływy różnic wysokości uniemożliwiają dokładne zestrojenie, korzysta się również i z punktów głównych. Należy je wtedy bardzo starannie wyznaczyć na podstawie znaczków tłowych i nakłuć tak, jak i punkty boczne, przez co ilość punktów do zestrojenia wzrośnie do siedmiu dla każdego zdjęcia.

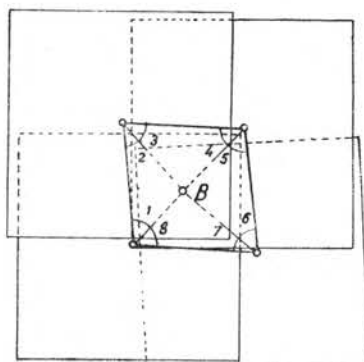
Jeśli pokrycie między szeregami również przekracza 50%, to punkty główne każdego ze zdjęć w szeregu będą odwzorowane nie tylko na zdjęciach sąsiednich tego szeregu, ale i na zdjęciach sąsiednich szeregów. W tym przypadku powstanie zupełna sieć triangulacyjna, jak na rys. 92, złożona z trójkątów, w których pomierzone są wszystkie kąty. Do wyrównania takich sieci mogą być stosowane metody wyrównania sieci geodezyjnych wypełniających.

W pewnych przypadkach, przy zdjęciach rozległych obszarów, w celu opracowania mapy w niewielkiej skali, np. 1:50 000, nie zwraca się na to uwagi czy pokrycie przekracza 50% i mierzy się kąty między kierunkami do punktów głównych zdjęć sąsiednich nawet wówczas, kiedy punkty te wypadną już poza krawędzie zdjęcia. Do wyznaczenia położenia takiego punktu, już poza zasięgiem zdjęcia, mogą być stoso-

wane metody opisane w rozdziale 5 względnie wyszukuje się dwie jakieś proste m' i n' , przecinające się w punkcie wyznaczanym, przechodzące przez szczegóły sytuacyjne odwzorowane na obu zdjęciach sąsiednich. Opierając się na jednokreślności rzutów środkowych kreśli się rzuty tych prostych m'' i n'' na zdjęciu sąsiednim, a przecięcie ich



Rys. 92



Rys. 93

daje nam położenie szukanego punktu, oczywiście już poza zdjęciem.

W ten sposób można otrzymać inny element zasadniczy siatki triangulacji radialnej, mianowicie pokazaną na rys. 93 rozetę kwadratową, której kąty powinny spełniać warunek:

$$\frac{\sin 2 \cdot \sin 4 \cdot \sin 6 \cdot \sin 8}{\sin 1 \cdot \sin 3 \cdot \sin 5 \cdot \sin 7} = 1.$$

Tego rodzaju siatki są np. stosowane w ZSRR [20] zapewne przy zdjęciach o mniejszej dokładności.

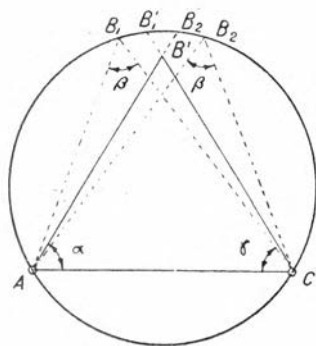
Przeprowadzenie triangulacji radialnej sprowadza się więc do pomiarzenia kątów i wyrównania poszczególnych elementów sieci, co można wykonać analitycznie lub graficznie. Takie wyrównanie nazywamy wyrównaniem wewnętrznym. Ze względu na liczne stosunkowo źródła błędów (zarówno systematycznych jak i przypadkowych), jakimi są obarczone mierzone kąty, ściśle metody wyrównania stosuje się jedynie w przypadkach wyjątkowych. Normalnie wystarczają metody graficzne względnie analityczne — przybliżone.

Najprostszym elementem siatki jest trójkąt o pomierzonych wszystkich trzech kątach. Przyjmijmy, że wagi kątów są równe. Poprawki zatem na każdy kąt powinny być równe $1/3$ odchyłki zamknięcia trójkąta do 180° . Stosując wyrównanie graficzne wykreślamy bok AC , a na nim budujemy trójkąt AB_1C posiłkując się kątami γ i β . Następnie budujemy trójkąt AB_2C przy pomocy kątów α i γ . Punkty B_1 i B_2 będą leżały na okręgu koła przechodzącego przez oba końce boku AC (rys.

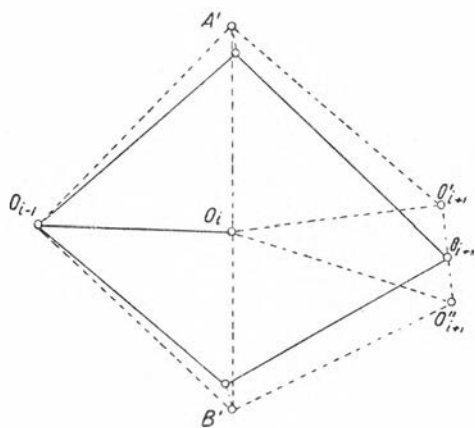
94). Odchyłka w zamknięciu trójkąta będzie wyrażona kątem $B_1AB_2 = B_1CB_2 = 3v$. Dzieląc łuk B_1B_2 na trzy części i łącząc punkty podziału z wierzchołkami A i C otrzymamy trójkąt wyrównany $AB'C$.

Ponieważ poprawki v są niewielkie, można zaniechać wykreślania okręgu koła AB_1B_2C . Wystarczy połączyć linią prostą punkty B_1 i B_2 i odcinek ten podzielić na 3 części.

Przy budowaniu rozety wykreślamy bok $O_{i-1}O_i$, na których budujemy trójkąty $O_{i-1}A'O_i$ i $O_{i-1}B'O_i$ odkładając kąty 2, 4 i 1, 3. Następnie na bokach O_iA' i O_iB' (rys. 95) budujemy dwa pozostałe trójkąty na podstawie kątów 5, 7 i 6, 8. Ze względu na istniejące błędy obserwacji otrzymamy 2 położenia punktu O_{i+1} . Przyjmując, że



Rys. 94



Rys. 95

wszystkie kąty były mierzone z jednakową dokładnością oba położenia punktu O_{i+1} będą miały tę samą wagę. Zatem wyrównane położenie punktu O_{i+1} otrzymamy dzieląc odcinek $O'_{i+1}O''_{i+1}$ na pół. Punkty A' i B' należy zatem przesunąć w kierunkach równoległych do O'_{i+1} i O''_{i+1} o wielkości równe $1/4$ całkowitej odchyłki zamknięcia. W ten sposób otrzymamy wyrównaną wewnętrzną rozetę $O_{i-1}AO_{i+1}B$. Na boku O_iO_{i+1} w ten sam sposób budujemy rozetę następną i, postępując tak dalej otrzymamy wewnętrzną wyrównaną cały łańcuch rozet.

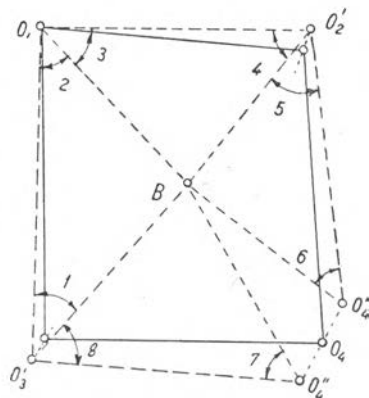
Wyrównanie rozety kwadratowej przeprowadzamy analogicznie (rys. 96). Z punktu O_1 wykreślamy kierunki O_1B , $O_1O'_2$ i $O_1O''_2$. Przyjmując dowolnie długość jednego boku, np. $O_1O'_2$, odkładamy kąt 4 otrzymując w ten sposób położenie punktu B , przez który prowadzimy prostą pod kątem 1 do boku $O_1O'_2$ otrzymując położenie punktu O'_2 . Odkładamy następnie kąty 5 i 8 i wykreślamy z punktu B proste nachylone pod kątami 6 i 7 do boków $O_2O'_4$ i $O_3O''_4$. Podobnie jak w przypadku

poprzednim, wyrównane położenie punktu O_4 otrzymamy, dzieląc odcinek $O'_4O''_4$ na pół, a wyrównane położenia punktów O_2 i O_3 — przez ich przesunięcie równoległe do odchyłki $O'_4O''_4$ o wielkość równą $1/4$ odchyłki całkowitej.

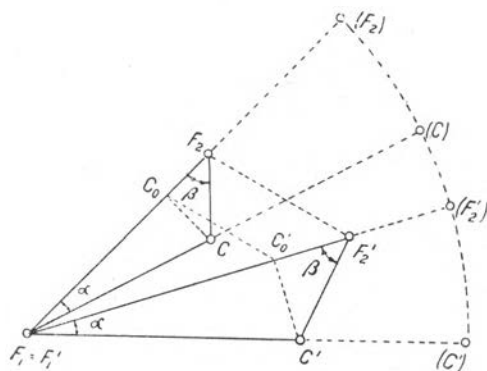
Postępując w ten sposób kolejno ze wszystkimi elementami otrzymujemy całą siatkę wyrównaną wewnątrz w jakiejś skali przybliżonej i skreconą względem układu współrzędnych terenowych.

Z kolei należy przeprowadzić wyrównanie zewnętrzne, do czego potrzebne są punkty dowiązania o wyznaczonych w terenie współrzędnych geodezyjnych. Punktów takich musi być co najmniej 2.

Drogą równoległego przesunięcia względnie odpowiedniego obrócenia początku układu współrzędnych możemy zawsze doprowadzić do tego, aby jeden z tych punktów (F_1) był wspólny, tj. żeby jego współrzędne w układzie współrzędnych terenowych i wewnętrznie wyrównanej siatki triangulacji radialnej były jednakowe.



Rys. 96



Rys. 97

Drugi punkt dowiązania (F_2) nie będzie się wtedy pokrywał ze swym odpowiednikiem F'_2 (rys. 97). W celu sprowadzenia punktów sieci do układu współrzędnych terenowych, należy ją zatem obrócić o kąt $F_2F_1F'_2$ dokoła punktu F_1 i zmniejszyć względnie zwiększyć w stosunku

ku $\frac{F_1F'_2}{F_1F_2}$ (tj. zmienić skalę).

Przyjmijmy, że punkt C' jest jednym z punktów siatki triangulacji radialnej i łącznie z odpowiednikami punktów dowiązania tworzy trójkąt $F'_1F'_2C'$. Zadanie sprowadza się do wykreślenia trójkąta podobnego na boku F_1F_2 . Ponieważ przy tym przekształcaniu kąty muszą być zachowane, wobec tego z punktu F_1 zakreślamy okrąg dowolnym promieniem i na nim odkładamy od punktu (F_2) łuk (F_2) (C) równy łukowi (F'_2) (C'). Łącząc punkt (C) z punktem obrotu otrzymujemy bok F_1C . W celu wyznaczenia wierzchołka C wystawiamy z punktu C' prostopadłą do boku $F'_1F'_2$ i przez spodek prostopadłej C'_0 prowadzimy prostą pomocniczą, równoległą do $F_2F'_2$. W ten sposób otrzymamy w

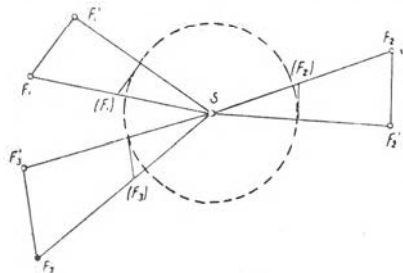
układzie spólrzędnych terenowych spodek prostopadłej C_0 , z którego wystawiając prostopadłą do F_1F_2 , znajdziemy w przecięciu z bokiem $F_1(C)$ szukany punkt C . W ten sposób można wyznaczyć w układzie spólrzędnych terenowych dowolny punkt siatki triangulacji radialnej.

W pewnych przypadkach, mianowicie kiedy przecięcia prostych równoległych: $F_2F'_2$, $C_0C'_0$ itd. z prostą F_1F_2 byłyby zbyt ostre, należy raczej budować trójkąt F_1F_2C przez odkładanie kątów α i β .

Oparcie siatki radialnej triangulacji tylko na dwu punktach dowiązania jest bardzo niepewne. Powinno się zatem wybierać ich więcej. W takich przypadkach, poza równoległym przesunięciem, skręceniem i zmianą skali należy jeszcze przeprowadzić wyrównanie, gdyż ze względu na nieuniknione błędy triangulacji radialnej nie da się wykonać tego tak, aby istniała zupełna zgodność wpasowania wszystkich punktów dowiązania.

Dla wykonania równoległego przesunięcia obieramy punkt S leżący mniej więcej w środku ciężkości sieci. Będzie nim jeden z punktów dowiązania bądź też jakiś punkt fikcyjny, który wyznaczymy sobie przy pomocy jakiejś prostej konstrukcji geometrycznej, np. przecięcia przekątnych czworoboku utworzonego przez punkty dowiązania. Następnie obliczymy spólrzędne terenowe punktu S , co pozwoli nam wykreślić osie układu spólrzędnych terenowych oraz nanieść punkty dowiązania na arkuszu z wewnątrznie wyrównaną siatką triangulacji radialnej. W ten sposób punkt S wyrównywanej siatki będzie już w układzie spólrzędnych terenowych.

Wartość kąta, o jaki należy skrócić siatkę triangulacji radialnej, z różnych punktów dowiązania wypadnie różna, wobec czego trzeba będzie obliczyć średni kąt skręcenia tworząc średnią arytmetyczną ze wszystkich otrzymanych wartości.



Rys. 98.

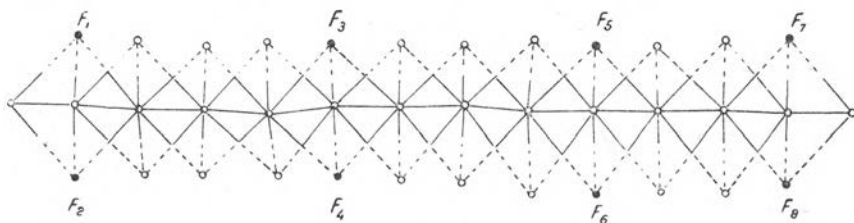
Pozostanie wreszcie wyznaczenie współczynnika skali, który będzie również różny w zależności od tego, z którego punktu dowiązania zostanie wyznaczony.

Przyjmijmy (rys. 98), że punkt obrotu znajduje się w p. S , a punkty dowiązania w układzie spólrzędnych terenowych w punktach $F_1, F_2, F_3, \dots$ oraz ich odpowiedniki, w układzie wyrównywanej siatki, w punktach: $F'_1, F'_2, F'_3, \dots$. W celu porównania współczynników zmiany skali zataczamy z punktu S okrąg koła o promieniu jednostkowym i z punktów przecięcia okręgu z kierunkami: $SF'_1, SF'_2, SF'_3, \dots$ prowadzimy równoległe do prostych, łączących odpowiednie punkty dowiązania w ukła-

dzie spółrzędnych terenowych i wyrównywanej siatki: $F_1F'_1$, $F_2F'_2$, $F_3F'_3$,... W ten sposób otrzymane odcinki $S(F_1)$, $S(F_2)$, $S(F_3)$,..... będą współczynnikami skali. Z wartości tych tworzymy średnią i promieniem tym zataczamy okrąg, który przetnie nam kierunki: SF_1 , SF_2 , SF_3 ,..... w punktach: $(F_1)'$, $(F_2)'$, $(F_3)'$,.... Łącząc te punkty z punktami przecięcia okręgu koła jednostkowego i prowadząc do tych prostych równoległe przez punkty F_1 , F_2 , F_3 ,... otrzymamy wpasowane położenia punktów dowiązania układu siatki triangulacji radialnej w skali średniej. Zadanie na tym się jednak nie kończy, gdyż należy jeszcze odpowiednio poprawić punkty siatki triangulacyjnej. Przy dużych sieciach takie wpasowywanie może być uciążliwe, a czas potrzebny na jego przeprowadzenie niewiele mniejszy lub nawet większy, niż przy sposobie analitycznym. Ponadto przy zbyt dużej ilości manipulacji graficznych może na tym ucierpieć dokładność pracy.

Decydując się na postępowanie graficzne należy raczej dążyć, aby wykreślać siatkę już w skali ostatecznej i układzie spółrzędnych terenowych. Da się to wykonać, jeżeli punkty dowiązania będą rozmieszczone grupowo, np. tak, aby parami wchodziły w skład jednej rozety na początku, końcu i w pewnych odstępach pośrodku łańcucha rozet, jak to pokazane na rys. 99.

Przy takim rozmieszczeniu punktów dowiązania pierwszą rozetę po wyrównaniu wewnętrznym wpasowujemy między punkty F_1 i F_2 i na



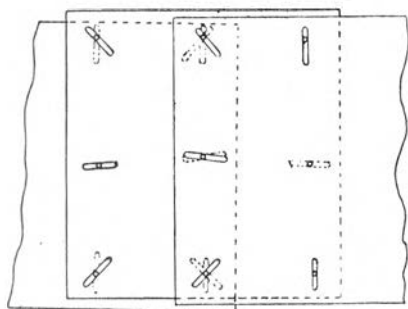
Rys. 99

niej budujemy następne już w przyjętej skali i układzie. Po dojściu do następnej grupy: F_3 i F_4 powinniśmy otrzymać niewielką tylko odchyłkę, którą rozrzucaemy w podobny sposób, jak przy wyrównywaniu graficznym ciągów poligonowych, i tak samo postępujemy z następnym odcinkiem łańcucha rozet.

W pewnych przypadkach może się okazać wygodne zastosowanie metody kombinowanej: graficzno-analitycznej. Będzie ona polegała na tym, że wyrównanie wewnętrzne przeprowadza się graficznie, a następnie odczytuje się na koordynatografie, czy też w inny jakiś sposób spółrzędne punktów dowiązania i wszystkich punktów sieci w układzie i skali dowolnej. Przez porównanie odczytanych spółrzędnych punktów dowiązania ze spółrzędnymi terenowymi tych punktów oblicza się wiel-

kość równoległego przesunięcia, kąt skreślenia i współczynnik skali. Sposób wykonania tych obliczeń będzie omówiony w rozdziale 12 przy omawianiu wyrównania analitycznego.

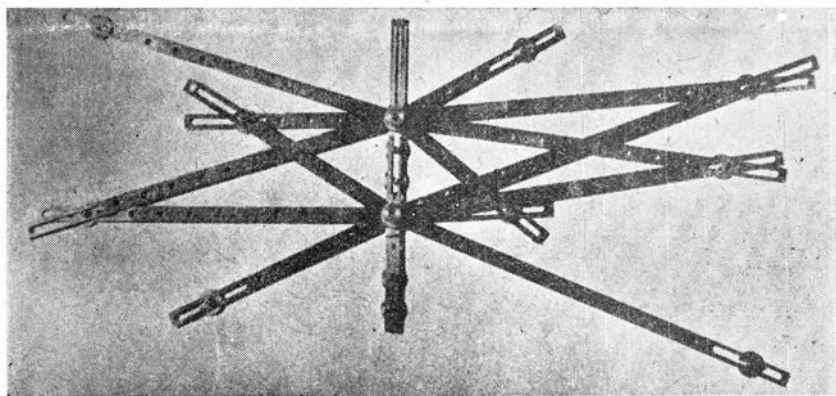
Ciekawy sposób przeprowadzania triangulacji radialnej jest stosowany w Stanach Zjednoczonych Ameryki Płn., przy pomocy wycinanych z kartonu lub innego odpowiedniego materiału szablonów ze szczelinami, zwany „slotted template method”, pokazany na rys. 100.



Rys. 100

Stosowany jest tam i inny sposób, polegający na budowaniu rozet z metalowych liniałów ze szczelinami, przez odpowiednie ich skręcanie śrubami (rys. 101).

W pierwszej metodzie przygotowuje się dla każdego zdjęcia szablon, w którym wycina się w punkcie odpowiadającym punktowi głównemu otwór okrągły o pewnej stałej średnicy, oraz we wszystkich kierunkach, wchodzących w skład siatki triangulacji radialnej, szczeliny o szerokości równej średnicy otworu odpowiadającego punktowi głównemu. Do zestawiania rozet służą jakby spinki o średnicy odpowiadającej szerokości szczelin i szerokich płaskich łebkach. Spinki te ustawia się pionowo na dużym stole nakładając na nie pierwszy



Rys. 101

szablon tak, że przechodzą one przez odpowiednie szczeliny. Na to nakłada się szablony odpowiadające zdjęciom następnym. Z chwilą ułożenia wszystkich szablonów odpowiadających całemu zespołowi zdjęć zostaje tym samym przeprowadzone jakby wyrównanie wewnętrzne, bo każda ze spinek, mogąc się przesuwac tylko w kierunkach szczelin, zo-

staje automatycznie ustawiona na przecięciu się odpowiednich kierunków w granicach istniejących luzów. Pozostaje jedynie odczytanie współrzędnych i dopasowanie ich do układu współrzędnych terenowych względnie można sporządzić fotoplan w tej skali nie określonej i drogą reprodukcji fotograficznej sprowadzić go do żądanej skali.

Druga metoda polega na budowaniu poszczególnych rozet z liniałów metalowych, które zestawiane z sobą i skręcane dają prawdziwą siatkę metalową, w której śrubki skręcające są wierzchołkami poszczególnych trójkątów.

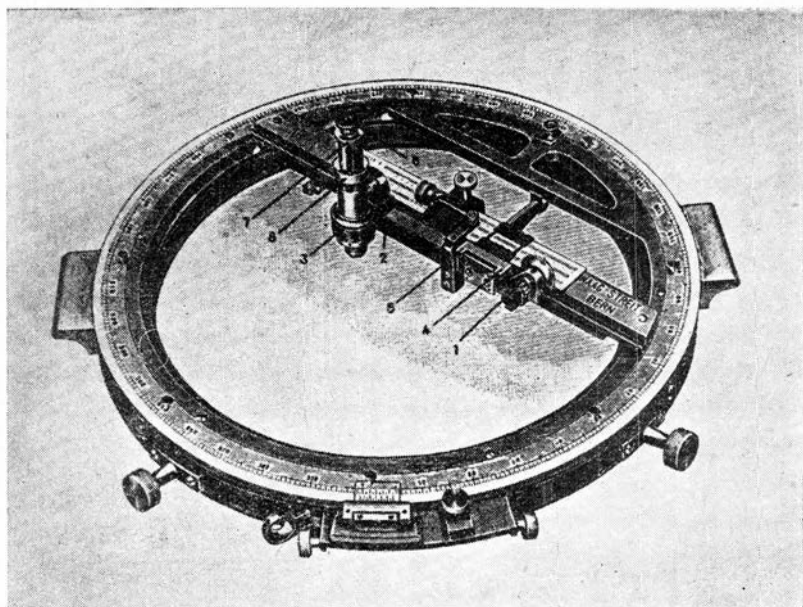
Takie sposoby przeprowadzania triangulacji radialnej mogą mieć zastosowanie wtedy, kiedy chodzi o szybkie opracowanie planów o niewielkiej dokładności względnie przy opracowywaniu map w małych skalach, bowiem przy dużym zmniejszeniu osiągniemy to, że znaczne nawet błędy będą się mieściły w granicach dopuszczalnych.

II. INSTRUMENTY DO TRIANGULACJI RADIALNEJ

Najprostszym instrumentem do mierzenia kątów siatki triangulacji radialnej na negatywach jest koordynatograf biegunowy. Na stole o blacie szklanym układa się negatyw, na którym wyznaczamy położenie punktu głównego na podstawie znaczków łowych. Jeżeli triangulacja ma być wykonywana z punktów nadirowych względnie izocentrycznych, to wyznaczamy i nakłuwamy położenia tych punktów w stosunku do punktów głównych na podstawie znanych elementów orientacji zewnętrznej zdjęć. Ponieważ przebieg obserwacji i wyrównania jest zawsze taki sam, będziemy mówili tylko o punktach głównych rozumiejąc, że dotyczy to punktów, z których są mierzone kierunki na zdjęciach, a więc punktów głównych względnie nadirowych, bądź też izocentrycznych.

Nad punktem, z którego mają być mierzone kierunki, układamy centrycznie koordynatograf i mierzymy w zwykły sposób wszystkie potrzebne nam kąty. Istnieją bardzo wygodne i precyzyjne koordynatografy biegunowe, jak np. pokazany na rys. 102 koordynatograf firmy Haag-Streita. Widoczny na rysunku mikroskop przesuwają się po średnicy koła podziałowego, które obraca się dokoła osi pionowej instrumentu. Po nastawieniu i zamocowaniu w położeniu zerowym mikroskop zajmuje dokładnie położenie środka koła podziałowego. Dwie śruby pozwalają na przesuwanie całego koordynatografu w dwu wzajemnie prostopadłych kierunkach, co pozwala na wygodne i dokładne scentrowanie instrumentu nad punktem głównym. W mikroskopie dokładnie na osi celowej jest osadzona igiełka, którą — przez naciśnięcie mikroskopu w dół — można od razu nakłuć na filmie (negatywie) punkt obserwowany.

Ujemną stroną użycia koordynatografu jest to, że obserwacje są wykonywane monokularnie. Może się zdarzyć, że obrany punkt boczny nie leży na płaszczyźnie terenu, ale jest np. wierzchołkiem drzewa, przez co wprowadza się niepotrzebnie błędy wynikające z różnic wysokości.



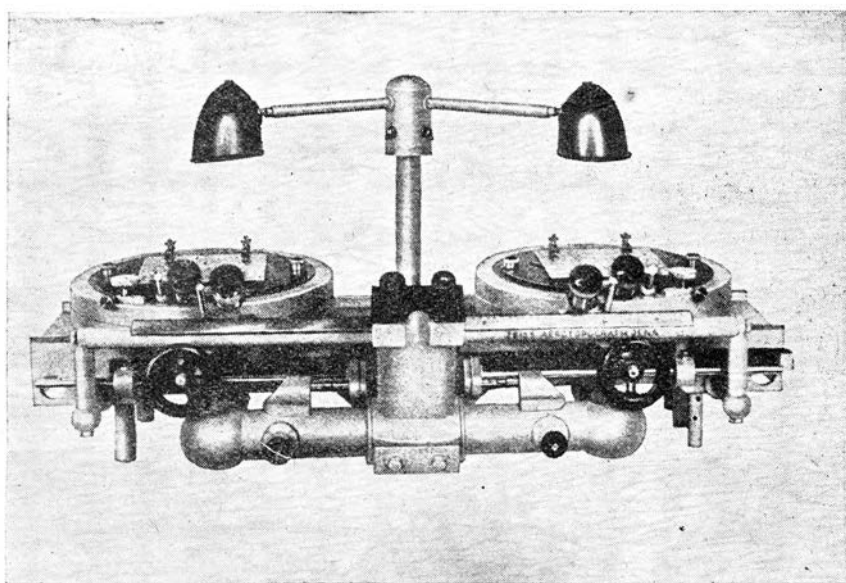
Rys. 102

Może się również zdarzyć (przy sytuacjach podobnych), że punkty obserwowane na zdjęciach sąsiednich są źle zidentyfikowane. Wreszcie, co najważniejsze, istnieje bardzo duża trudność w wyznaczaniu na poszczególnych negatywach punktów głównych zdjęć sąsiednich, te bowiem prawie nigdy nie są jakimiś szczegółami sytuacyjnymi. Do ich dokładnego przeniesienia bardzo pożyteczny jest efekt stereoskopowy. Toteż nawet wtedy, gdy obserwacje mają być wykonywane na zdjęciach pojedynczych, bardzo celowe jest korzystanie z jakiegoś stereoskopu przy przenoszeniu punktów głównych ze zdjęć sąsiednich.

W ZSRR jest używany między innymi triangulator nadiowy Drobyszewa, służący do pomiaru kierunków na pojedynczych zdjęciach z dokładnością $1'$, a jednocześnie pozwalający na wykreślanie tych kierunków na płycie szklanej powleczonej emulsją.

Typowym instrumentem do pomiaru kątów jednocześnie na dwu sąsiednich zdjęciach jest triangulator radialny, produkowany przed wojną przez Zeiss'a, a obecnie budowany w kraju przez Państwową Wytwórnię Optyczną (rys. 103).

Instrument ten pod względem konstrukcyjnym jest podobny do stereokomparatora używanego w astronomii. Na podstawie metalowej są osadzone poziomo dwie równoległe szyny, po których przy pomocy lewej korby można przesuwając wózek w kierunku lewo-prawo. Na wózku tym znajdują się dwie tarcze, w które wkłada się dwa negatywy sąsiednie. Za pomocą prawej korby można przesuwając również w kierunku lewo-prawo tarczę prawego negatywu względem lewego. Wielkości tych liniowych przesunięć można odczytać na umieszczonych na podstawie podziałkach. Konstrukcja tarcz pozwala ponadto na obracanie negatywów dookoła osi pionowych, przechodzących przez środki tarcz (punkty główne), a wielkości kątów obrotu mogą być mierzone na ko-



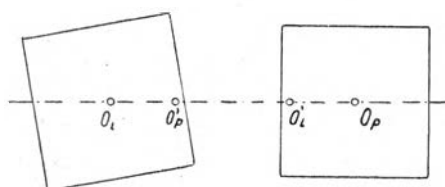
Rys. 103

łach podziałowych z dokładnością $\pm 1'$. W dolnej części instrumentu jest osadzony nieruchomo podwójny mikroskop, przy pomocy którego obserwuje się negatywy pionowo od dołu. Na osiach optycznych mikroskopów są osadzone znaczki pomiarowe w kształcie kółka z kropką pośrodku. Łącznica znaczków pomiarowych obu mikroskopów jest równoległa do ruchu wózka z tarczami na negatywy i do łącznicy środków obrotu obu tarcz. Nad instrumentem zawieszono są dwie zwykłe lampy z reflektorami do oświetlania negatywów.

Tarcze są przystosowane do negatywów na filmie o wymiarach 18×18 cm. Pośrodku tarcz wycięte są otwory kwadratowe, w których są osadzone szklane płyty płaskorównoległe. Na każdej płycie, dokładnie w punkcie odpowiadającym osi obrotu, nacięty jest krzyżyk

oraz radialnie i symetrycznie do niego, na krawędziach, kreski — tak rozmieszczone jak znaczki tłowe. Kreski te pozwalają na umieszczenie negatywu tak, aby jego punkt główny leżał na środkowym krzyżyku. Filmy przyciska się z wierzchu czystymi płytami szklanymi i zamocowuje czterema śrubami. Jeżeli triangulację wykonuje się z punktów nadirowych lub izocentrycznych, to punkty te najpierw trzeba oznaczyć na negatywach (zwykle przez nakłucie), a następnie należy umieścić negatywy tak, aby punkty nakłute znalazły się dokładnie na krzyżykach środkowych.

Praca na triangulatorze radialnym polega w pierwszym rzędzie na tzw. zestrojeniu bazy, tj. doprowadzeniu negatywów do takiego położenia, aby łącznica punktu głównego lewej kliszy O_l i obrazu na kliszy lewej punktu głównego prawej kliszy O'_p , oraz łącznica obrazu punktu głównego lewej kliszy O'_l na prawym negatywie i punktu głównego prawej kliszy O_p tworzyły jedną prostą i to równoległą do prostej łączącej znaczki pomiarowe. Aby to uzyskać trzeba odpowiednio skrócić oba negatywy tak, jak to pokazane na rys. 104. W tym celu za pomocą lewej korby naprowadzamy punkt główny lewego negatywu O_l na znaczek pomiarowy w lewym mikroskopie, a następnie przez odpow-



Rys. 104

wiednie przesunięcie (prawą korbą) i obrót prawego negatywu naprowadzamy obraz punktu głównego O'_l na prawym negatywie na znaczek pomiarowy prawego mikroskopu. Po wykonaniu tej czynności lewą korbą przesuwamy oba negatywy tak, aby punkt główny prawego negatywu O_p

pokrywał się ze znaczkiem pomiarowym prawego mikroskopu i podobnie, jak poprzednio, przez obrót lewego negatywu naprowadzamy na znaczek pomiarowy lewego mikroskopu obraz punktu głównego O'_p na lewym zdjęciu.

Ponieważ punkty główne poszczególnych zdjęć nie są prawie nigdy jakimiś szczegółami sytuacyjnymi, do odszukania ich obrazów na zdjęciach sąsiednich ułatwia nam obserwowanie stereoskopowe. Po dobrym zestrojeniu, patrząc dwuocześnie, powinniśmy widzieć plastycznie teren w pobliżu obserwowanego punktu głównego, oraz oba znaczki pomiarowe w postaci jednego okręgu, przylegającego do terenu w miejscu odpowiadającym położeniu punktu głównego. Przy poruszaniu prawą korbą obserwator powinien odbierać wrażenie, że znaczek pomiarowy przybliży się względnie oddala od powierzchni terenu.

W celu wykorzystania efektu stereoskopowego do dokładniejszego zestrojenia bazy w każdym mikroskopie jest osadzony pryzmat Dove-

go, który można obracać dokoła osi, pokrywającej się z osią optyczną mikroskopu. Pryzmaty te (rys. 105) mają tę własność, że przy ich obracaniu dokoła osi celowej obracają się obserwowane obrazy dokoła punktu leżącego na osi optycznej nie wywołując żadnego liniowego przesunięcia tego punktu. Dzięki temu po pierwszym zestrojeniu bazy możemy przy pomocy pryzmatów Dovego obrócić obrazy o 90° . Wtedy wrażenie przybliżania i oddalania się znaczka pomiarowego od płaszczyzny terenu będzie wywoływane ruchem prostym do kierunku poprzedniego (przesuwanie prawego negatywu względem lewego). Efekt ten otrzymamy teraz przez lekkie obracanie tego negatywu, którego oś obrotu nie leży w danym momencie na osi optycznej mikroskopu. Tak więc, przy nastawieniu znaczka pomiarowego na lewy koniec bazy należy korzystać z obrotu

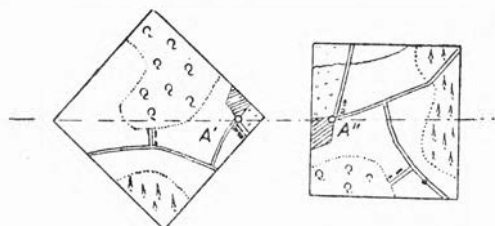


Rys. 105

prawej tarczy i odwrotnie. Po kilkakrotnym powtórzeniu tej czynności odczytujemy na kołach podziałowych kierunki bazy na lewym i prawym zdjęciu. Następnie obracamy pryzmaty o 180° i czynność tę powtarzamy. Zmiana ta wywoła zmianę wrażenia ortoskopowego na pseudoskopowe. Wrażenie przylegania znaczka pomiarowego do płaszczyzny terenu jest bowiem wrażeniem subiektywnym i każdy z obserwatorów może czynność tę wykonywać z pewnym stałym błędem osobowym. Błąd ten polega na tym, że ustawienie znaczka nie jest dokładnie na terenie, ale nieco wyżej lub niżej od powierzchni terenu. Przy odwróceniu efektu przez obrót pryzmatów o 180° wrażenie to będzie odwrotne, i ten sam obserwator ustawi znaczek z tym samym błędem, ale o znaku przeciwnym. Średnia z takich dwu nastawień będzie wtedy prawidłowa. Należy nadmienić, że wprawieni obserwatorowie nie korzystają na ogół z tego urządzenia przy zestrzaniu bazy, chyba że sytuacja terenu jest wyjątkowo trudna. Na ogół poprzestają na kilkakrotnym powtórzeniu zestrojenia przy normalnym położeniu pryzmatów. Pryzmaty Dovego posiadają natomiast specjalne znaczenie przy obserwowaniu punktów bocznych.

Po zestrojeniu bazy i odczytaniu na kołach podziałowych odpowiadających im kierunków obracamy oba negatywy tak, aby na osiach mikroskopów znalazły się obrazy punktów bocznych A lub B względnie jakiegoś punktu dostosowania. Punkty te są już zawsze jakimiś szczegółami sytuacyjnymi, można zatem czynność tę przeprowadzić monokularnie. Jednakże dla uzyskania pewności, że punkt obserwowany w lewym i prawym mikroskopie jest rzeczywiście tym samym punktem i że obrany on został właściwie, tj. że leży na płaszczyźnie terenu, a nie ponad nią (wierzchołek drzewa), należy obserwację tę wykonać stereoskopowo, czego bez pryzmatów nie dałoby się przepro-

wadzić. Ponieważ w triangulatorze radialnym mikroskopy są nieruchome, naprowadzenie znaczka pomiarowego na dowolny punkt negatywu wykonuje się przez odpowiednie obrócenie poszczególnych zdjęć, a zatem oglądane obrazy będą względem siebie skrócone (rys. 106). Przez odpowiednie obroty pryzmatów doprowadzamy linie sytuacyjne do równoległości, przy czym właściwy efekt stereoskopowy otrzymamy

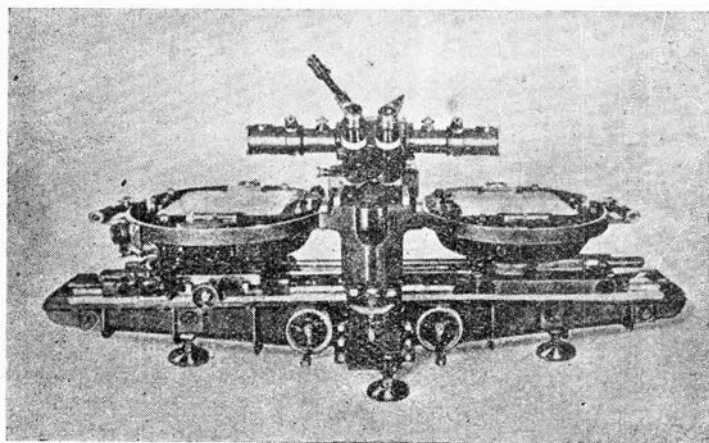


Rys. 106

wtedy, kiedy układ linii sytuacyjnych będzie taki, jaki mielibyśmy, gdyby po zestrojeniu bazy nastawić znaczek pomiarowy na dany punkt przez przesunięcie mikroskopów.

Po odpowiednio dokładnym nastawieniu na jakiś punkt, np. A, odcytujemy na kołach podziałowych kierunki do tego punktu, a różnice z poprzednio wyznaczonymi kierunkami bazy dadzą nam odpowiednie kąty 2 i 4 obserwowanej rozety. W ten sposób mierzymy wszystkie kąty między kierunkami do punktów wcinanych z danej bazy.

Po zakończeniu tych obserwacji zdjęcie prawe pozostawiamy w instrumencie, a na miejsce lewego zakładamy trzeci z kolei negatyw.



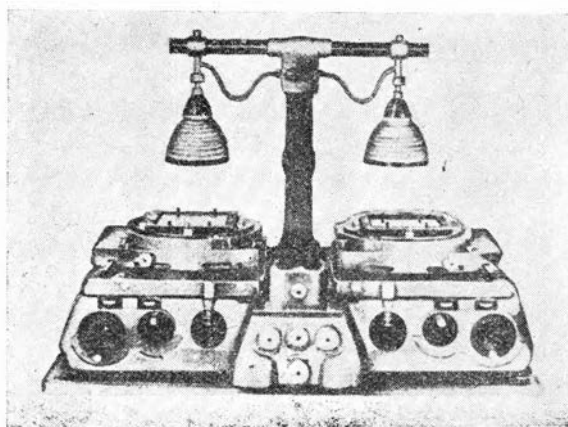
Rys. 107

Dla uzyskania efektu stereoskopowego zdjęcie prawe trzeba będzie obrócić o 180° i odpowiednio do niego ustawić nowozakończony negatyw lewy. Następnie powtarzamy wszystkie czynności poprzednio opisane.

Na tej samej zasadzie został zbudowany triangulator przez firmę „Photogrametrie” w Monachium, zwany przyrządem do przenoszenia punktów (rys. 107). Zasadnicza różnica polega na tym, że oświetlenie

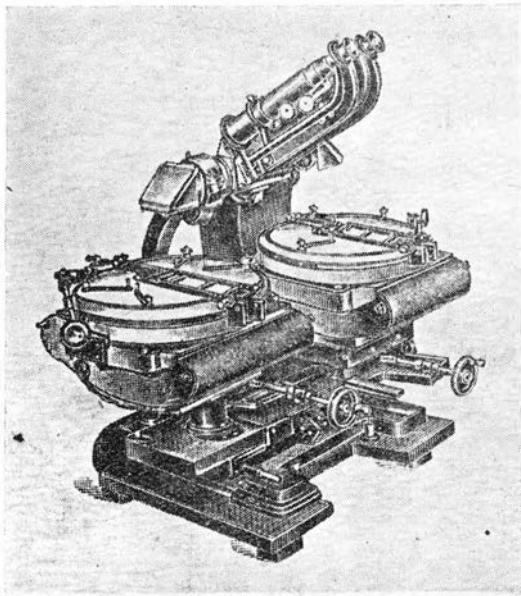
negatywów jest z dołu, a system obserwacyjny od góry. Przy czym z systemem obserwacyjnym jest połączone odpowiednie urządzenie, pozwalające nakłuć na negatywach punkty, na które został nastawiony znaczek pomiarowy. Na instrumencie tym można obserwować zdjęcia wykonane kamerą panoramową o wymiarach 30×30 cm.

We Włoszech są budowane triangulatory radialne (rys. 108) konstrukcji Nistri'ego, które jednocześnie mogą być użyte jako stereokomparatory, gdyż istnieje możliwość przesuwania negatywów w kierunku prostopadłym do łącznicy znaczków pomiarowych.



Rys. 108

W ZSRR jest używany przyrząd konstrukcji Aleksapolskiego (rys. 109) do wyznaczania na negatywach głównych kierunków (do punktów głównych klisz sąsiednich). Celem pierwotnym, dla którego instrument ten został zbudowany, było podniesienie dokładności wyznaczenia na zdjęciu linii łączących punkty główne zdjęć sąsiednich przez wykorzystanie efektu stereoskopowego, jeżeli pokrycie między zdjęciami jest mniejsze niż 50%.



Rys. 109

Zdjęcia sąsiednie układa się w tym celu centrycznie na tarczach podobnie osadzonych jak w triangulatorze Zeissa i zestraja tak, aby proste łączące punkty główne zdjęć sąsiednich na jednym i drugim zdjęciu były do siebie równoległe i prostopadłe do bazy obserwacyjnej. Następnie nakłada się na zdjęcia płytki szklane z naciętymi na nich liniami prostymi tak, aby przechodziły one przez odpowiednie punkty głów-

da się na zdjęcia płytki szklane z naciętymi na nich liniami prostymi tak, aby przechodziły one przez odpowiednie punkty głów-

ne lewego i prawego zdjęcia. Ponieważ zdjęcia są skrócone o 90° , otrzymujemy minimum efektu stereoskopowego uzyskując wrażenie, że teren jest płaszczyzną (model bez trzeciego wymiaru). Kreski nacięte na płytach szklanych przed dokładnym ich zestrojeniem wywołują wrażenie linii skośnej, przebiegającej płaszczyznę terenu w punkcie głównym lewej względnie prawej kliszy, zależnie od tego, który punkt będzie obserwowany. Skracanie płytek będzie wywoływało wrażenie nachylenia linii, przez co można doprowadzić do wrażenia, że przylega ona ściśle do płaszczyzny terenu. Po takim zestrojeniu nakłuwą się położenie tej linii na obu negatywach, przez co kierunek bazy zostaje wyznaczony.

Dokładność pracy na tym przyrządzie jest nieco niższa, niż na triangulatorze radialnym i oceniana przez M. D. Konszina w dziele pt. „Aerofotosjomka“ (1941) na 2 do 3'.

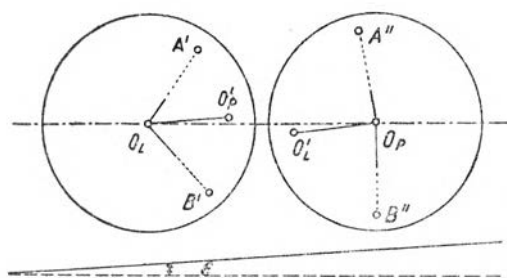
Instrumenty do triangulacji radialnej, jak każdy przyrząd pomiarowy, muszą spełniać pewne warunki geometryczne, wynikające z teoretycznych założeń konstrukcyjnych. Niedokładność wykonania względnie nie dość staranna rektyfikacja instrumentu sprawiają, że niektóre z tych warunków nie są zachowane, wskutek czego wykonane na takich instrumentach obserwacje są obciążone pewnymi stałymi błędami, wynikającymi z błędów instrumentalnych.

Błędy instrumentalne należy dla każdego instrumentu wyznaczyć i, o ile to możliwe, usunąć drogą rektyfikacji. Błędy, których usunąć nie można, należy uwzględnić, tj. wprowadzać do wyników obserwacji odpowiednie poprawki względnie eliminować je przez stosowanie symetrii w obserwacjach.

Omówimy pokrótce błędy instrumentalne oraz sposoby ich wyznaczania w odniesieniu do radialnego triangulatora Zeissa jako typowego instrumentu tego rodzaju oraz wpływy, jakie one wywierają na dokładność obserwacji.

W pierwszym rzędzie w triangulatorze powinna zachodzić równoległość szyn do łącznicy znaczków pomiarowych obu mikroskopów.

Jeżeli równoległość ta nie jest zachowana, to po zestrojeniu pary zdjęć linia bazy na



Rys. 110

zdjęciu lewym nie będzie się pokrywała z linią bazy na zdjęciu prawym. Będą one jednak równoległe względem siebie i względem szyn (prowadnic), jak to pokazane na rys. 110. Przy prze-

suwaniu wózków linie $O_1O'_p$ oraz O'_1O_p będą stale przechodziły przez znaczkę pomiarową lewego względnie prawego mikroskopu nie wywołując żadnego szkodliwego efektu, lecz jedynie odczyty kierunków bazy będą różne od nominalnych o kąt ε . Obserwacja punktów bocznych A i B wykonuje się jakby monokularnie. Używanie pryzmatów Dovego dla wywołania efektu stereoskopowego ma jedynie na celu podniesienie dokładności nastawienia znaczkę pomiarową na punkt obserwowany. Ponieważ do obliczeń bierzemy tylko kąty, a te nie są obciążone błędem ε , przeto nierównoległość szyn do łącznicy znaczków pomiarowych nie ma żadnego wpływu na dokładność obserwacji.

Natomiast kąty mogą być obciążone pewnymi błędami, jeżeli przesuwanie wózków nie jest prostoliniowe. O tym można się przekonać układając na tarczach płytki szklane z wyrytymi na nich liniami prostymi tak, aby przechodziły one przez osie obrotów tarcz. Po takim ułożeniu przesuwamy wózek w kierunku prawo-lewo i obracamy tarczę tak, aby znaczek pomiarowy wypadł raz na jednym, drugi raz na drugim końcu obserwowanej linii, tj. wykonujemy podobną manipulację jak przy zestrzajaniu bazy. Jeżeli prowadnice są prostoliniowe, to po zestrojeniu, podczas przesuwania wózka, znaczek pomiarowy będzie stale pozostawał na linii względnie będzie od niej odległy o stałą wielkość. Jeżeli natomiast odległość znaczkę od linii będzie się zmieniała, będzie to świadczyło o nieprostoliniowości prowadnic. W celu wyznaczenia krzywizny prowadnic należy wyznaczyć wielkości odchylenia w różnych położeniach wózka. Przesunięcia wózka możemy mierzyć istniejącą przy instrumencie podziałką, a odległość znaczkę najprościej oceniać na oko wyrażając wielkość odchylenia w średnicach kropki lub ułamkiem promienia kółka. Błąd ten nie będzie miał wpływu na pomiar kątów o równej długości ramion, będzie natomiast miał wpływ różnicowy w przypadku kątów o różnej długości ramion. Na ogół nie zdarza się, aby prowadnice nie były prostoliniowe. Przypadek taki może zajść jedynie wyjątkowo przy uszkodzeniach instrumentu podczas transportu względnie w jakiejś katastrofie.

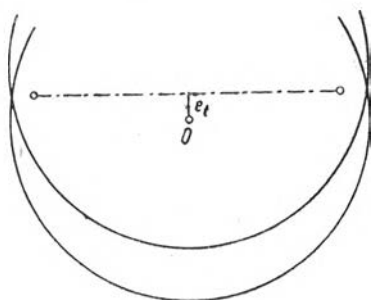
Jedną z najważniejszych części instrumentu, których wykonanie powinno być bardzo staranne, gdyż błędy ich obciążają w znacznym stopniu wyniki obserwacji, są tarcze i mechanizmy pozwalające na ich obracanie dokoła osi pionowych. Oś geometryczna obrotu tarcz powinna przechodzić przez oś odpowiedniego mikroskopu. Krzyżyk wyryty na tarczy, wyznaczający nam położenie punktu głównego, powinien leżeć na osi obrotu i wreszcie, ponieważ tarcze mogą być nakładane na wózki dwójako, położenie środka tarczy w obu jej położeniach powinno być jednakowe.

Na osi optycznej mikroskopu leży znaczek pomiarowy. Jeżeli przesuniemy wózek tak, aby oś obrotu pokryła się ze znaczką pomiarową

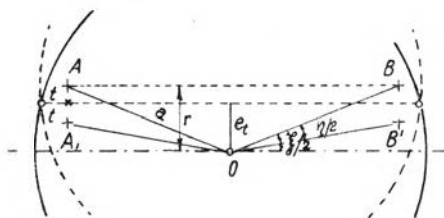
Jak widać z wzoru (2), jeżeli długości ramion są równe, to wpływ mimośrodów znaczka pomiarowego na pomiar kąta jest równy zeru. Na ogół jednak kąty w rozetach nie są o równych długościach ramion. Jak widać z rys. 90, ramiona kąta 1 będą w przybliżeniu równe: jedno — połowie boku kliszy $\frac{k}{2}$, drugie — $\frac{k\sqrt{2}}{2}$, wobec czego występowanie mimośrodu znaczka będzie szkodliwe.

Dla wygody w pracy tarczy, w które wkłada się negatywy, są zdejmowane. Na limbusach są osadzone w miejscach średnicowo przeciwnych dwa czopy, a w tarczach zrobione są dokładnie im odpowiadające otwory. Ułożenie tarczy na wózku może być zatem dwojakie (rys. 112). W przypadku idealnym łącznica tych czopów powinna przechodzić przez oś obrotu tarczy (limbusa). Odległość osi obrotu od tej łącznicy będziemy nazywali mimośrodem tarczy e_t .

Jeżeli istnieje mimośród tarczy, to kierunki, leżące pod kątem prostym do łącznicy, nie będą obciążone błędem. Największym błędem



Rys. 112



Rys. 113

będzie obciążony kierunek do punktu położonego na łącznicy czopów. Obierając jakieś dwa punkty A i B, położone średnicowo w pobliżu czopów i w równej odległości a od osi obrotu, możemy pomierzyć kierunki do tych punktów przy obu położeniach tarczy.

Z rys. 113 mimośród tarczy

$$e_t = r - t,$$

gdzie:

$$r = a \cdot \sin \frac{\xi}{2} \cong \frac{\xi}{2} \cdot \frac{a}{\rho}.$$

Kąt $\xi/2$ obliczymy na podstawie odczytów kierunków OA i OB z wzoru:

$$\xi/2 = 1/2 \{180^\circ - [(OA) - (OB)]\}.$$

Dalej z rysunku mamy:

$$2t = a \cdot \sin \frac{\eta}{2} = \frac{\eta}{2} \cdot \frac{a}{\rho},$$

skąd:

$$t = \frac{\eta}{4} \cdot \frac{a}{\rho}.$$

Kąt $\eta/4$ otrzymamy również na podstawie odczytów kierunków OA i OB wykonanych przy jednym położeniu tarczy oraz OA_1 i OB_1 — po przełożeniu.

$$\eta/4 = 1/2 \{ [(OB') - (OA')] - [(OA) - (OB)] \}.$$

Po podstawieniu wartości t i r otrzymamy

$$e_t = \frac{\xi}{2} \cdot \frac{a}{\rho} - \frac{\eta}{4} \cdot \frac{a}{\rho} = \frac{a}{\rho} \left(\frac{\xi}{2} - \frac{\eta}{4} \right). \quad (3)$$

Przy wyznaczaniu mimośrodów tarcz należy obserwować kierunki przy dwu położeniach wózka w stosunku do znaczka pomiarowego i brać średnie z odczytów, aby wyeliminować wpływ mimośrodu znaczka pomiarowego e_z . Wartości średnie z pomiarów kierunków wykonanych przy dwu położeniach tarcz są natomiast wolne od mimośrodu tarczy e_t .

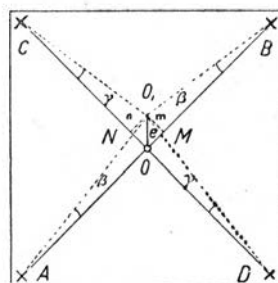
W celu podniesienia dokładności wyznaczenia tego i poprzedniego mimośrodu jest wskazane nastawiać na punkty górną i dolną krawędź znaczka pomiarowego, a następnie do obliczeń brać wartość średnią.

Nie bez znaczenia na wyniki triangulacji radialnej jest dokładność, z jaką zostały na płycie nacięte znaczki boczne dla centrowania negatywów, oraz krzyżyk środkowy, wyznaczający nam położenie punktów głównych. Jak wiemy, położenia punktu głównego na negatywach są wyznaczone przez przecięcie się prostych łączących znaczki tłowe. Wkładając filmy do tarcz staramy się, aby znaczki tłowe znajdowały się ściśle na odpowiednich nacięciach na tarczy. Wówczas punkt główny będzie leżał na krzyżyku środkowym. Aby tak było rzeczywiście trzeba, aby łącznice bocznych nacięć na tarczach przecinały się dokładnie na krzyżyku środkowym. Można to sprawdzić odczytując na precyzyjnym koordynatografie spółrzedne wszystkich znaczków wyrytych na tarczy.

Jest rzeczą ważniejszą jednak, aby krzyżyk środkowy leżał na osi obrotu tarczy, w przeciwnym bowiem razie wykonana triangulacja nie będzie ani z punktów głównych, ani nadirowych, ani izocentrycznych, ale z jakichś zupełnie innych, przesuniętych o stałą wielkość w stosunku do punktów głównych. Sprawdzenie takie należy przeprowadzić

dla wszystkich tarcz należących do danego triangulatora i w przypadku stwierdzenia niedokładności błędy w położeniu krzyżyków środkowych należy bardzo starannie usunąć. Te czynności powinny być wykonane po uprzednim wyznaczeniu i usunięciu poprzednio opisanych mimośrodków, a niezależnie od tego sprawdzenie należy wykonywać przy dwu położeniach wózka i obu położeniach tarczy.

Niech punkty A, B, C i D (rys. 114) oznaczają położenia znaczków bocznych na tarczy. Krzyżyk środkowy znajduje się w punkcie O odległym od osi obrotu O_1 o wielkość e . Odległości osi obrotu od prostych AB i CD oznaczmy przez m i n ; wreszcie odległości znaczków bocznych od osi obrotu — przez a .



Rys. 114

W celu wyznaczenia mimośrodu e mierzymy kierunki do punktów A, B, C, D przy dwu położeniach wózka i obu położeniach tarczy, a następnie obliczamy kąty β i γ z wzoru:

$$\beta = \frac{1}{2} \{ 180 - [(O_1A) - (O_1B)] \},$$

$$\gamma = \frac{1}{2} \{ 180 - [(O_1C) - (O_1D)] \}.$$

Z trójkątów prostokątnych O_1MB i O_1NC otrzymamy:

$$m = \frac{a}{\rho} \cdot \beta \quad \text{i} \quad n = \frac{a}{\rho} \cdot \gamma.$$

Wreszcie, ponieważ $OM \cong NO_1 \cong n$, otrzymamy

$$e^2 = m^2 + n^2 = \frac{a^2}{\rho^2} \cdot \beta^2 + \frac{a^2}{\rho^2} \cdot \gamma^2,$$

skąd

$$e = \frac{a}{\rho} \sqrt{\beta^2 + \gamma^2}. \quad (4)$$

Z mechanicznych części triangulatora powinny być jeszcze zbadane koła podziałowe. Badanie to można przeprowadzić analogicznie do badania limbusów w teodolitach. W tym celu należy wykreślić na płycie szklanej, powleczonej emulsją, kąt wynoszący 30 względnie 45° i mierzyć go przy obu położeniach wózka i tarczy na różnych częściach limbusa zmieniając jego położenie o wielkość mierzonego kąta. Jeżeli więc kąt mierzony wynosi 45°, to zaczynamy obserwacje na kresce 0°, potem przesuwamy na 45°, 90°, 135°, 180° itd. aż do 315°. Średnia z otrzymanych wartości będzie wartością najprawdopodobniejszą. Odejmując ją od wartości poszczególnych, otrzymanych na różnych miejscach limbusa, otrzymamy błędy kreszek: 45°, 90°, itd.

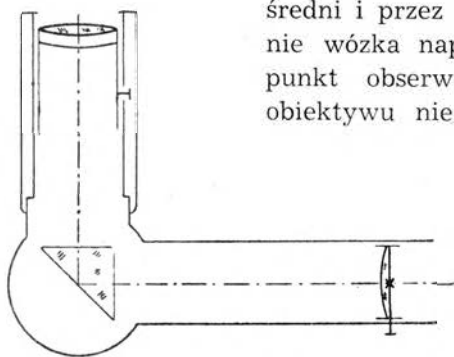
Poza tym należy jeszcze sprawdzić prawidłowe osadzenie pryzmatów Dovego. Przy obrocie każdego z nich powinny się obracać obrazy dokładnie dokoła osi optycznych mikroskopów, a zatem znaczek pomiarowy przy tej czynności nie powinien schodzić z punktu, na który został nastawiony.

Po wyznaczeniu błędów instrumentalnych, o ile przekraczają one wymagane dokładności, niektóre z nich można usunąć samemu, o usunięcie innych trzeba zwrócić się do fabryki względnie odpowiednich warsztatów mechaniki precyzyjnej.

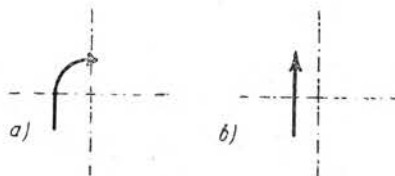
Do błędów, które można samemu usunąć, należy niecentryczne położenie środkowych krzyżyków na tarczach i mimośród znaczków pomiarowych.

W celu usunięcia pierwszych należy odśrubować płytę szklaną, na której znaczki są nacięte, i przez podkładanie odpowiedniej grubości skrawków preszpanu względnie papieru rysunkowego doprowadzić do położenia właściwego.

Rektyfikacja znaczków pomiarowych¹⁾ jest przewidziana konstrukcyjnie. W tym celu obiektywy mikroskopów są osadzone mimośrodowo, wskutek czego, przy ich obracaniu, uzyskuje się przesuwanie znaczków pomiarowych wzdłuż pewnej krzywej, jak pokazane na rys. 116 a. W celu przeprowadzenia rektyfikacji obserwujemy jeden z bocznych znaczków tarczy przy dwu położeniach wózka i wykonujemy odczyty na limbusie. Średnia z odczytów da nam właściwe położenie znaczka. Nastawiamy więc tarczę na odczyt średni i przez obracanie obiektywu oraz przesuwanie wózka naprowadzamy znaczek pomiarowy na punkt obserwowany. Jeżeli ruch mimośrodowy obiektywu nie wystarcza, wówczas należy obrócić



Rys. 115



Rys. 116

nieduży pryzmat znajdujący się za obiektywem (rys. 115), co powoduje przesunięcie znaczka w kierunku prostopadłym do ruchu wózka, jak

¹⁾ Znaczki pomiarowe są nacięte na płaskiej stronie kolektywu, umieszczonego za pierwszym pryzmatem.

pokazane na rys. 116 b. Obracanie pryzmatu jest mniej wygodne, toteż stosuje się je do przesunięć większych, a drobne ruchy wykonuje się za pomocą mimośrodowego ruchu obiektywu.

Dokładność obserwacji na triangulatorze radialnym zależy w bardzo dużej mierze od jakości zdjęcia. Dotyczy to zarówno charakteru powierzchni zdjętego terenu jak i jakości negatywu pod względem ostrości, ziarnistości emulsji i ewentualnej deformacji filmu, jeżeli zdjęcia są na filmach.

12. PRZEBIEG CZYNNOŚCI PRZY OPRACOWYWANIU PODKŁADÓW DROGĄ RADIALNEJ TRIANGULACJI

Przy zdejmowaniu dużych obszarów plan nalogów opracowuje się głównie pod kątem widzenia możliwie ekonomicznego wykonania zdjęć lotniczych z uwagi na wysokie koszty samego lotu oraz ograniczoną ilość dni pogodnych w ciągu roku. W zależności od tego czy zdjęcia mają być przetwarzane na podstawie podkładu zakładanego w terenie, czy drogą radialnej triangulacji, uwzględnia się w planie inny procent pokrycia w szeregach. W pierwszym przypadku projektuje się pokrycie 30%, w drugim — 60%.

Po wykonaniu zdjęć lotniczych i sporządzeniu odbitek stykowych, sprawdza się czy zdjęcia zostały wykonane zgodnie z programem, i ustala poszczególne odcinki szeregów, które mają być obserwowane na triangulatorze. Zdarza się niekiedy, że niektóre szeregi zdjęć posiadają przerwy w pokryciu bądź też zostały wykonane w ciągu dwu różnych lotów. W takich przypadkach, w miejscach tych należy przerwać łańcuch rozet, gdyż w przypadku pokrycia poniżej 50% zbudowanie rozety jest niemożliwe, a w przypadku zdjęć, wykonanych w ciągu różnych lotów, nie stanowią one jednolitego materiału i z tego względu nie powinny być na równi traktowane przy obliczeniach.

W zależności od długości szeregów projektuje się rozmieszczenie punktów dowiązania. Wskutek różnorodnych błędów, występujących w radialnej triangulacji, zresztą podobnie jak i w każdej innej metodzie pomiarowej, łańcuchy rozet nie mogą być zbyt długie. Zależnie od wymaganej dokładności ustalamy je na 5, 10, co najwyżej 15 km, i w takich odstępach powinny być wyznaczone geodezyjnie punkty dowiązania.

Położenie punktów dowiązania w stosunku do łańcucha rozet powinno być takie, aby mogły one wejść jako punkty boczne poszczególnych rozet, a więc powinny być obierane w pasie wspólnym dla trzech zdjęć sąsiednich i niezbyt blisko bazy, aby dokładność ich wyznaczenia drogą triangulacji radialnej była taka sama jak i punktów pozostałych. Z uwa-

gi na możliwość popełnienia błędów bądź w identyfikacji, bądź w pomiarach geodezyjnych, jest rzeczą niemal konieczną, aby punkty dowiązania były obierane grupami. A więc projektowanie podkładu geodezyjnego dla radialnej triangulacji będzie dotyczyło ustalenia grup punktów dowiązania w odpowiednich odstępach. Należy przy tym liczyć się z warunkami terenowymi, aby nie komplikować zbytnio prac geodezyjnych w terenie. Z tego względu, w pierwszym rzędzie, jeżeli pomiary mają być wykonane metodą poligonizacji paralaktycznej, należy zaprojektować ciągi główne przez tereny możliwie łatwe do przebycia, przybliżony bieg tych poligonów wkreśla się na odbitki, a następnie projektuje dokładne położenia punktów dowiązania oraz punktów bocznych w poszczególnych rozetach.

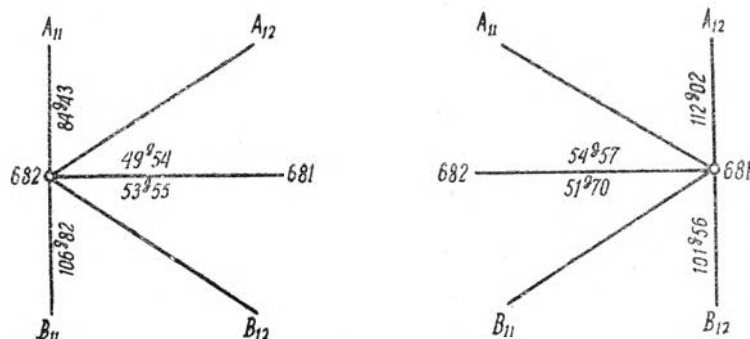
W ten sposób przygotowany materiał służy z jednej strony partiom pomiarowym do założenia podkładu geodezyjnego, z drugiej — obserwatorowi do wykonania pomiarów na triangulatorze.

Przebieg obserwacji na triangulatorze radialnym dostatecznie szczegółowo został omówiony w rozdziale poprzednim. Wystarczy zatem tylko pokrótce przypomnieć, że po odpowiednim ułożeniu negatywów w tarczach przeprowadza się strojenie bazy przy dwu położeniach pryzmatów Dovego i odczytuje się kierunki dla każdego zestrojenia oddzielnie biorąc do obliczeń wartości średnie. Niekiedy doświadczeni obserwatorowie poprzestają na jednokrotnym zestrojeniu bazy przy normalnym położeniu pryzmatów. Po zestrojeniu bazy naprowadza się obrazy punktów bocznych na znaczki pomiarowe. W celu skontrolowania czy nastawienie jest poprawne, wywołuje się efekt stereoskopowy przez odpowiednie skrócenie obrazów za pomocą pryzmatów. Ma to na celu doprowadzenie obrazów do takiego położenia, jakie musimy mieć, aby uzyskać maksimum efektu stereoskopowego. Czynność ta dla obserwatorów, zwłaszcza początkujących lub wykonujących te prace sporadycznie, jest dość kłopotliwa, bo wymaga uprzytomnienia sobie za każdym razem, przy pomocy odbitek stykowych, jak powinna wyglądać w mikroskopach sytuacja dokoła punktu obserwowanego. W Biurze Fotogrametrycznym Głównego Urzędu Pomiarów Kraju wprowadzono pewne udogodnienie, pozwalające na wykonywanie tej czynności bez potrzeby skupiania uwagi. Polega ono na tym, że przed założeniem negatywów do triangulatora, po stronie przeciwnej emulsji, oznacza się położenia punktów bocznych specjalną pieczątką w formie dość dużego okręgu koła z kreską na zewnątrz okręgu. Pieczętowanie to wykonuje się tak, że kreska pieczątki na wszystkich negatywach jest zwrócona stale w tym samym kierunku, prostopadle do osi szeregu. Znak zrobiony pieczątką ułatwia odszukanie punktu, a po wprowadzeniu go w pole widzenia mikroskopu pozwala na zupełnie mechaniczne doprowadzanie obrazów do właściwego położenia. Należy bowiem przy pomocy pry-

zmatów obrócić obrazy tak, aby kreski odbitych pieczętką znaków były widziane w obu mikroskopach jako pionowe.

Wyniki obserwacji notuje się na odpowiednich schematach oddzielnie dla poszczególnych stereogramów. Przykład takiego schematu jest podany na rys. 117. Wskazane jest, aby obserwator miał protokulanta,

Fotogram lewy Nr 682						Nr p-tu	Fotogram prawy Nr 681					
Tarcza Nr 2							Tarcza Nr 3					
0	1	2		średnie			0	1	2		średnie	
287	90	92		287	91	A 11	147	34	36		147	35
253	01	03		253	02	A 12	89	80	80		89	80
203	46	50		203	48		201	77	87		201	82
149	93	93		149	93	B 12	303	37	39		303	38
96	67	65		96	66	B 11	253	53	51		253	52



Rys. 117.

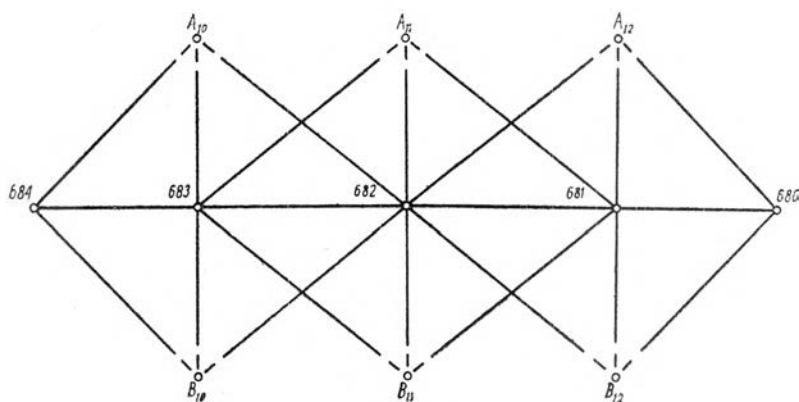
aby z jednej strony nie potrzebował zbyt często zmieniać akomodacji oczu patrząc raz przez mikroskop, drugi raz na kartkę papieru podczas zapisywania, z drugiej zaś, aby zwiększyć tempo pracy i możliwie lepiej wykorzystać stosunkowo drogi instrument.

W wierszu środkowym, oddzielnym grubszymi kreskami, notuje się kierunki odpowiadające bazie. Protokulanta oblicza od razu poniżej wartości kątów oraz wynajduje $\lg$ sinusów kątów, które wpisuje do schematu pokazanego na rys. 118. Wolne kolumny w obu schematach służą na wypadek potrzeby powtórzenia obserwacji. Jeżeli bowiem wolny

wyraz warunku boków wypadnie zbyt duży, obserwator od razu, przed zmianą negatywów, powtarza obserwację w celu wykrycia pomyłki.

Dalsze obliczenia powierza się zazwyczaj już komu innemu. Można je przeprowadzać różnymi sposobami. A więc można by zastosować wy-

lg sin	Rozeta Nr 683			Rozeta Nr 682			Rozeta Nr 681			lg sin
2	9,66485	lg b_1	2,81946	9,75918	lg b_3	2,85609	9,84632	lg b_2	2,81967	2
5+7	9,97143			9,91331			9,79741			5+7
8	9,90992			9,86077			9,91934			8
3	9,76923			9,84340			9,81166			3
	3,31543	(lg b_3)	2,85644	3,37666	(lg b_2)	2,81935	3,37473	(lg b_1)	2,81422	
2+4	9,72567			9,83130			9,75419			2+4
7	9,87362			9,87793			9,89499			7
6+8	9,85640			9,78278			9,85320			6+8
1	9,85904			9,88530			9,87240			1
	3,31473	(lg b_3)	2,85574	3,37731	(lg b_2)	2,82000	3,37478	(lg b_1)	2,81427	
		lg b_3	2,85609		lg b_2	2,81967		lg b_1	2,81424	
ω	+70			-65			-5			ω



Rys. 118

równanie ściśle według zasad rachunku wyrównania. Nie byłoby to jednak celowe ze względu na stosunkowo liczne źródła błędów, jakimi są obarczone obserwacje i niewielką ilość obserwacji nadliczbowych. Przeprowadzone na ten temat przed wojną prace porównawcze w Zakładzie Geodezji Politechniki Warszawskiej wykazały, że ściśle wyrównanie nie podnosi dokładności.

Wszystkie niemal stosowane w praktyce sposoby obliczeń przewidują wyrównanie wewnętrzne, wpasowanie i wyrównanie zewnętrzne.

i punkt ten przyjąć za początek układu jednych i drugich spólrzędnych, a następnie zestawić dla każdego punktu dowiązania znane z geometrii analitycznej równania na zmianę układu spólrzędnych [16] typu:

$$x_0 + x(k \cdot \cos \alpha) + y(k \cdot \sin \alpha) - x' = 0,$$

$$y_0 + y(k \cdot \cos \alpha) - x(k \cdot \sin \alpha) - y' = 0,$$

gdzie k jest spólczynnikiem skali. Z równań tych, zgodnie z teorią najmniejszych kwadratów, można obliczyć najprawdopodobniejsze wartości.

Dla uproszczenia, po obliczeniu spólrzędnych X_s i Y_s można poobliczać azymuty i długości wszystkich punktów dowiązania w stosunku do środka ciężkości w jednym i drugim układzie. Z różnic azymutów i stosunków długości otrzymamy szereg wartości na kąt skręcenia układu i spólczynnik skali, z których obliczymy średnie i te przyjmujemy do obliczenia spólrzędnych ostatecznych.

W ten sposób otrzymane spólrzędne punktów dowiązania nie będą identyczne ze spólrzędnymi, uzyskanymi na podstawie pomiarów w terenie, ale na ogół nie powinny się od nich różnić więcej, niż pozwalają na to normy dla przyjętej dokładności. Dla zupełnego ich uzgodnienia rozrzucamy odchyłki równomiernie na poszczególne rozety. W przypadku, jeżeli odchyłki byłyby dość znaczne, to ten sposób wykonania obliczeń byłby niewygodny przy dalszym opracowaniu, bo mogłyby tu wystąpić zniekształcenia poszczególnych rozet tego rzędu, że powstałyby już trudności przy przetwarzaniu. Charakteryzowałoby to jednak faktyczną dokładność opracowania. Jeżeli podkład geodezyjny i obserwacje zostały wykonane starannie, odchyłki przekraczające dopuszczalne granice dokładności należy przypisać nierównościom terenu, znacznym nachyleniom zdjęć względnie błędom instrumentalnym triangulatora radialnego. Groźne są również niewielkie nawet błędy, ale systematyczne, występujące np. wtedy, kiedy wszystkie zdjęcia szeregu są nachylone pod jakimś stałym kątem. Wykrycie ich jest dość trudne, a czasem wprost niemożliwe. Można jednak niekiedy wyznaczyć ich charakter, jeżeli poza punktami dowiązania na początku i końcu szeregu posiadamy jeszcze punkty pośrednie. Po wpasowaniu łańcucha rozet między punkty dowiązania, położone na obu końcach szeregu, obliczamy różnice dla punktów pośrednich. Jeżeli aerotriangulacja jest obciążona błędami systematycznymi, wówczas da się zauważyć jakaś regularność w wielkościach otrzymanych różnic, z których można określić charakter wygięcia całego łańcucha i odpowiednio do tego przeprowadzić wyrównanie.

Inny sposób, stosowany w Biurze Fotogrametrycznym Głównego Urzędu Pomiarów Kraju, polega na wyznaczeniu z początkowej grupy punktów dowiązania długości bazy i jej azymutu.

Przyjmijmy, że jako punkty dowiązania zostały obrane punkty A i B (rys. 120), zaobserwowane z bazy O_1O_2 . Obierając początek układu w punkcie O_1 i kierunek osi Y pokrywający się kierunkiem bazy, obliczymy z łatwością współrzędne dowolne punktów A i B w obranym przez nas układzie.

Możemy przyjąć, że długość bazy $O_1O_2 = O_1A_1 + A_1O_2 = O_1B_1 + B_1O_2 = 100$.

Wtedy:

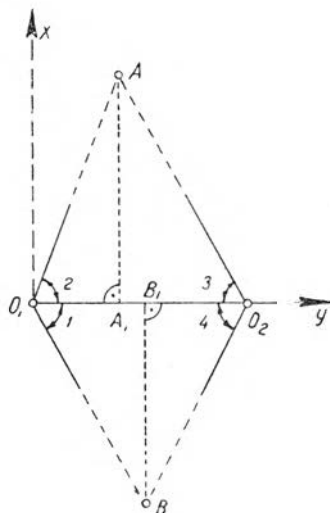
$$X_A = \frac{100}{\operatorname{ctg} 2 + \operatorname{ctg} 3} \quad \text{i} \quad Y_A = X_A \cdot \operatorname{ctg} 2,$$

$$\text{a} \quad X_B = - \frac{100}{\operatorname{ctg} 1 + \operatorname{ctg} 4} \quad \text{i} \quad Y_B = X_B \cdot \operatorname{ctg} 1,$$

skąd można obliczyć przyrosty łącznicy punktów A i B oraz jej długość i azymut.

Z porównania tych wartości z odpowiednimi, obliczonymi ze współrzędnych terenowych, otrzymamy współczynnik skali i kąt skręcenia układu dowolnego względem układu współrzędnych terenowych. Dane te pozwolą nam na obliczenie, jednocześnie z wyrównaniem wewnętrznym rozet, współrzędnych poligonu punktów głównych w układzie współrzędnych terenowych.

Po dojściu do następnej grupy punktów dowiązania otrzymamy niewielkie odchyłki, które rozrzucajemy podobnie jak przy wyrównaniu ciągów poligonowych. Po otrzymaniu ostatecznych współrzędnych punktów głównych obliczamy współrzędne punktów bocznych, które stanowią podkład do przetwarzania zdjęć.



Rys. 120

13. ORGANIZACJA PRAC FOTOGRAMETRYCZNYCH

Mówiąc o organizacji prac fotogrametrycznych należy rozróżnić prace, wykonywane przez biura specjalnie dla tych celów utworzone i prace fotogrametryczne, prowadzone sporadycznie przez instytucje o innych zadaniach, dla których fotogrametria jest jedynie pewnym środkiem pomocniczym przy rozwiązywaniu zadań głównych.

W ostatnim wypadku prace fotogrametryczne prowadzone są zwykle w wąskim bardzo zakresie, pod kierunkiem fachowców innych

specjalności, w pewnych ściśle ustalonych ramach i według instrukcji pisanych lub niepisanych, opracowanych przy współudziale fotografów zawodowych. Organizacją tego rodzaju prac nie będziemy się zajmowali, ponieważ ona w każdym poszczególnym przypadku musi być dostosowana do ram organizacyjnych, wynikających z zadania głównego. Poza tym i metody tu stosowane są w każdym poszczególnym przypadku zasadniczo różne, przeważnie bardzo uproszczone, nie wymagające ani kosztownego sprzętu, ani też wysoko kwalifikowanego personelu. Omówimy przeto zasadnicze momenty, które powinny być brane pod uwagę przy organizacji prac fotogrametrycznych przez biura specjalnie do tego celu stworzone. Niektóre były już poruszone w poprzednich rozdziałach przy omawianiu technicznej strony prac fotogrametrycznych. Pewne wnioski stąd będą mogły być wyciągane i wykorzystywane przy organizowaniu również i podręcznych pracowni fotogrametrycznych we wspomnianych poprzednio instytucjach.

Przy organizowaniu prac fotogrametrycznych należy brać pod uwagę zasadnicze cechy charakterystyczne tej metody, którymi są: szybkość i taniość. Obie te cechy mogą być jednak osiągnięte tylko przy oparciu organizacji pracy na metodzie naukowej. Do uzyskania ostatecznego produktu, jakim jest plan opracowany fotogrametrycznie, potrzebna jest praca kilku odrębnych zespołów: lotników, fotografów i pomiarowców, przy czym nie wszystkie z tych zespołów mogą wykonywać swą pracę w dowolnym czasie w ciągu roku. Sezon prac fotolotniczych rozciąga się mniej więcej od maja do listopada, przy czym jak to już było omówione w rozdziale 4, zdjęcia lotnicze mogą być wykonywane jedynie w dni bezchmurne, których w ciągu roku w naszym klimacie mamy zaledwie około 30. Prace pomiarowe w terenie, dotyczące zakładania podkładów geodezyjnych i odczytywania zdjęć, również mogą być wykonywane tylko w okresie od kwietnia do listopada. W okresie zimowym bowiem praca jest bardzo mało wydajna lub z powodu pokrywy śnieżnej — wręcz niemożliwa. Jedynie prace biurowe mogą być wykonywane przez cały rok, o ile są wszystkie potrzebne do tego dane, jak zdjęcia, podkład geodezyjny i wyniki odczytania.

Dla osiągnięcia dobrych wyników (należytej dokładności) ze względu na charakter prac fotogrametrycznych musi w pracy panować rytmiczne spokojne tempo, czego nie zapewniają na ogół organizacje oparte na intuicji jednostki. W tych bowiem przypadkach decyzje w sprawie przydziału pracy zapadają „od ręki“, praca jest wykonywana w stałym napięciu nerwowym — gorączkowo. Nie bez wpływu na wyniki są również warunki lokalowe i wewnętrzne zadowolenie pracowników. Lokal jasny, czysty, ze smakiem umeblowany oraz życzliwe, koleżeńskie stosunki wśród pracowników między sobą oraz między pracownikami a

ich kierownikami sprawiają, że życie w danym środowisku staje się weselszym. „A gdy życie jest wesołe, to i praca idzie lepiej, a w wyniku wysokie normy wydajności“¹⁾).

Marks pod pojęciem sił wytwórczych rozumie: narzędzia produkcji, ludzi posługujących się tymi narzędziami, zdobyte doświadczenia w wytwórczości oraz wprawę w wykonywaniu danej pracy.

Twórcy teorii naukowej organizacji pracy: Taylor, K. Adamiecki i inni wymagają od organizatorów „znajomości wszystkich czynników sprawności i skuteczności akcji oraz doświadczenia uporządkowanego“.

W organizowaniu przewidują następującą kolejność postępowania, zwaną cyklem organizacyjnym:

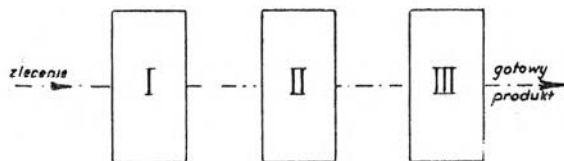
1. Ustalenie zadania odpowiadającego celowi (cel).
2. Dokładne przeanalizowanie zadania oraz zbadanie środków i warunków, których trzeba użyć, aby zadanie było wykonane i cel został osiągnięty (analiza).
3. Przygotowanie odpowiednich środków i warunków (przygotowanie).
4. Wykonanie działania zgodnie z planem (wykonanie).
5. Kontrola wyników działania (kontrola).

Poza tym system funkcjonalny Taylora wymaga, aby praca każdego pracownika sprowadzała się do wykonywania jednej zasadniczej czynności.

Z różnych systemów produkcji, rozróżnianych w naukowej organizacji pracy, najbardziej odpowiedni dla prac fotogrametrycznych jest system produkcji seryjnej. Polega on na tym, że pierwsze zlecenie otrzymuje biuro I (rys. 121), które przekazuje wykonaną przez siebie pracę biuru II; to przekazuje biuru III itd. aż do ostatniego, z którego wychodzi gotowy produkt.

Powinny być przy tym opracowywane okresowo szczegółowe plany pracy z uwzględnieniem możli-

wie krótkich okresów czasu (poszczególnych dni, co najwyżej tygodni) w formie np. wykresów Gantta (patrz: Z. Zbichowski, „Zasady organizacji i kierownictwa“ Warszawa 1948).



Rys. 121.

¹⁾ Z przemówienia J. Stalina na pierwszej wszechzwiązkowej naradzie stachanowców, dnia 17. 11. 1935.

W interesującym nas przypadku „produkcji” fotogrametrycznej, z dokładnej analizy zadania wynika następujący podział na biura, które nazwiemy działami:

- Dział I. Foto-lotniczy.
- „ II. Fotograficzny.
- „ III. Podkładów:
 - a) wykonywanych na podstawie pomiarów w terenie,
 - b) drogą radialnej triangulacji.
- „ IV. Przetwarzania.
- „ V. Fotoplanów.
- „ VI. Odczytywania zdjęć i opracowywania planów rysunkowych.
- „ VII. Reprodukcji.

Do zakresu pracy działu foto-lotniczego wchodzi przygotowanie planów lotu na podstawie otrzymanych od kierownictwa dyspozycji, oraz wykonanie zdjęć lotniczych. Pracownicy tego działu dzielą się na ekipy, w skład których wchodzi:

1. Nawigator, kierownik ekipy, który powinien, o ile możliwości posiadać poza przygotowaniem fotogrametrycznym wyszkolenie przewidziane dla obserwatorów lotnictwa. Powinien on osobiście przygotowywać mapy nalotów, bo przy tej okazji zapoznaje się z terenem pracy i wszelkimi oznaczeniami na mapie. W czasie lotów do jego obowiązków należy podanie pilotowi kursu, wysokości i ewentualnych danych dla nastawienia statoskopu. Podczas fotografowania wydaje on zlecenia zarówno pilotowi jak i operatorowi. Z każdego lotu sporządza raport na odpowiednim formularzu, gdzie poza ogólnymi danymi, jak: data, godzina startu i lądowania, znak samolotu, Nr. kamery itp., powinny być podane: Nr początkowy i końcowy zdjęć, warunki atmosferyczne, użyty czas naświetlenia oraz dokładne oznaczenie zdjętego obszaru (z wyszczególnieniem numerów szeregów).

W sezonie zimowym dobrze jeżeli nawigator jest zatrudniony przy opracowywaniu zdjęć, bo wtedy dokładnie poznaje trudności, jakie powstają w pracy wskutek wadliwego wykonania zdjęć.

2. Pilot, który powinien posiadać już pewne doświadczenie w swoim zawodzie i być przyzwyczajony do lotów długodystansowych, gdyż loty na foto trwają niekiedy po 6 — 8 godzin.

3. Operator, który powinien być jednocześnie mechanikiem lotniczym. Takie połączenie kwalifikacji jest wygodne organizacyjnie, a ma specjalne znaczenie wtedy, kiedy loty na foto nie są wykonywane z lotniska macierzystego, ale z innego, położonego bliżej zdejmowanego obszaru, czasami pozbawionego należytej obsługi fachowej.

Ponieważ każdy człowiek posiada różną szybkość i sposób reakcji, powinno się dążyć, aby skład ekipy był stale ten sam. Jakość wykona-

nej przez nich pracy zależy od każdego z nich. Dobrych zdjęć może dostarczyć jedynie zgrany zespół, toteż jest wskazane premiowanie nie indywidualne, ale zespołowe, w zależności od ilości dobrze wykonanych zdjęć. Przy obliczaniu wysokości premij trzeba przyjąć jakąś skalę zdjęcia i jakieś pokrycie za zasadnicze, a w przypadku wykonywania zdjęć przy innych założeniach wprowadzać współczynniki zależnie od stopnia trudności.

Dział fotograficzny składa się z fotografów, których część jest wyspecjalizowana w wywoływaniu negatywów, reszta w robieniu odbitek stykowych. Ze względu na wysokie koszty wykonania zdjęć należy zwracać specjalnie baczną uwagę na obróbkę negatywów i w tym przypadku premiowanie od ilości może dać złe rezultaty. Kierownik tego działu względnie kierownik techniczny powinien posiadać bardzo wysokie kwalifikacje foto-chemiczne, aby mógł w pewnych przypadkach uratować zdjęcia zbyt krótko względnie zbyt długo naświetlone. Poza tym w fotogrametrii jest rzeczą bardzo ważną, aby partie znajdujące się w cieniu rzuconym były również choć trochę czytelne.

Personel tego działu może być ewentualnie wspólny z działem reprodukcji, o ile do reprodukcji jest przewidziana metoda wyłącznie fotograficzna. Przy innych metodach reprodukcji, jakie stosowane są w kartografii, oczywiście musi być użyty personel o kwalifikacjach specjalnych.

Dział przygotowania podkładów wymaga bardziej różnorodnego personelu, a mianowicie:

1. Projektantów (projektujących), którymi powinni być fotogrametryści, znający się dobrze na polowych pracach pomiarowych, aby zaprojektowane przez nich ciągi można było założyć w polu bez zbyt dużych trudności, a jednocześnie, aby rozmieszczenie foto-punktów względnie punktów dowiązania było właściwe i wystarczające do przetwarzania i przeprowadzenia radialnej triangulacji.

2. Partie pomiarowe, składające się z inżyniera geodety względnie mierniczego samodzielnego, protokulanta i pracowników fizycznych. Kierownik partii powinien doskonale umieć czytać zdjęcia lotnicze, aby nie było pomyłek w identyfikowaniu punktów w terenie z ich obrazami na zdjęciach. Ponieważ wydajność tych prac zależy od pracy całego zespołu, przeto premiowanie powinno być również nie indywidualne, lecz zespołowe. Jeżeli do wyznaczania współrzędnych foto-punktów względnie punktów dowiązania stosowane są metody paralaktycznego pomiaru odległości, pracownicy fizyczni muszą wtedy przejść pewne przeszkolenie. Ze względu na wydajność pracy lepiej jest, jeżeli skład zespołu pozostaje niezmienny. Ponieważ partie pomiarowe pracują zasadniczo tylko w sezonie letnim, należy przewidzieć dla tych pracowników jakieś przydziały pracy na okres zimowy. Pracownicy umysłowi

mogą być użyty bez trudności do wykonywania obliczeń własnych obserwacji letnich względnie do prac obliczeniowych triangulacji radialnej. Trudniej jest z wykorzystaniem pracowników fizycznych. Można ich ewentualnie wykorzystać do różnych prac introligatorskich (np. wycinanie i klejenie kopert na fotoplany, przygotowywanie teczek, plansz aluminiowych itp. — na skład, stwarzając w ten sposób zapas roczny).

3. Zespoły obserwacyjne na triangulatorach radialnych, dwuosobowe, składające się z obserwatorów i protokulantów. Obserwatorami mogą być technicy o dobrej zdolności stereoskopowego widzenia. Protokulantami — osoby o przygotowaniu średnim w zakresie ogólnokształcącym. Do obowiązków protokulantów powinno należeć notowanie wyników obserwacji, obliczanie kątów i układanie warunków boków w poszczególnych rozetach.

W czasie obserwacji protokulant notuje dyktowane mu przez obserwatora odczyty i oblicza kąty wpisując je w odpowiednich miejscach gotowego już schematu. Podczas zmieniania negatywów i strojenia bazy — wyszukuje w tablicach logarytmu sinusów odpowiednich kątów. W ten sposób istnieje pewność, że w obserwacjach nie ma pomyłek. Jeżeli wyraz wolny w warunku boków jest zbyt duży, obserwator przed wymienieniem negatywów może jeszcze sprawdzić swoje obserwacje i wykryć popełniony błąd grubo.

4. Rachmistrze do wykonywania obliczeń triangulacji radialnej i pomiarów połowych. Na pracowników tej kategorii nadają się najlepiej technicy mierniczy, biegli w rachowaniu. Zgodnie z przytoczoną wyżej zasadą każdy z nich powinien otrzymywać stale pewien rodzaj obliczeń do wykonania. Przy tego rodzaju organizacji kierownik tego działu powinien posiadać duże przygotowanie i doświadczenie w zakresie rachunków geodezyjnych i fotogrametrycznych, aby potrafił szybko ocenić wartość otrzymywanego materiału obliczeniowego od poszczególnych pracowników i zorientować się czy istniejące odchyłki wynikają z nieuniknionych błędów przypadkowych, czy też istnieją tam również i jakieś błędy systematyczne względnie grube pomyłki, które należałoby wykryć i usunąć.

Dział przetwarzania będzie składał się z pracowników trzech rodzajów:

1. Techników do pracy na koordynatografie; ich zadaniem jest przygotowywanie podkładów do przetwarzania i nanoszenie foto-punktów i wszelkich innych punktów o znanych współrzędnych na arkusze, na których mają być zestawione fotoplany względnie mają być opracowywane plany rysunkowe. Dobre wyniki daje i tu tworzenie zespołów dwuosobowych, pracujących na przemian: jeden dyktuje, a drugi nastawia, a po pewnym czasie zmieniają swoje czynności, przez co praca staje się mniej monotonna.

2. Zespoły do pracy na przetwornikach złożone z technika i fotografa. Praca pierwszego polega na zestrzajaniu zdjęć, drugiego na odpowiednim naświetleniu i obróbce fotograficznej przetworzonego zdjęcia. Rozdzielenie tych czynności jest wskazane ze względu na różny charakter obu tych prac oraz możliwość częściowego wykonywania ich w tym samym czasie, przez co zwiększa się wydajność i lepsze wykorzystanie kosztownego instrumentu.

Dział fotoplanów będzie posiadał:

1. Personel techniczny do zestawiania fotoszkiców i fotoplanów. Do prac tych nie jest potrzebne jakieś gruntowniejsze przygotowanie teoretyczne. Od pracownika jednak jest wymagana duża staranność i pewien smak estetyczny. Do tego rodzaju pracy bardzo odpowiednie są kobiety, przywykłe do pracy mrówczej i drobiazgowej.

2. Retuszerów do ostatecznego wykańczania fotoplanów względnie fotoszkiców. Praca ich odpowiada retuszowi fotograficznemu. Muszą oni jednak być świadomi wartości technicznej fotoplanów, aby dla estetyki nie zniekształcali obrazu, bo wtedy straci on swoją wartość pomiarową.

Personel działu opracowywania planów rysunkowych wymaga kwalifikacyj zarówno fotogrametrycznych jak i pomiarowych. Pracownicy tej grupy powinni mieć za sobą dość dużą praktykę polową w zakresie zdjęć szczegółowych, aby dobrze zdawali sobie sprawę co ma stanowić treść planu. Z drugiej strony powinni posiadać gruntowne wiadomości z zakresu fotogrametrii, aby w każdym poszczególnym przypadku potrafili ustalić przyczyny ewentualnych niezgodności i usunąć je w sposób właściwy. Do zakresu czynności pracowników tej kategorii należy odczytywanie zdjęć w terenie i wykonanie w ołówku oryginału planu. Aczkolwiek możliwe jest łączenie odczytania zdjęć z zakładaniem podkładu geodezyjnego w terenie, to jednak osiąga się lepsze wyniki i unika wielu błędów, jeżeli opracowanie planów rysunkowych wykonuje ta sama osoba, która odczytywała zdjęcia w terenie. Unika się wtedy straty czasu na rozpatrywanie zdjęć w stereoskopie dla wyjaśnienia różnych wątpliwości.

Poza tym w dziale tym będą zatrudnieni kreślarze, których zadaniem jest opisywanie i wykreślanie tuszem ostatecznych produktów pracy fotogrametrycznej.

Poza wyżej wymienionym personelem czysto wykonawczym potrzebna jest jeszcze pewna grupa fachowców mniej lub więcej liczna do nadzoru i kontroli, podległa bezpośrednio kierownictwu danej instytucji.

Kreślarze mogą być ewentualnie zgrupowani w pracowni wykończeniowej, obsługującej zarówno działy V i VI.

Personel działu reprodukcji zależy ściśle od projektowanych sposobów reprodukcji. Jeżeli ostatecznym produktem jest mapa, która ma

być wydana w tysiącach egzemplarzy, może nawet wielobarwnie, sprawa reprodukcji staje się już zagadnieniem poważnym i złożonym, wymagającym specjalnego rozwiązania organizacyjnego. Prace takie są powierzane do wykonania zakładom reprodukcyjnym. W ramach instytucji fotogrametrycznych wykonuje się zazwyczaj jedynie nieskomplikowane reprodukcje jednobarwne drogą czysto fotograficzną: fotopłanów i drogą prześwietlania (cjanotypie, światłokopie) odrysów planów rysunkowych. Do wykonywania pierwszych potrzebni są fotografowie do drugich — kopiści.

Reprodukcje fotograficzne można wykonywać dwojako: na dużym aparacie reprodukcyjnym w skali 1 : 1 bądź też z oryginału można sporządzić negatyw w skali np. 4-krotnie mniejszej, a następnie wykonywać powiększenia na przetworniku w skali oryginału. Wówczas wykonanie tych powiększeń można by powierzać działowi przetwarzania.

Jak z tego zestawienia widać, w produkcji planów fotogrametrycznych daje się w bardzo szerokim zakresie zastosować zasada podziału produkcji na pojedyncze czynności zasadnicze. Dzięki temu ilość personelu o wysokich kwalifikacjach fotogrametrycznych może być niewielka, a większość prac — wykonywana przez pracowników wyspecjalizowanych w wykonywaniu stale jednej zasadniczej jakiejś czynności.

ПЛОСКАЯ ФОТОГРАММЕТРИЯ

Техника и организация съёмок равнинных местностей

Настоящий труд является практическим пособием для лиц, готовящихся к работе в области фотограмметрии и касается методов, которые могут применяться в равнинных местностях, преобладающих в рельефе Польши. В книге учтены достижения, явившиеся следствием многолетнего применения в широком масштабе этих методов, а также опыты, проведенные в Варшавском Политехническом Институте.

Вслед за кратким обзором истории развития фотограмметрии приведены геометрические зависимости между аэроснимками равнинной местности и планом, или картой этой местности.

Отдельные разделы охватывают:

1. Съёмки: а) условия, которым должны отвечать аэрофотоаппараты, с подробным описанием некоторых типов точных камер для измерений, б) аппараты для определения элементов внешней ориентировки (уровень, высотомер, статоскоп, солнечный перископ Сантони, метод Ненонена и гироскопический метод), а также в) техническое исполнение съёмок (разработка плана полетов, лётносъёмочные работы и фотомеханическая обработка негативов).

2. Методы трансформирования аэроснимков: а) графические, б) оптические, в) фотомеханические, г) связанные с ними полевые геодезические работы, д) изготовление окончательных фотопланов и чертежных планов, при котором учтены методы использования отдельных снимков при разработке планов в равнинных, но наклонных местностях (случаи, в которых следует применять двукратное трансформирование), а также в холмистых местностях (стреловое трансформирование, пантограф-реститутор).

3. Радиальтриангуляция: а) графические методы, б) теория, описание и проверка аппаратов, служащих для измерения углов на негативах, а также в) уравнивание радиальтриангуляции.

В последнем разделе помещены примечания, касающиеся организации аэрофотографического производства, а также подготовки кадров отдельных категорий.

PHOTOGRAMMÉTRIE PLANE

Technique et organisation des levés aériens en terrain plat

Comme le titre l'indique, cet ouvrage est un Manuel pratique destiné aux personnes appelées à travailler dans le domaine de la photogrammétrie et qui sont désireuses de connaître les procédés qui peuvent être appliqués sur les terrains plats, terrains relativement nombreux en Pologne.

Dans cet ouvrage on tient compte des résultats obtenus pendant des années par l'application de ces méthodes sur une vaste échelle et par les recherches scientifiques faites à l'Ecole Polytechnique à Varsovie.

Après un court historique de l'évolution des idées et des méthodes en matière de Photogrammétrie, dans cet ouvrage sont exposées les relations géométriques entre l'image photographique du terrain plat et le plan ou la carte de ce terrain.

La Table des Matières comprend:

1. Prises de vues: a) conditions auxquelles doivent répondre les chambres aériennes avec des descriptions détaillées de certains types de chambres métriques, b) installations pour déterminer les éléments de l'orientation extérieure (niveau, altimètre, statoscope, périscope solaire Santoni, procédés de Nenonen et méthode gyroscopique), c) problèmes de la prise de vues aériennes (préparation du projet d'un vol, travail dans l'air et travaux de laboratoire pour la préparation des négatifs).
2. Méthodes de redressement: a) graphiques, b) optiques, c) photomécaniques, d) travaux relatifs à la préparation au sol et e) exploitation des photographies isolées en vue des opérations d'établissement de photoplans et de plans de situation sur des terrains plats mais accidentés (cas, dans lesquels il faut utiliser le redressement double) et sur les terrains ondulés (restitutions par zones, pantographe-restituteur).
3. Triangulation radiale: a) procédés graphiques, b) théorie, description et vérification des appareils pour mesurer les angles sur les clichés et c) compensation de la triangulation radiale.

Dans le dernier chapitre on trouve des remarques relatives à l'organisation industrielle dans le domaine de la production photogrammétrique y compris des observations sur le recrutement du personnel appelé à exécuter diverses opérations.

LITERATURA

1. *Aschenbrenner C.* Über die Verwendung von Entzerrungsgeräten zur kartographische Darstellung von geneigten Gelände aus Flugzeugaufnahmen. Zeitschrift für Instrumentenkunde. Nr. 12. 1927.
2. *Brancewicz Cz.* Wyznaczenie błędów instrumentalnych: fototriangulatora Zeiss. Przegląd Fotogrametryczny. Nr. 19-20. 1936.
3. *Finsterwalder R.* Photogrammetrie. Berlin 1939.
4. *Gruber O., v.* Inwersoren. Zeitschrift für Instrumentenkunde. Nr. 45. 1925.
5. *Gruber O. v.* Optische Streckenmessung und Polygonierung. Berlin 1942.
6. *Gryglaszewski R.* Zdjęcia sytuacyjne rzek Polesia metodą aerofotogrametryczną. Brześć n/B. 1931.
7. *Gutkowski T.* Nowa metoda badania migawek centralnych. Przegląd Fotogrametryczny Nr. 19-20. 1936
8. *Hurault J.* Manuel de Photogrammétrie. Paris 1948.
9. *Kolanowski Wł.* Poligonizacja paralaktyczna jako podkład geodezyjny do zdjęć aerofotogrametrycznych. Przegląd Fotogrametryczny. Nr. 23-24. 1937.
10. *Lacmann, O.* Entzerrungsgerät für nicht ebenes Gelände. Bildmessung und Luftbildwesen. 1931.
11. *Lüschner H.* Kartieren nach Luftbildern. Berlin 1937.
12. *Martin R.* Coup d'oeil d'ensemble sur la photogrammétrie aérienne et terrestre. Paris 1936.
13. *Nowak W.* Próba zastosowania aerofotogrametrii przy klasyfikacji gruntów dla celów podatkowych. Przegląd Fotogrametryczny. Nr. 15-16. 1935.
14. *Piasecki M. B.* Uwagi o technice i organizacji zdjęć aerofotogrametrycznych. Przegląd Fotogrametryczny. Nr. 9-10. 1934.
15. *Piasecki M. B.* Współczesne metody i przyrządy fotogrametryczne. Warszawa 1930.
16. *Piasecki M. B.* Wyniki prób zwiększenia dokładności fotoplanów. Przegląd Fotogrametryczny. Nr. 2-3. 1932.
17. *Piasecki M. B.* Zdjęcia fotogrametryczne w dużych skalach. Aktualne Zagadnienia Miernictwa. Warszawa 1939.
18. *Piątkiewicz B.* Podstawowe zagadnienia nowoczesnej fototopografii lotniczej. Aktualne zagadnienia miernictwa. Warszawa 1939.
19. *Schwidersky K.* Das Entzerrungsgerät. Liebenwerda 1935.
20. *Urmajew N. A.* Elementy fotogrammetrii. Moskwa 1941.
21. *Warpechowski R.* Prace fotogrametryczne dla ogólnych planów zabudowania. Aktualne zagadnienia miernictwa. Warszawa 1939.
22. *Wilczkiewicz E.* Zasady zdjęć fotogrametrycznych. Lwów 1930.
23. *Wilczkiewicz E.* Nowe przyrządy fotogrametryczne. Aktualne zagadnienia miernictwa. Warszawa 1939.
24. *Wolfke L.* Zasady teorii perspektywy. Warszawa 1928.
25. *Zeller, M.* Podręcznik fotogrametrii. Warszawa 1950.

T R E Ś Ć

	Str.
Wstęp	3
1. Zależności geometryczne	4
2. Kamery lotnicze	18
3. Urządzenia do wyznaczania elementów orientacji zewnętrznej zdjęć	33
4. Wykonywanie zdjęć lotniczych	38
5. Graficzne wykorzystanie zdjęć lotniczych	48
6. Przetworniki	54
7. Podkłady geodezyjne	70
8. Przetwarzanie fotomechaniczne zdjęć lotniczych	76
9. Zestawianie fotoplanów i opracowywanie planów rysunkowych	95
10. Zasady triangulacji radialnej i jej wyrównania graficznego	104
11. Instrumenty do triangulacji radialnej	113
12. Przebieg czynności przy opracowywaniu podkładów drogą radialnej triangulacji	127
13. Organizacja prac fotogrametrycznych	133
Streszczenie w języku rosyjskim	141
" " " francuskim	142
Literatura	143

KT
12

Cena 40. – 21.