ФОТОГРАММЕТРИЯ И ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ

Рекомендовано учебно-методическим объединением в сфере высшего образования Республики Беларусь по образованию в области сельского хозяйства в качестве учебно-методического пособия для студентов учреждений образования, обеспечивающих получение общего высшего образования по специальности 6-05-0532-03 Землеустройство и кадастры

2025

Рекомендовано методической комиссией
землеустроительного факультета
22.12.2023 (протокол № 4)
и Научно-методическим советом
Белорусской государственной сельскохозяйственной академии
27.12.2023 (протокол № 4)

О. Н. Писецкая;
О. А. Куцаева

О. В. Кравченко;

М. А. Гуцаки

Писецкая, О. Н.

:

-

- 292

ISBN 978-985-882-643-7.

-

-05-0532-

УДК 528.7:528.8(075.8)
ББК 26.12я73

ISBN 978-985-882-643-7

ВВЕДЕНИЕ

-

-

-

-

6-05-0532-

.

-

-

1. ВВЕДЕНИЕ В ДИСЦИПЛИНУ «ФОТОГРАММЕТРИЯ И ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ»

1.1.

1.2.

1.

1.1. Понятие о дисциплине «Фотограмметрия и дистанционное зондирование Земли». Задача курса, связь с другими дисциплинами

.

Фотограмметрия

фотос ;
грамма ;
метрео

Задачей курса

знать: -

-

-

-

;

уметь:

, , ,

, ,

1.2. Физическая сущность дистанционного зондирования. Активное зондирование. Пассивное зондирование

аэрокосмическими методами

Дистанционные методы

;

,

Аэрокосмический снимок

1.3. Исторический обзор развития аэрофотогеодезических методов дистанционного зондирования

1851

.

.

.

.

,

,

-

,

1930

-

-

-

-

- .

.

.

1961

(1968

.

1963

).

.,

-

22

БКА, **БелКА** *Беларускі касмічны апарат –*

-

,

-

,

Перспективы развития и технологии применения аэрокосмических съемок в землеустройстве и земельном кадастре.

,

,

-

-

-

Геопортал.

-

-

-

-

-

1. - . URL: https://www.giprozem.by/index.php?option=com_content&view=article&id=284&Itemid=295&lang=ru.
2. 375
3. . :
4. . - , 2009.
5. . .

2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ЗЕМЛИ

2.1. -

2.2. -

2.3. -

2.4. -
2.5.

2.6. -

2.7. .

.
2.8. .
2.9.

2.10.

2.1. Понятие об аэро- и космических съемках Земли. Классификация аэрофотосъемок

-

-

пассив-

ными

активной

2.2. Схема получения видеоинформации при аэро- и космических съемках

пас-
сивные и активные.

на работающие в оптиче-
ском диапазоне и радиодиапазоне.

-

-

способу формирования изображения
на кадровые
сканиру-
ющие

Кадровые си-
стемы фотографическими или телевизионными (ТВ).

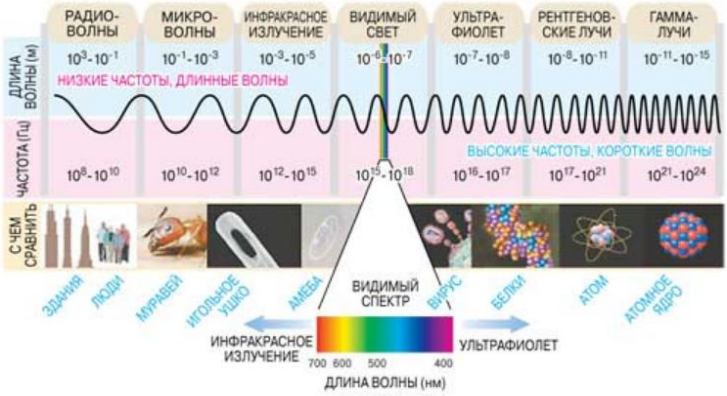
однозональными и
многозональными
к оперативным

неоперативным

2.3. Электромагнитное излучение, используемое при аэро- и космических съемках земной поверхности

-

.



2.1.

= 0,01

0,40

= 0,75

2.4. Роль атмосферы при проведении аэро- и космических съемок

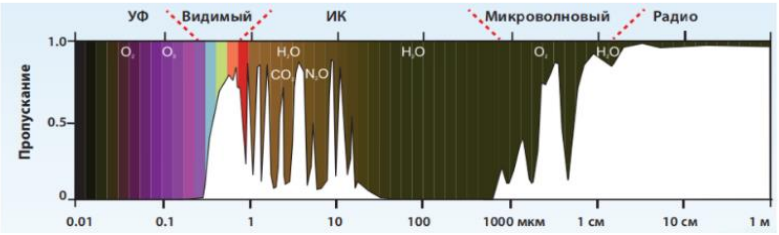
4 ,

h

h

Прозрачность атмосферы для оптических и радиоволн.

)



2

λ = 0,1 ;

> .

2.5. Оптические свойства элементов ландшафта и их использование в съемочном процессе

,

),

B

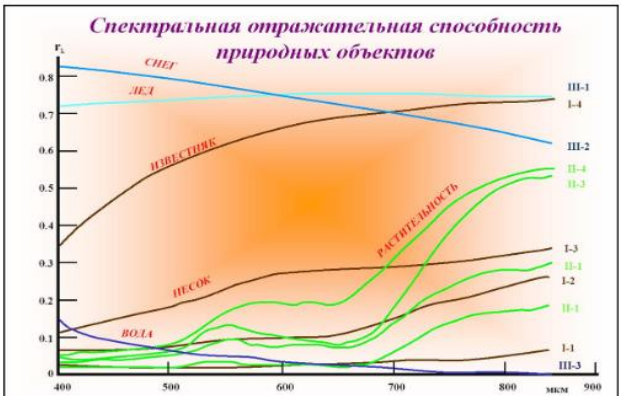
B°

$$r = B/B°. \qquad (2.1)$$

( ):

$r = B / B°$. (2.2)

2.3).



2.3.

r

Первый класс

Второй класс

r

r .

2.4).

гладкие,

2.4, *а*).

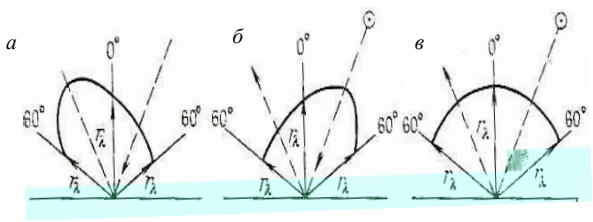
.;

шероховатые

2.4, *б*).

матовые,

2.4, *в*).



4.

изохроматические полихро-

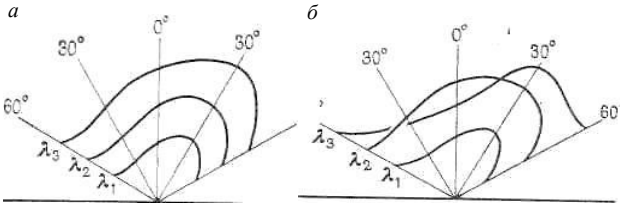
матические.

.

2.5, *а*).

).

2.5, *б*).



5.

2.6. Аэро- и космические съемочные системы. Классификация съемочных систем

1)
;
2)
;
3)
;
4)

1. ***По назначению*** *топографическую и специальную*

Специальные

2. ***По масштабу фотографирования***

m > 1:15 000;

000 < 1:m < 1:50 000;

m < 1:51 000;

космическую 1:m < 1:200 000.

3. ***По способу построения изображения*** :

;

;

При кадровой фотосъемке

При щелевой фотосъемке

При панорамной фотосъемке

4. ***По углу отклонения оптической оси АФА от вертикали***

;

плановой

α_p

α_p, 40′

перспективной

5. ***По количеству и расположению аэрофотоснимков*** :

;

;

однокадровой

маршрутной

,

многомаршрутной

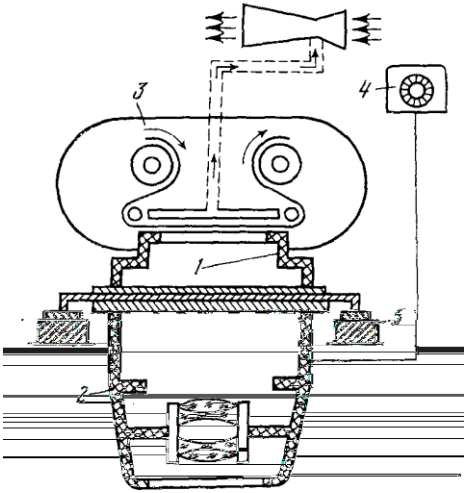
2.7. Фотографические съемочные системы и их характеристики. Кадровые топографические аэрофотоаппараты. Аэрофотоаппараты, их устройство и типы

Аэрофотоаппарат (АФА) -

Топографические АФА

Нетопографические АФА

. 2.6):



6.
1 ; *2* ; *3* ;
4 ; *5*

Фотокамера

Внутренний блок

О.

Наружный корпус

Кассетная часть, кассета,

1,5 .

.

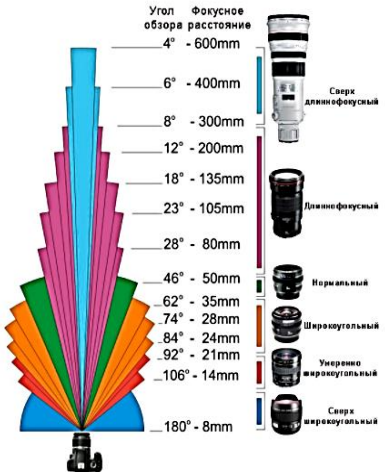
,

,

;

1) ***по назначению*** ;
2) ***по степени автоматизации***:
);

;
3) ***по количеству объективов***
;
4) ***по углу поля зрения и фокусному расстоянию*** . 2.7);



7

5) ***в зависимости от способа экспонирования аэропленки:***
;
;

18,

23 23, 30

. 2.1.

2.1. **Характеристики АФА**

-	100	33	10
-	500	35	10
-	150, 300	50 100	3
RC Wild/Leica	153	120	2
RC Wild/Leica	305	107	2

2.8. Характеристики фотографического объектива

Аэрофотообъектив -

;

;

;

;

;

Фокусное расстояние

,

,

(151 300

f

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H}, \qquad (2.3)$$

H

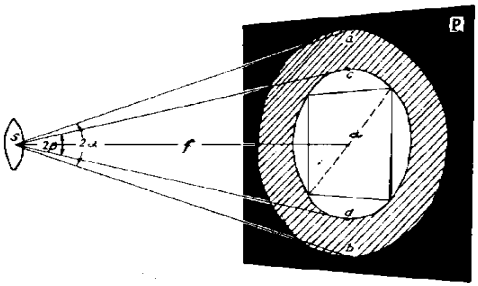
Угол поля зрения. ,

,

, 2

S

8).



8.

S ; f ;

2α ; 2β ;

ab ; cd

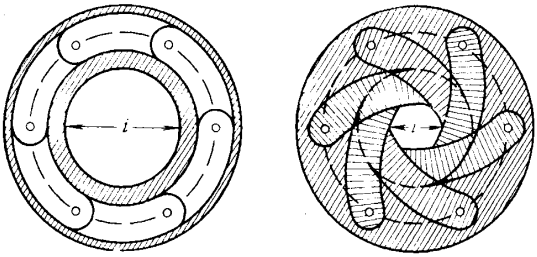
), 60
0).
. 2.8

$$\mathrm{tg}\beta = \frac{d}{2f} = \frac{l}{f\sqrt{2}}, \qquad (2.4)$$

d ;
l

Диафрагма.

2.9)



9.

I

i *f*.

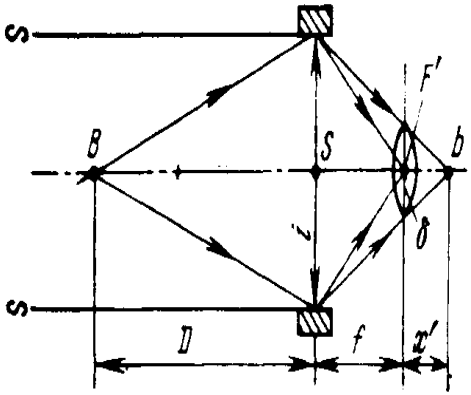
$$\frac{1}{K} = \frac{i}{f}$$

$K = f / i$

5,6; 8; 11; 16; 22; 32.

Глубина резкости объектива

.



10.

.

0,002

B, ,

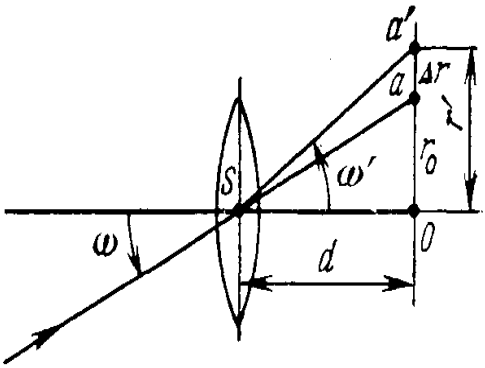
$(f + x')$

δ.

$$\frac{\delta}{i}=\frac{x'}{f+x'},\ x'=\frac{\delta f}{i-\delta},\qquad \frac{f^2}{k\delta}$$.

Фотограмметрическая дисторсия.

2.11.



1.

w ,

w' a

a' Δr

$$\Delta r = r' - r_0 = d\,\mathrm{tg}\,w' - d\,\mathrm{tg}\,w = d\,\mathrm{tg}\,w\left(\frac{\mathrm{tg}\,w'}{\mathrm{tg}\,w}-1\right). \qquad (2.5)$$

Δr, ,

d f,

Δr

$\mathrm{tg}\,w'/\mathrm{tg}\,w$

, tg w' / tg w 1

tg w' / tg w < 1

Объективы,

Разрешающая способность

R

d

R

$$R = \frac{1}{2d}. \qquad (2.6)$$

c

Аэрофотозатвор

-

2.9. Специальное аэросъемочное оборудование: радиовысотомер, статоскоп, гиростабилизирующая установка

H

1,5

Статоскоп

2.13).

3. : *1* ; *2* ; *3*

- -

1,5

Гиростабилизирующая 2.14)

4.

-55,

- .

2.10. Цифровые съемочные системы (ЦСС) и их классификация

съемочные системы

Цифровые съемочные системы -

•

-
-
-

GPS/INS-
FMC (Forward
Motion Compensation

-
  DMC, UltraCam -DAS, ADS
-
- -
  GPS/IMU
-

1) *на кадровые съемочные системы*;
2) *сканирующие съемочные системы.*

Формирование изображения в цифровых съемочных системах. Цифровой снимок.

элементов пространства объектов

элементами изображений

Способы получения цветного снимка.

-

Получение цветного изображения путем цветоделения.

RGB

Интерполяция яркостей
RGB

-

Расщепление светового потока -

-

-

ADS40/80, 3-DAS
истинными (RGB-true).
Слияние изображений (технология pan-sharpening).
pan-sharpening

-

Red), Green Blue

RGB

CIE (Commission In-
ternationale de FEclairage, .) : *Red* 700,0 ,
Green 546,1 , *Blue* 435,8 .
pan-sharpening
R, G B

RGB

pan-sharpening

преобразование Бровея (*Brovey transform*), - *wavelet*

(ATWT-SDM, ATWT-CBD

HSV

- *Brovey*

-

ENVI

pan-sharpening

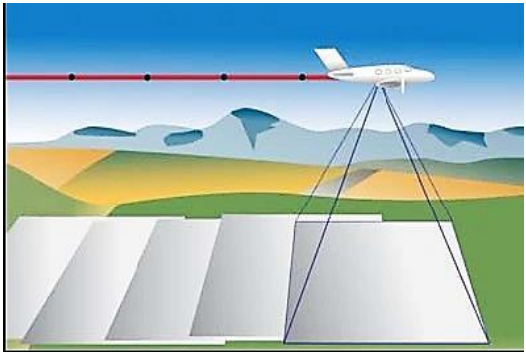
tiff, jpeg, bmp

Кадровые съемочные системы.

-

-

.



5.

-

1. ***Малоформатные съемочные камеры.***

-

Has-
selblad HI

2. ***Аэрокамеры среднего формата.***

-
16
DSS (Applanix), DigiCAM (IGJ-Systems), DiMAC (Dimac Systems
Rollei Metric).

FMC
FCMS), GPS/IMU

3. ***Аэрокамеры большого формата.***

PAN
RGB NIR

UltraCam

DMC

DMC

UltraCAM

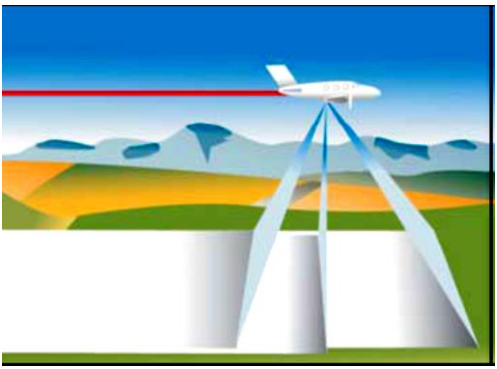
Сканирующие съемочные системы.

-

-

-

.



6.

-

-

(Deutsches Zentrum far Luft and Raumfahrt DLR

.

-
HRSC-A, - -AXW (DLR); ADS (Leica GeoSystems); JAS 150 (Jena Optronik); 3-DAS-l 3- -1 (Werhli and Associates

Основные принципы и особенности линейного сканирования. -

push broom

.

.

1. *Радиометрическое качество изображений.*

-

-

-

-

-

True RGB

2. *Геометрические свойства изображений.*

-

(iPS/IMU) GPS

.

200

(L_x)

L_y) m,

-

V - S_{mc}

$$V = 0{,}036\, y - L_Y x S_{n3c}. \qquad (2.8)$$

ка□ровых камер возможность сж еоскопических измережи , р

: Nadir, N
[1] Forward, F
[2] Backward

N-F, N-B F-B).

[1] [2]

4. *Геометрическая точность.*

a

GPS/IMU

-

1.
375
2. . :
2006.
3. .

3. ПРОИЗВОДСТВО АЭРОФОТОСЪЕМКИ

3.1. .
3.2.

3.3. -

3.1. Аэрофотосъемка. Носители съемочной аппаратуры

-

-

3.1.

3.1. **Технические требования летательных аппаратов**

		-30	-2	Cessna-402	-26
^{2}	3500	6000	5000	8200	3000
	100 350	440	180	263	140
	1200	2000	1300	2358	400

- -

- C
Cessna-
. 3.1).

. Cessna-402

. 3.2)
типу летательного аппарата:

1) ;
2) ;

.

3.2. **Классификация беспилотных летательных аппаратов**

I	0 9	<360	45 50
II	9 25	<1050	<250
III	<	<5400	
IV	>		
V		>5400	

3.3):

1.

2.

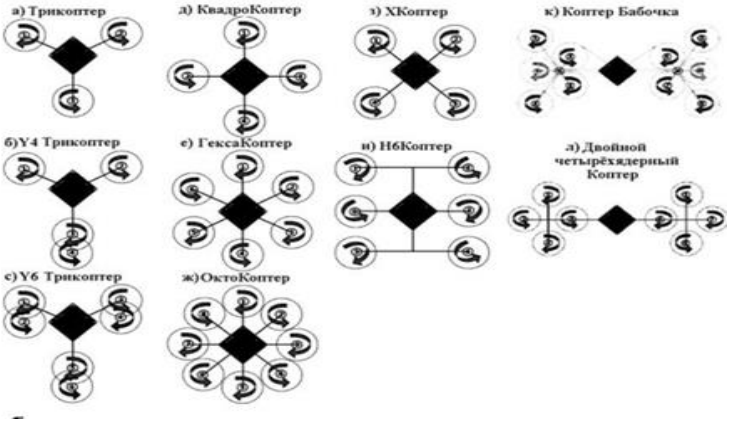
,

3.

4.

-

5.



3.3.

3.2. Технические требования к топографической аэрофотосъемке: высота фотографирования, продольное и поперечное перекрытие снимков, рабочая площадь снимка

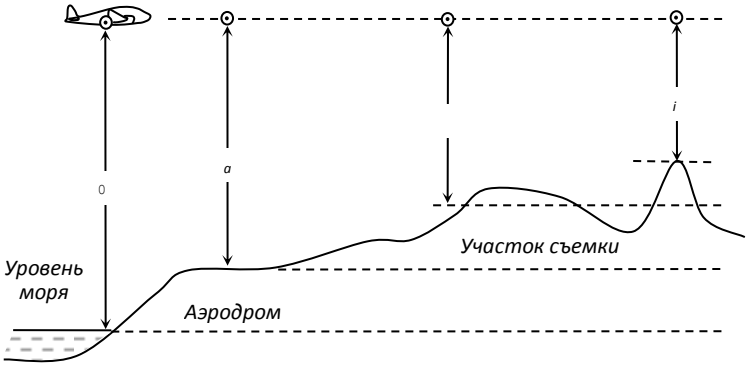
Высота фотографирования

H_0

H_a

H

H_i -



3.4.

(f, m) M):

$$H = mf = K_t M f \,, \qquad (3.1)$$

$$K_t = m/M \,. \qquad (3.2)$$

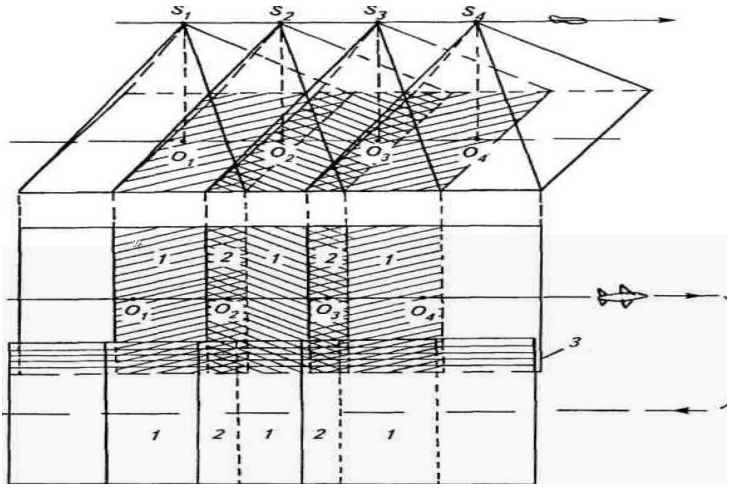
%.

Перекрытие аэроснимков.

,

Продольным перекрытием P_x

.



5

1 *; 2*

$$P_x = \frac{l_x}{l} \cdot 100\ \%, \qquad (3.3)$$

l
l_x

h

56

%-

90

$P_x = 80$

$P_x = 90$

Поперечное перекрытие.

B_y

.

P_y

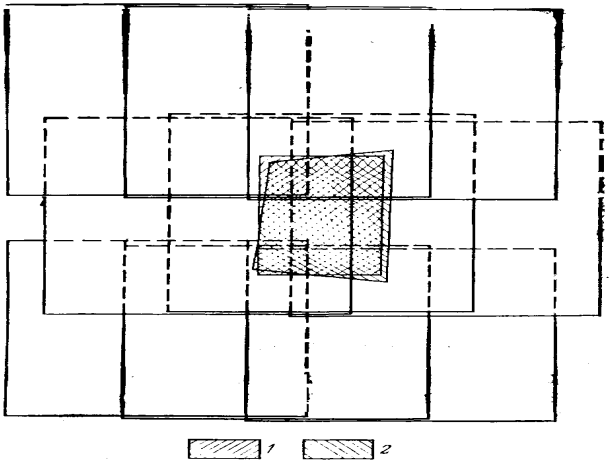
$$P_y = \frac{l_y}{l} \cdot 100\ \%, \qquad (3.4)$$

l_y

l

,

рабочей площадью .



6

$$b_x = l\left(100 - P_x\right)/100; \tag{3.5}$$

$$b_y = l\left(100 - P_y\right)/100. \tag{3.6}$$

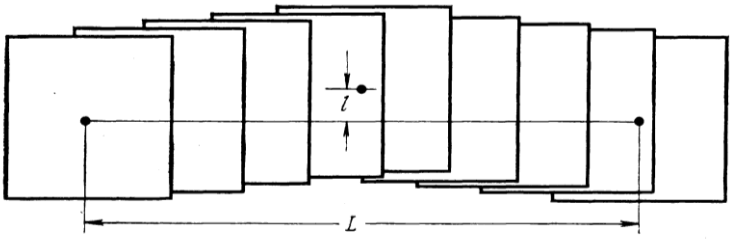
Прямолинейность маршрутов

l -

,

L

L .



7

l

$$n = \frac{l}{L} \cdot 100\ \%\ . \qquad (3.7)$$

%.

Непараллельность стороны аэроснимка

10

).

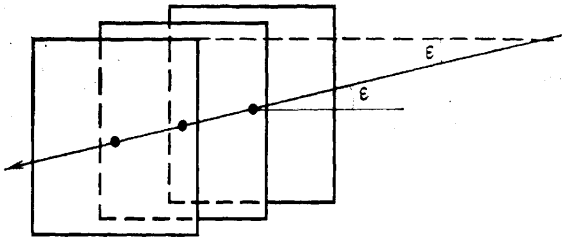
Непараллельность базиса

(

ε

7, 10

140, 3.8).



8

Угол наклона.

20 25

3.3. Составление проекта летно-съемочных работ

-

m

f, l

H

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H} \qquad (3.8)$$

($A_{\max}$ $A_{\min}$

$$H = A + H, \qquad (3.9)$$

$$A = 0,5(A + A). \qquad (3.10)$$

p q

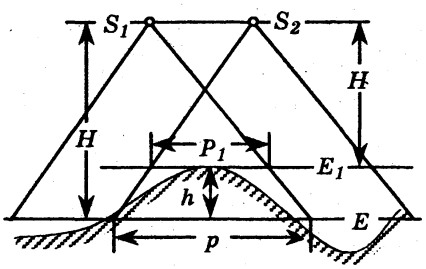
3.9, $P_1 < p$).

p q

h

H

$$p = \left(62 + 50\frac{h}{H}\right)\%, \quad q = \left(32 + 50\frac{h}{H}\right)\%. \qquad (3.11)$$



9

B_x

B_y

l p q

m:

$$B_x = l\left(l - \frac{p}{100}\right)m, \quad B_y = l\left(l - \frac{q}{100}\right)m. \qquad (3.12)$$

W ( )

B_x:

$$t'' = \frac{B_x}{W}. \qquad (3.13)$$

t^S W

Wt^S t^S

Wt^S / m

t^S

δ

$K_t = m/M$

δ :

$$t^s \le \frac{\delta \quad m}{WK_t}. \qquad (3.14)$$

L_x, L_y B_x
B_y

$$K_c = \left(\frac{L_x}{B_x} + 2\right) \cdot \left(\frac{L_y}{B_y} + 1\right). \qquad (3.15)$$

GPS-

-

-

-

GPS-
-

-

-

GPS-

1.
375
2. . :
3. .

4. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЭРОФОТОСНИМКА. ТЕОРИЯ ОДИНОЧНОГО СНИМКА

4.1.

4.2.

4.3.
4.4.
4.5.
4.6.
4.7.
4.8.

4.9.

4.10.
4.11.
4.12.
-
4.13.
4.14.

4.1. Центральная проекция как геометрическая основа аэрофотоснимка. Основные элементы центральной проекции

-

проектированием ***проекци-***
ей

-

Центром проекции

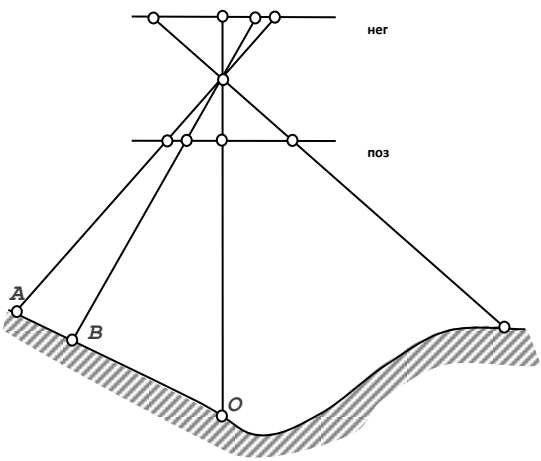
картинной

связкой, пучком.

A, B, C, O,

S *P* *P* .

′ ′ ′ ′



P

негативной *P*

, ***позитивной***.

P *P*

S

AS, BS, CS *OS* *a, b, c, o*

a′, b′, c′, o′

P *P*

So′ *So* *P* *P*

f

P *A, B, O, C* -

a_0,

b_0, *o* c_0

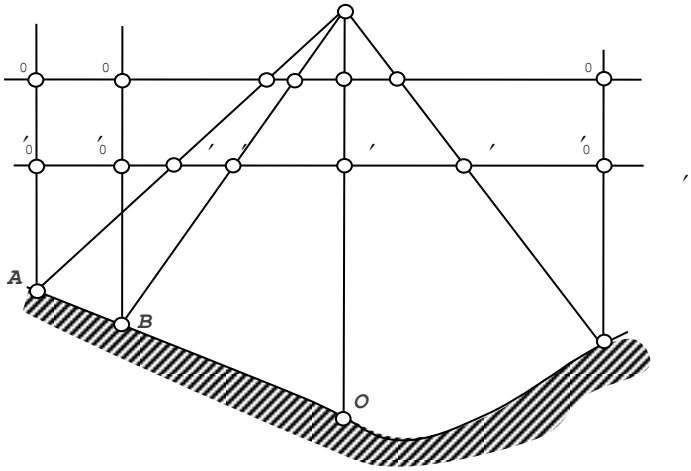
P *P′*

a_0, b_0, *o*,

c_0 a'_0, b_0', *o′*, c'_0,

S

P *P′*



4.2.

a, b, c *a′, b′, c′*

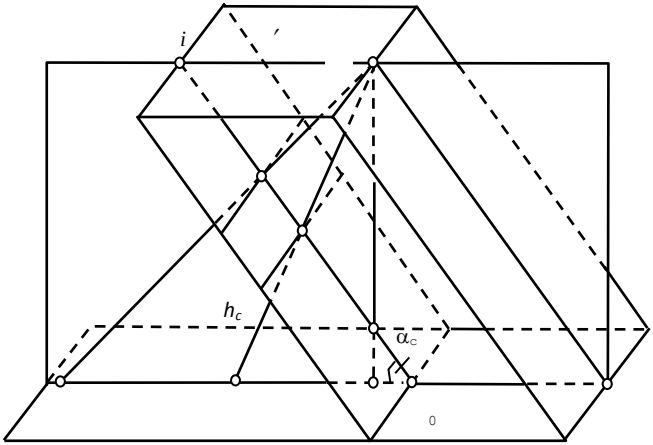
P

P'

1. -
2.
3.

4.3):

E ***предметная плоскость***



4.3.

P ***картинная плоскость***

S ***центр проекции***;
TT ***основание картины***, ***ось перспективы***,

W ***плоскость главного вертикала***

v_0 ***главная точка основания картины***
TT *W*;
E′ ***плоскость действительного горизонта***
S
h_ih_i ***линия действительного горизонта***

i ***главная точка схода***
h_ih_i
V_0i ***главная вертикаль***

v_0V ***проекция главной вертикали***

R ***разделяющая плоскость***

H_JH_J ***линия картинного горизонта***

J ***главная точка схода предметной плоскости***

So ***главная оптическая ось съемочной камеры***

So *f*;
o ***главная точка картинной плоскости***

O ***проекция главной точки картинной плоскости***

n ***точка надира***

N ***проекция точки надира***

SN
α_c ***угол наклона картинной плоскости*** ,

c – ***точка нулевых искажений***

S,

C ***проекция точки нулевых искажений***

S.

горизонталью *hh*

главной горизонталью *h_ch_c*) ***линией неискаженных масштабов***.

4.2. Главная точка аэрофотоснимка, точка надира, точка нулевых искажений. Их положение в проекции и на аэрофотоснимке

4

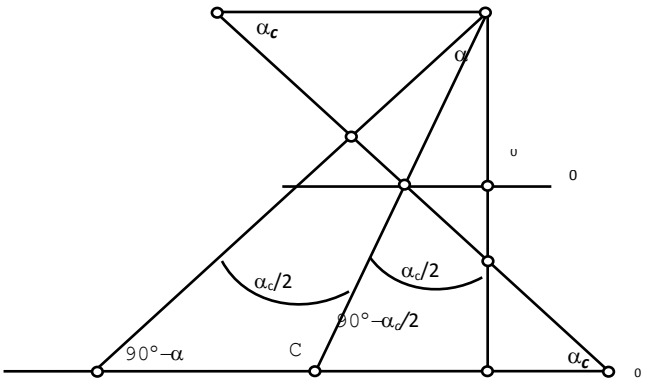
W

$$\left.\begin{aligned} So &= So^0 = f, & Si &= ic = \frac{f}{\sin\ \alpha_c},\\ on &= f\ \mathrm{tg}\ \alpha_c, & oc &= f\ \mathrm{tg}\left(\frac{\alpha_c}{2}\right) = f\,\frac{1-\cos\ \alpha_c}{\sin\ \alpha_c},\\ oi &= f\ \mathrm{ctg}\ \alpha_c, & SJ &= iv_0 = \frac{H}{\sin\ \alpha_c},\\ SN &= H, & Cv_0 &= cv_0 = \frac{H-f}{\sin\ \alpha_c}.\\ ON &= H\ \mathrm{tg}\ \alpha_c,\\ Sn &= \frac{f}{\cos\ \alpha_c}, \end{aligned}\right\} \quad (4.1)$$

P^0

SN

P^0 o^0.



$Sic \quad cv_0C$

$ocS \qquad o^0cS \qquad , \qquad \angle ioS = \angle v_0o^0S = 90^\circ$

$\angle icS = \angle v_0cC = \angle Sco^0 = 90^\circ - \alpha / 2.$

$oS \quad o^0S,$

$ocS \quad o^0cS \qquad\qquad P \quad P^0$

S

$f \qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad h_ch_c.$

$P^0 \qquad\qquad\qquad\qquad\qquad P$

-

4.3. Перспектива точки и прямой на пространственном чертеже

Перспектива точки. $A,$

$E,$

.

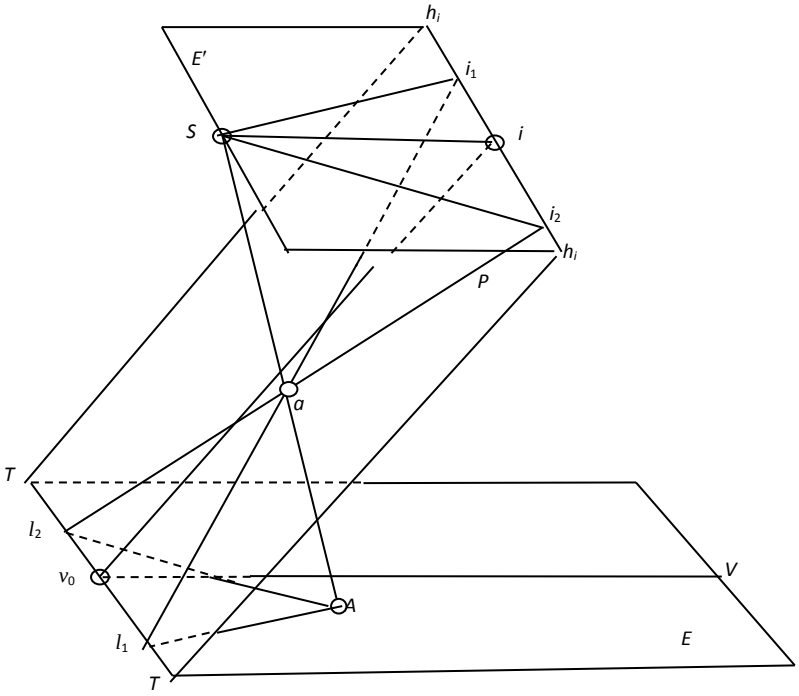
$S \qquad A \qquad\qquad E$

-

$P \qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad l_3i_3$

SA c $l_3 i_3$

A



.

A

E

E'

Si *i –*

P

$l_2 i$. *A*

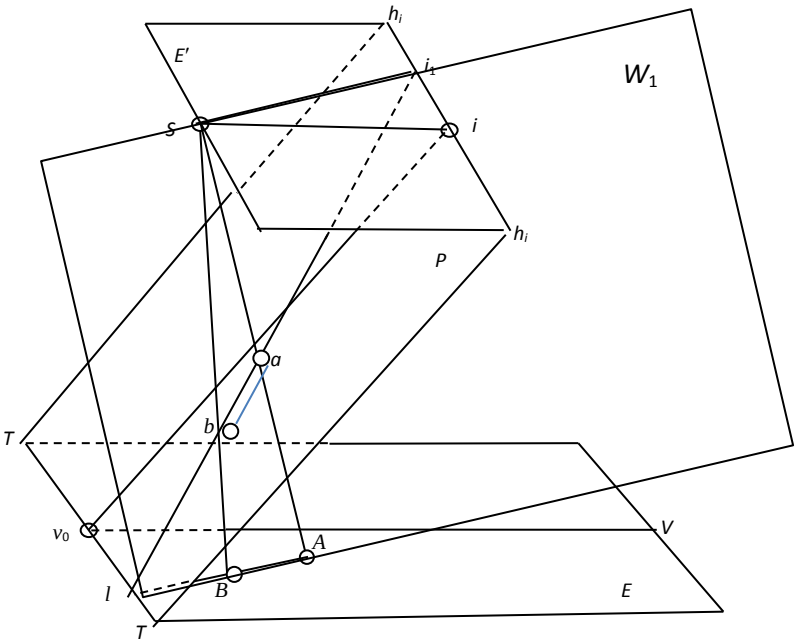
SA $l_2 i$.

-
-
-
-

Перспектива отрезка.

AB

ab 6).



ab W_1
S AB
W_1
SA SB.
AB E W_1

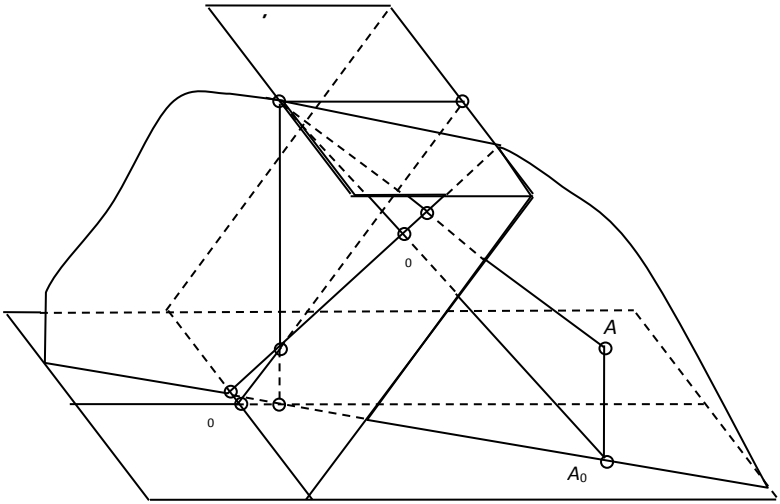
TT l_1.
W_1 E'
Si_1 Si_1 AB,
E E'.
i_1 l_1 P W_1
i_1l
P W_1.
ab
SA SB i_1l
a b.
i_1 *точкой схода*
AB i_1l *направлением перспективы*
l *двойной* i_1
AB

i

h_ih_i

Перспектива отвесной прямой.

AA_0 A_0
E), 4.7).
W
AA_0
SN n,
N aa_0



7.

A_0 N

A_0N

K

n K

aa_0

A A_0

Kn

a, a_0 aa_0.

SN

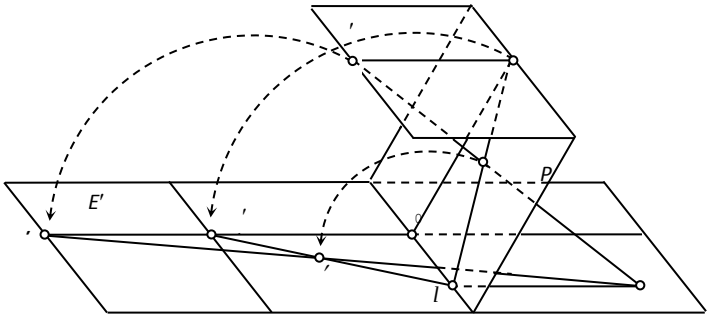
n

направления перспектив проекций всех отвесных прямых проходят через точку надира, которая является их точкой схода.

4.4. Теорема Шаля. Понятие об эпюрах

a *A* 8
P *TT*
E′
$h_i h_i$

E,
P *E′*
S *S′* *i* *i′*
a *a′*. *Si = S′i* *il = li′*.



8.

a *A*

Sai *Aal*

$lA / Si = la / ia.$ (4.2)

S′a′i′ *a′Al*

$lA / S'i' = la' / i'a.$ (4.3)

Si = S′i′ (4 4.3)

$la / ia = la' / i'a'$ (4.4)

$$\frac{ia+al}{ia}=\frac{i'a'+a'l}{i'a'}. \qquad (4.5)$$

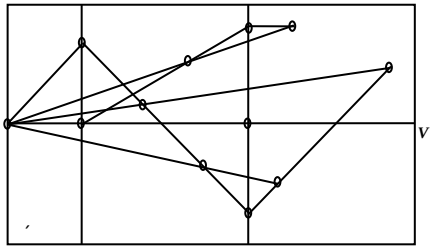
$ia + al = i'a' + a'l = il,$ $ia = i'a',$ a
A

Если при одновременном вращении плоскости действительного горизонта вокруг линии действительного горизонта h_ih_i и предметной плоскости вокруг основания картины TT сохраняется их взаимная параллельность, то проектирующий луч SA всегда проходит через ту же пару сопряженных точек предметной (A) и картинной (a) плоскостей.

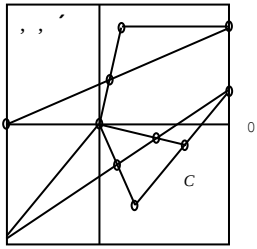
E E', E P P E' E E'

эпюром *épure*

9 ***эпюром растяжения*** ***эпюром сложения*** 10).



9.



10.

-

Si *ci*

S *c* *C*

C

c).

4.5. Перспектива сетки квадратов на эпюре

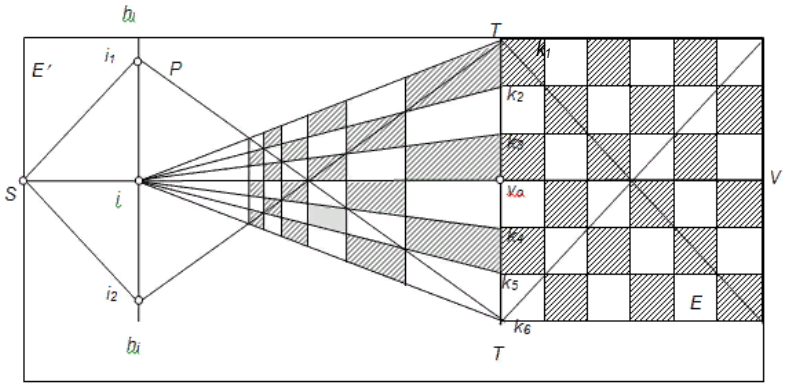
TT

Vv$_0$ 4.11).

i

k_1, k_6) с i_1, i_2

S



1.

-

i_1k_6, i_2k_1
ik_1, ik_2, ik_3, iv_0 ik_6).

1)

i

;

2)

i;

3)

-

4.6. Системы координат, применяемые в фотограмметрии

-

Координатные системы местности

-

$$X \rightarrow Y \rightarrow Z \rightarrow X$$

Геоцентрическая система координат $O'X'Y'Z'$ 4.12

$O'X'Y'$

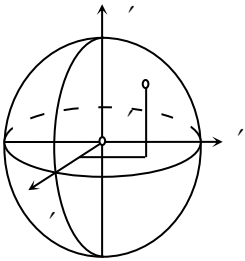
$O'Z'$ $O'X'$

$O'Y'$

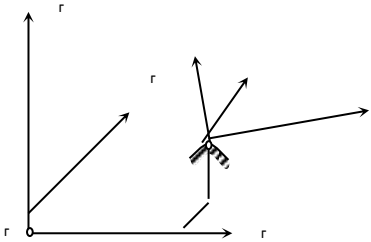
A

X′, Y′, Z′,

Система координат Гаусса – Крюгера *O X Y Z* 4.13 -



2



а *б*

3 *а*)

б

O

O X

O Z *O Y*

местной системы координат

O_m O_mX_m, O_mY_m O_mZ_m

X_m, Y_m

Z_m.

Фотограмметрическая система координат *OXYZ* 4.13 -

OX

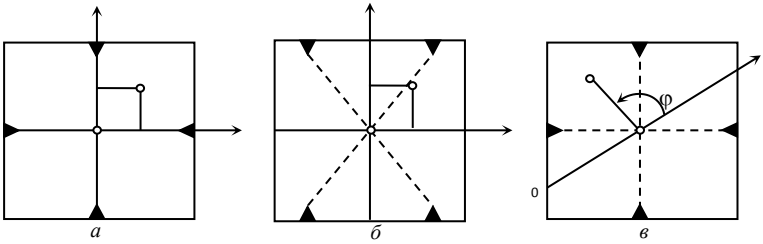
X,

Y *Z*.

Координатные системы аэроснимка

Плоская прямоугольная координатная система *oxy*

4, *а*, *б*).



.

– –

ox

1– 4.14, *а* 4.14, *б* *oy*

x *m*

x_m, y_m.

ox *oy* -

-

$$x_m = x - x_0,\ y_m = y - y_0, \qquad (4.6)$$

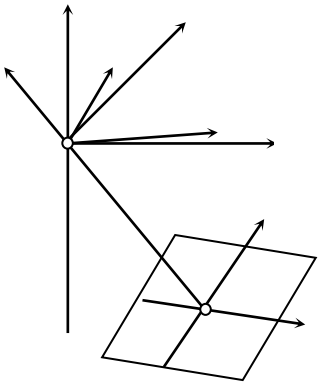
x, *y* x_0, y_0

Полярная система *orφ* 4, *в*

iv_0

φ

Промежуточная система координат *Sxyz* 5



4.15.

S *Sz*

Sx *Sy*

oxy 5

m x_m, y_m

$z_m = -f$.

SXYZ 5

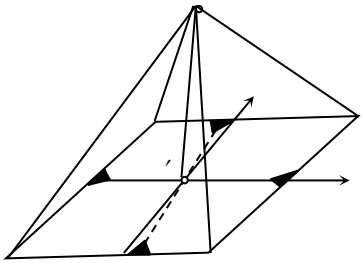
OXYZ 5).

4.7. Элементы внутреннего и внешнего ориентирования снимка

Элементами внутреннего ориентирования

4.16

f x_0, y_0 *oxy*.



6.

-

x_0, y_0, f

-

Первая система элементов

4.17

oxy *SXYZ* *Sxyz*

OXYZ *oxy*

So

SY *SXYZ:*

XS, *YS*, *ZS* *OXYZ*;

α *SXZ* *SZ*

So *SXZ*;

ω *SoY* -

So *SXZ*;

χ *y*

SoY.

α ω

Вторая система элементов

4.18

X_S, Y_S, Z_S *S*

α_c –

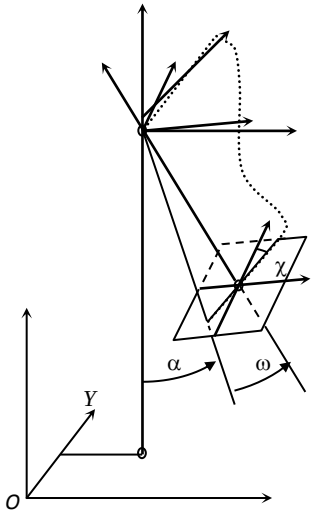
SZ *So*;

t –

OXY *X*

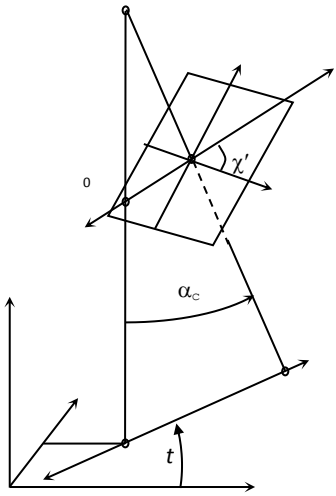
χ'

x .



4.17.

X_S, Y_S, Z_S, α, ω, χ



8.

X_S, Y_S, Z_S, α_c, *t*, χ'

Преобразования координатных систем.

OXYZ *Oxyz*

$$\left.\begin{aligned} X &= a_1x + a_2y + a_3z, & x &= a_1X + b_1Y + c_1Z \\ Y &= b_1x + b_2y + b_3z, & y &= a_2X + b_2Y + c_2Z \\ Z &= c_1x + c_2y + c_3z, & z &= a_3X + b_3Y + c_3Z \end{aligned}\right\}, \qquad (4.7)$$

a_i, b_i, c_i (i = 1, 2, 3)

X, *Y*, *Z* *OXYZ* *x*, *y*, *z* *Oxyz*.

a_i, b_i, c_i -

$$\left.\begin{aligned} a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 &= 1, & a_1b_1 + a_2b_2 + a_3b_3 &= 0 \\ b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 &= 1, & a_1c_1 + a_2c_2 + a_3c_3 &= 0 \\ c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 &= 1, & b_1c_1 + b_2c_2 + b_3c_3 &= 0 \end{aligned}\right\}. \qquad (4.8)$$

$$\left.\begin{aligned} a_1^2 + b_1^2 + c_1^2 &= 1, & a_1a_2 + b_1b_2 + c_1c_2 &= 0 \\ a_2^2 + b_2^2 + c_2^2 &= 1, & a_1a_3 + b_1b_3 + c_1c_3 &= 0 \\ a_3^2 + b_3^2 + c_3^2 &= 1, & a_2a_3 + b_2b_3 + c_2c_3 &= 0 \end{aligned}\right\}. \qquad (4.9)$$

4.7

$$\begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x \\ y \\ z \end{vmatrix} = A_{\omega\chi} \begin{vmatrix} x \\ y \\ z \end{vmatrix}, \quad \begin{vmatrix} x \\ y \\ z \end{vmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} = A^T_{\omega\chi} \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} \quad (4.10)$$

$$R = A_{\omega\chi} \cdot r, \quad r = A^T_{\omega\chi} \cdot R, \quad (4.11)$$

R, r

OXYZ *Oxyz*

$A_{\omega\chi}, A^T_{\omega\chi}$ –

$$A_{\omega\chi} \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix}, \quad A^T_{\omega\chi} = \begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{pmatrix}. \quad (4.12)$$

SXYZ

Sxyz *z = f* 4.7

$$\left.\begin{aligned} X &= a_1 x + a_2 y - a_3 f, & x &= a_1 X + b_1 Y + c_1 Z \\ Y &= b_1 x + b_2 y - b_3 f, & y &= a_2 X + b_2 Y + c_2 Z \\ Z &= c_1 x + c_2 y - c_3 f, & z &= -f = a_3 X + b_3 Y + c_3 Z \end{aligned}\right\}. \quad (4.13)$$

4.7) (4.12 *x y* $x - x_0$ $y - y_0$).

Определение направляющих косинусов.

x, y

x', y'

$$\begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi \\ \sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x' \\ y' \end{vmatrix} \quad (4.14)$$

$$\begin{vmatrix} x' \\ y' \end{vmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi \\ -\sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix}. \quad (4.15)$$

Sxyz *SXYZ* *SXYZ* *Sxyz*

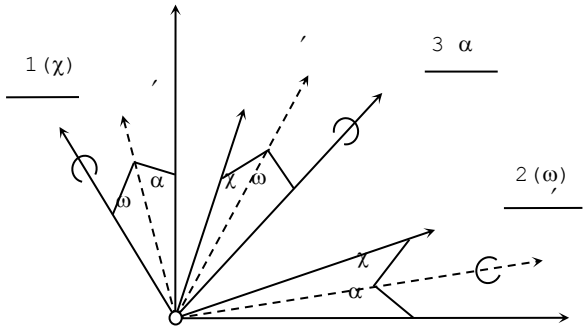
4.12 4.13

α, ω χ.

Sxyz *SXYZ*, χ *Sxy* α) *SXZ*, ω) – *SoY* *Sxyz*, *SXYZ*.

1. *SXYZ* *Sxyz* α, ω χ, 4.12).
2. *Sxyz* *SXYZ* χ, ω, α, 4.12).

4.19).



4.19.

1. *Sxyz* χ *Sz* *Sx′y′z* 4.19

$$A_{\chi} = \begin{pmatrix} \cos\chi & -\sin\chi & 0 \\ \sin\chi & \cos\chi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \qquad (4.16)$$

2. *Sx′y′z* –ω *Sx′* - *Sx′Yz′* 4.19 *Sx′* *Sz′* *SXZ*

$$A_{\omega} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\omega & -\sin\omega \\ 0 & \sin\omega & \cos\omega \end{pmatrix}. \qquad (4.17)$$

3. *Sx′Yz′* *SY* –α - *SXYZ* 4.19).

$$A_{\alpha} = \begin{pmatrix} \cos\alpha & 0 & -\sin\alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\alpha & 0 & \cos\alpha \end{pmatrix}. \qquad (4.18)$$

$$A_{\alpha\omega\chi} = A_{\alpha}A_{\omega}A_{\chi}.$$

$$A_{\alpha\varphi\chi} = A_{\alpha\varphi}A_{\chi} = \begin{pmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha\sin\omega & -\sin\alpha \\ 0 & \cos\omega & -\sin\omega \\ \sin\alpha & \cos\alpha\sin\omega & \cos\alpha \end{pmatrix}.\begin{pmatrix} \cos\chi & -\sin\chi & 0 \\ \sin\chi & \cos\chi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} \cos\alpha\cos\chi - \sin\alpha\sin\omega\sin\chi & \cos\omega\sin\chi & \sin\alpha\cos\chi + \cos\alpha\sin\omega\sin\chi \\ -\cos\alpha\sin\chi - \sin\alpha\sin\omega\cos\chi & \cos\omega\cos\chi & -\sin\alpha\sin\chi + \cos\alpha\sin\omega\cos\chi \\ -\sin\alpha\cos\omega & -\sin\omega & \cos\alpha\cos\omega \end{pmatrix}. \qquad (4.19)$$

4.9),

α, ω χ:

$$\left.\begin{aligned}
a_1 &= \cos\alpha\cos\chi - \sin\alpha\sin\omega\sin\chi,\\
a_2 &= -\cos\alpha\sin\chi - \sin\alpha\sin\omega\cos\chi,\\
a_3 &= -\sin\alpha\cos\omega,\\
b_1 &= \cos\omega\sin\chi,\\
b_2 &= \cos\omega\cos\chi,\\
b_3 &= -\sin\omega,\\
c_1 &= \sin\alpha\cos\chi + \cos\alpha\sin\omega\sin\chi,\\
c_2 &= -\sin\alpha\sin\chi + \cos\alpha\sin\omega\cos\chi,\\
c_3 &= \cos\alpha\cos\omega.
\end{aligned}\right\}. \qquad (4.20)$$

α_c, *t* χ′

SXYZ:

SZ	*t*	*Sx′y′Z*;
Sy′	α_c	*Sx′y′z*;
Sz	χ′	*Sxyz*.

$$\left.\begin{aligned}
a_1 &= \cos t\cos\alpha_c\cos\chi' - \sin t\sin\chi',\\
a_2 &= -\cos t\cos\alpha_c\sin\chi' - \sin t\cos\chi',\\
a_3 &= -\cos t\cos\alpha_c,\\
b_1 &= \sin t\cos\alpha_c\cos\chi' + \cos t\sin\chi',\\
b_2 &= -\sin t\cos\alpha_c\cos\chi' + \cos t\cos\chi',\\
b_3 &= -\sin t\sin\alpha_c,\\
c_1 &= \sin\alpha_c\cos\chi',\\
c_2 &= -\sin\alpha_c\sin\chi',\\
c_3 &= \cos\alpha_c.
\end{aligned}\right\}. \qquad (4.21)$$

4.14 4.15):

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left(-\frac{a_3}{c_3}\right), \quad \omega = \arcsin\left(-b_3\right), \quad \chi = \operatorname{arctg}\left(\frac{b_1}{b_2}\right). \qquad (4.22)$$

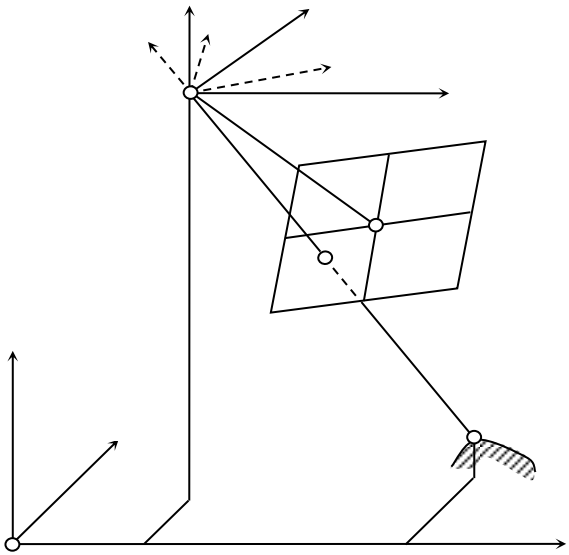
$$t = \operatorname{arctg}\left(\frac{b_3}{a_3}\right), \quad \alpha_c = \arccos\left(c_3\right), \quad \chi' = \operatorname{arctg}\left(-\frac{c_2}{c_1}\right). \qquad (4.23)$$

α_c

α

4.8. Связь координат соответствующих точек наклонного снимка и местности

S *P* 4.20
m *M*
m *M*



20.

S, m M

$$\frac{x_3 - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y_3 - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{z_3 - z_1}{z_2 - z_1}. \qquad (4.24)$$

S, M m

SXYZ

$$\frac{X_m}{X_M - X_S} = \frac{Y_m}{Y_M - Y_S} = \frac{Z_m}{Z_M - Z_S},$$

$$\left.\begin{aligned} X_M - X_S &= (Z_M - Z_S)\frac{X_m}{Z_m} \\ Y_M - Y_S &= (Z_M - Z_S)\frac{Y_m}{Z_m} \end{aligned}\right\}. \qquad (4.25)$$

,

$$\left.\begin{aligned} X_M - X_S &= (Z_M - Z_S)\frac{X_m}{Z_m} = (Z_M - Z_S)\frac{a_1 x + a_2 y - a_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \\ Y_M - Y_S &= (Z_M - Z_S)\frac{Y_m}{Z_m} = (Z_M - Z_S)\frac{b_1 x + b_2 y - b_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \end{aligned}\right\}. \qquad (4.26)$$

Z_M

,

S, M m Sxyz

$$\frac{x_m}{x_M}=\frac{y_m}{y_M}=\frac{-f}{z_M} \qquad x_m=-f\frac{x_M}{z_M},\quad y_m=-f\frac{y_M}{z_M}.$$

SXYZ *OXYZ*

$X_M–X_S$, $Y_M–Y_S$ $Z_M–Z_S$ *M*

SXYZ

Sxyz 4.10

$$\left.\begin{aligned} x&=-f\frac{a_1(X_M-X_S)+b_1(Y_M-Y_S)+c_1(Z_M-Z_S)}{a_3(X_M-X_S)+b_3(Y_M-Y_S)+c_3(Z_M-Z_S)}\\ y&=-f\frac{a_2(X_M-X_S)+b_2(Y_M-Y_S)+c_2(Z_M-Z_S)}{a_3(X_M-X_S)+b_3(Y_M-Y_S)+c_3(Z_M-Z_S)}\end{aligned}\right\}. \qquad (4.27)$$

1. ***Снимок горизонтальный***. 4.14 4.15

$\alpha = \omega = \chi =$ $\alpha_c = t = \chi' =$ $a_1 = b_2 = c_3 =$ a_2, a_3 , c_2

OXYZ $X_S = Y_S = Z_S = 0$), $Z_M = 0$

OXY , 4.22 4.23),

$$X = x^0\frac{H}{f}=x^0m,\quad Y=y^0\frac{H}{f}=y^0m, \qquad (4.28)$$

$$x^0=X\frac{f}{H}=\frac{X}{m},\quad y^0=Y\frac{f}{H}=\frac{Y}{m}, \qquad (4.29)$$

x^0, y^0

H –

(Z_M =

OXY

2. ***Снимок наклонный***.

(*oxy* *OXYZ* *ox* *OX*

$t = \chi' =$

α_c 4.15

$$\left.\begin{array}{lll} a_1 = \cos\alpha_c & b_1 = 0, & c_1 = \cos\alpha_c \\ a_2 = 0, & b_2 = 1, & c_2 = 0 \\ a_3 = -\sin\alpha_c, & b_3 = 0, & c_3 = \cos\alpha_c \end{array}\right\}. \qquad (4.30)$$

($Z_S - Z_M =$ *H* *OXYZ*

N ($X_S = Y_S = 0$). 4.28 4.23 $X_S = Y_S = 0$

$Z_S = H$

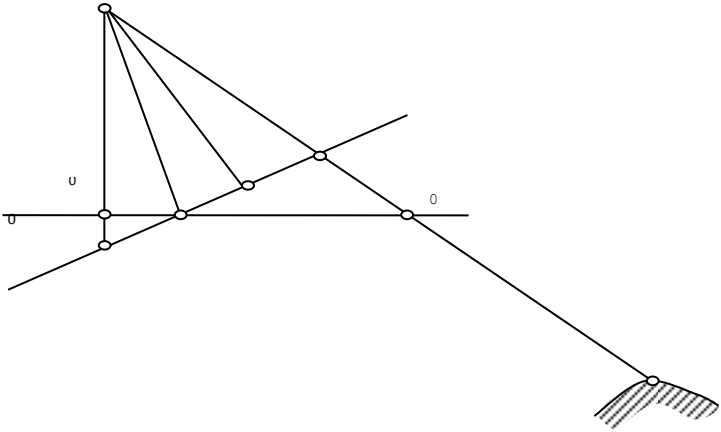
$$\left.\begin{array}{l} X = H\dfrac{x\cos\alpha_c + f\sin\alpha_c}{f\cos\alpha_c - x\sin\alpha_c} \\ Y = H\dfrac{y}{f\cos\alpha_c - x\sin\alpha_c} \end{array}\right\}. \qquad (4.31)$$

4.9. Зависимость между координатами точек наклонного и горизонтального снимков

трансформированием координат.

S 4.21 P^0
P m m^0 M

$So = So^0 = f$ m^0
x^0, y^0 m
x y.



1.

P^0

P P^0

4.23 Z_M
$X_S = Y_S =$ $Z_S = f$
P P^0

$$\left.\begin{aligned} x^0 &= -f\frac{X}{Z} = -f\frac{a_1x + a_2y - a_3f}{c_1x + c_2y - c_3f} \\ y^0 &= -f\frac{Y}{Z} = -f\frac{b_1x + b_2y - b_3f}{c_1x + c_2y - c_3f} \end{aligned}\right\}. \qquad (4.32)$$

4.26

x^0 y^0

$$\left.\begin{aligned} x &= -f\,\frac{a_1x^0 + b_1y^0 - c_1f}{a_3x^0 + b_3y^0 - c_3f} \\ y &= -f\,\frac{a_2x^0 + b_2y^0 - c_2f}{a_3x^0 + b_3y^0 - c_3f} \end{aligned}\right\}. \qquad (4.33)$$

4.21

(4.22 $x^0_n = y^0_n = 0$:

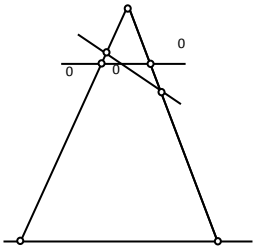
$$x_n = -f\,\frac{c_1}{c_3}, \quad y_n = -f\,\frac{c_2}{c_3}. \qquad (4.34)$$

$$x_c = -f\,\frac{c_1}{1+c_3}, \quad y_c = -f\,\frac{c_2}{1+c_3}. \qquad (4.35)$$

4.10. Масштаб изображения на аэрофотоснимке

-

2).



2.

2 P^0:

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H} = \frac{a^0 b^0}{AB}; \qquad (4.36)$$

P:

$$\frac{1}{m} \neq \frac{f}{H} = \frac{ab}{AB}. \qquad (4.37)$$

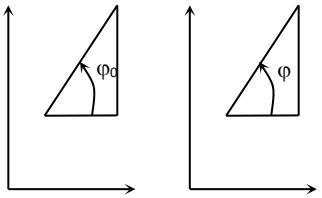
-

$$\frac{1}{m} = \frac{dl}{dL}, \qquad (4.38)$$

dl dL

4.23):

$$\left.\begin{aligned} dL &= \sqrt{dX^2 + dY^2} \\ dy &= dx \cdot \operatorname{tg}\varphi \\ dl &= dx / \cos\varphi \end{aligned}\right\}. \qquad (4.39)$$



а *б*

3

а *б*)

4.29

ox *OX*

dx *dy*:

$$dX = H\frac{(f\cos\alpha_c - x\sin\alpha_c)\cos\alpha_c dx - (x\cos\alpha_c + f\sin\alpha_c)(-\sin\alpha_c)dx}{(f\cos\alpha_c - x\sin\alpha_c)^2};$$
$$dY = H\frac{(f\cos\alpha_c - x\sin\alpha_c)\cos\alpha_c dy - y(-\sin\alpha_c)dx}{(f\cos\alpha_c - x\sin\alpha_c)^2}. \quad (4.40)$$

4.33):

$$dX = \frac{Hdx}{fk^2}, \quad dY = \frac{H(k\ \mathrm{tg}\,\varphi + c)dx}{fk^2}, \quad (4.41)$$

$$k = (\cos\alpha_c - \frac{x}{f}\sin\alpha_c), \quad c = \frac{y}{f}\sin\alpha_c. \quad (4.42)$$

4.34 4.24

$$dL = \frac{Hdx}{fk^2}\sqrt{1 + (k\ \mathrm{tg}\,\varphi + c)^2}, \quad (4.43)$$

4.23 *x*, *y*

4.33

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H} \frac{k^2}{\sqrt{\cos^2 \varphi + (k \sin \varphi + c \cos \varphi)^2}}. \qquad (4.44)$$

4.40

1. ***Снимок горизонтальный*** (α_c α_c 4.37 $k = 1$, $c = 0$, 4.40

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H}. \qquad (4.45)$$

2. ***Масштаб по главной вертикали*** ($y = 0$, $\varphi =$ (4.40 $k = \cos \alpha_c$ $c = 0$.

$$\frac{1}{m_{VV}} = \frac{f}{H} k^2 = \frac{f}{H} (\cos \alpha_c - \frac{x}{f} \sin \alpha_c)^2. \qquad (4.46)$$

3. ***Масштаб по горизонталям*** ($\varphi = 90°$).
4.40 k

$$\frac{1}{m_{hh}} = \frac{f}{H} k = \frac{f}{H} (\cos \alpha_c - \frac{x}{f} \sin \alpha_c). \qquad (4.47)$$

.

Масштаб в точке нулевых искажений 4.40) $y = 0$, $oc = x = -f(1-\cos \alpha)/\sin \alpha$, $k = 1$, $c =$

$$\frac{1}{m_{VV}} = \frac{1}{m_{hh}} = \frac{f}{H}. \qquad (4.48)$$

Масштаб в точке надира ($x = -f \operatorname{tg} \alpha$, $k = 1/\cos \alpha$, $c = 0$):

$$\frac{1}{m_{VV}} = = \frac{f}{H \cos^2 \alpha_c}, \quad \frac{1}{m_{hh}} = \frac{f}{H \cos \alpha_c}. \qquad (4.49)$$

Масштаб в главной точке $x = 0$, $k = \cos\alpha$, $c = 0$):

$$\frac{1}{m_{VV}} = \frac{f}{H}\cos^2\alpha_c, \quad \frac{1}{m_{hh}} = \frac{f}{H}\cos\alpha_c. \tag{4.50}$$

4. ***Изменение масштаба в пределах аэроснимка***

$+x$ $-x$:

$$\frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_2} == \frac{f}{H}\left[\left(\cos\alpha_c + \frac{x}{f}\sin\alpha_c\right)^2 - \left(\cos\alpha_c - \frac{x}{f}\sin\alpha_c\right)^2\right]. \tag{4.51}$$

-
-

4.46):

$$\frac{\Delta m}{m} = 4\frac{x\alpha_c'}{f\rho'}. \tag{4.52}$$

$x = f$ $\alpha_c = 30'$

4.11. Главный, средний и частный масштабы аэрофотоснимка

Главный масштаб

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H}, \tag{4.53}$$

H

среднего масштаба планового аэрофотоснимка

AB *DF* .

$$\frac{1}{m} = \frac{l}{L \cdot M}, \tag{4.54}$$

m
l
L
M

4.54

$$m_{AB} = \frac{L_{AB} \cdot M}{l_{AB}}, \quad m_{DF} = \frac{L_{DF} \cdot M}{l_{DF}}. \tag{4.55}$$

AB DF:

$$m = \frac{m_{AB} + m_{DF}}{2}. \tag{4.56}$$

,

$$\Delta m = \left| m_{AB} - m_{DF} \right|. \tag{4.57}$$

m m .

$$\frac{\Delta l}{L} = \frac{\Delta m}{m}. \tag{4.58}$$

4.58

$$L = \frac{m}{\Delta m} \Delta l. \tag{4.59}$$

частных масштабов *A, B, D* *F*

AA_1 AA_2, BB_1 BB_2, DD_1 DD_2, FF_1 FF_2.

(4.55).

A, B, D

F

$$m = \frac{m_A + m_B + m_D + m_F}{4}. \quad (4.60)$$

4.12. Смещение изображения контурной точки на аэрофотоснимке из-за влияния рельефа местности

Линейные искажения, вызванные влиянием рельефа местности.

.

4.24 P^0

H E

A B E

$+h$ $-h$ a b

$oa = r_a$ $ob = r_b$

A^0 B^0

A B E;

a_0 b_0

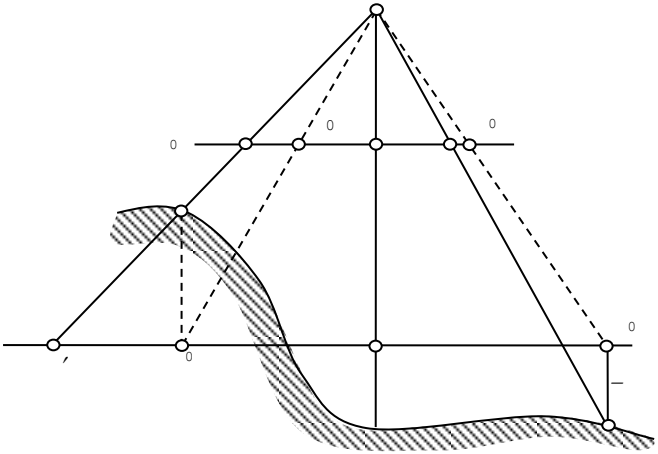
aa^0 bb^0 δ_h a b,

-

δ_h -

Soa, AA^0A' Saa^0, $SA'A^0$

$$aa^0 = A'A^0 \cdot So / SO = AA^0 \cdot oa / SO. \qquad (4.61)$$



.

$AA^0 = h$, $oa = r$, $SO = H$ $aa^0 = \delta_h$,

$$\delta_h = \frac{rh}{H}. \qquad (4.62)$$

$h =$ $r =$ $H =$ $\delta_h = 2{,}5$

.

4.62

δ_h

4.62

δ_h

÷

4.62

$$Q = 2h \quad \leq \frac{0,6\,fM}{1000r}, \qquad (4.63)$$

f ;
M
r .
4.62 4.63)

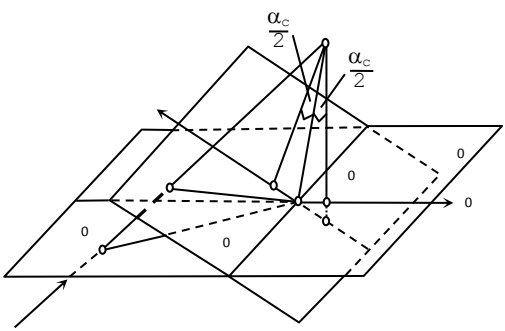
1. $\delta_h =$ $r =$ $h =$
E

2.
δ_h

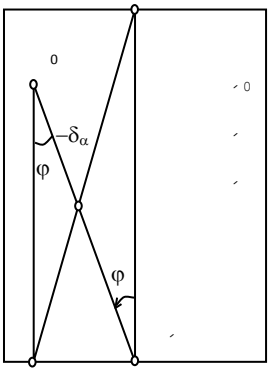
3.
$H,$ $f.$
E 4.23
4.62 4.63

4.13. Смещение контурных точек на снимке за угол наклона

P P^0
S 4.25, a
M m m^0
$h_c h_c$.
P^0



а



б

. 4.25.

а) *б*)

4.25, *б*

S *c*

m m^0

Smm^0 *m* m^0

r r^0 $\delta_\alpha = r - r^0$

$mm^0 = -\delta_\alpha$.

mm^0k *icm*

$$mm^0 / m^0k = mc / ic \qquad (4.64)$$

$$mm^0 = m^0k \cdot mc / ic. \qquad (4.65)$$

$mc = r_c$, $ic = f / \sin\alpha_c$ $m^0k = r^0\cos\varphi$

$$\delta_\alpha = -\frac{r_c r_c^0}{f}\sin\alpha_c \cos\varphi. \qquad (4.66)$$

перспективного

4.66 r^0 $r - \delta_\alpha$

$$\delta_\alpha = -\frac{r_c^2 \sin\alpha_c \cos\varphi}{f - r_c \sin\alpha_c \cos\varphi}. \qquad (4.67)$$

$$\delta_\alpha = -\frac{r_c^2}{f} \sin\alpha_c \cos\varphi. \qquad (4.68)$$

$\alpha_c = 1$, $f = r_c = 100$ $\varphi = 0$ $\delta_\alpha = 1{,}75$
c - r -
φ –

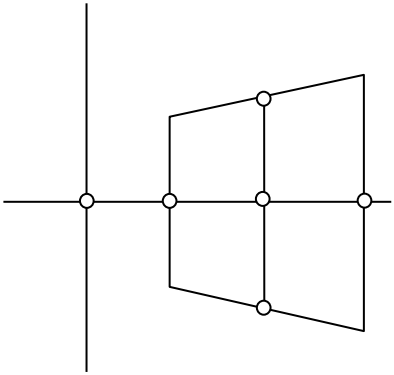
δ_α -
$\cos\varphi = \pm$ $\alpha_c < 3°$:

$$\delta_{\alpha_{max}} = -\frac{r_c^2 \alpha_c'}{f\rho'}. \qquad (4.69)$$

4.69 ***радиус полезной площади***
r δ_α
$\Delta_{\alpha.}$. 4.69) r_c r δ_α Δ_α

$$r = \sqrt{\frac{f\Delta_\alpha\rho'}{\alpha_c'}}. \qquad (4.70)$$

$\Delta_\alpha = 0{,}3$ $\alpha_c = 30'$ $f = 100$ $r = 58{,}5$
$f =$ $r =$



6.

P P^0

$$\Delta P = P - P^0 = \frac{L^2 f^2}{H^2}\left[\left(\cos\alpha_c - \frac{x}{f}\sin\alpha_c\right)^3 - 1\right]. \qquad (4.73)$$

$$\frac{\Delta P}{P^0} = \left(\cos\alpha_c - \frac{x}{f}\sin\alpha_c\right)^3 - 1. \qquad (4.74)$$

k $x =$

$$\frac{\Delta P}{P^0} = \cos^3\alpha_c - 1. \qquad (4.75)$$

4.74 -

α_c,

Влияние рельефа местности на искажения площадей

P^0

P):

$$P^0 = Pm^2 = P \cdot H^2 / f^2. \qquad (4.76)$$

H

h

P^0 H

$$dP^0 = P\frac{2HdH}{f^2} = P\frac{2H^2}{f^2} \cdot \frac{dH}{H} = 2P^0\frac{dH}{H}. \qquad (4.77)$$

$dP^0 = \Delta P$ $dH = h.$

$$\frac{\Delta P}{P} = 2\frac{h}{H}. \qquad (4.78)$$

$H =$

$h =$

1.
2. 375 . :
3. .

5. ТРАНСФОРМИРОВАНИЕ СНИМКОВ. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОТОСХЕМ И ФОТОПЛАНОВ

5.1.
5.1.1.

5.1.2.
5.1.3.
5.1.4.

5.2.
5.2.1.
5.2.2.
5.2.3.
5.2.4.

5.1. Трансформирование снимков

5.1.1. Понятие о трансформировании снимков. Виды трансформирования. Аналитическое трансформирование

Трансформированием

,

-

Аналитический способ -

.

Фотомеханический способ

Оптико-графический способ

Дифференциальный способ -

Аналитическое трансформирование.

. ,

$Z_M = 0$, $Z_S = H$ $Q = H / (c_3 f)$

$$\left.\begin{aligned} X &= \frac{A_1 x + A_2 y + A_3}{C_1 x + C_2 y + 1} \\ Y &= \frac{B_1 x + B_2 y + B_3}{C_1 x + C_2 y + 1} \end{aligned}\right\}, \qquad (5.1)$$

$$\left.\begin{aligned} A_1 = Qa_1, \quad A_2 = Qa_2, \quad A_3 = -Qa_3, \\ B_1 = Qb_1, \quad B_2 = Qb_2, \quad B_3 = -Qb_3, \\ C_1 = -c_1/(c_3 f), \quad C_2 = -c_2/(c_3 f) \end{aligned}\right\}, \qquad (5.2)$$

a_i, b_i, c_i

5.1)

5

5

X Y

H

.

5.1.2. Устройство фототрансформатора

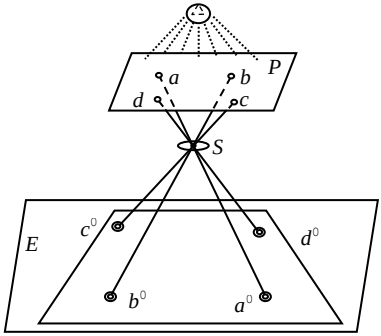
Фотомеханическим трансформированием

-

-

P

S *E.*



a,

b, c *d*
a^0, b^0, c^0 d^0 *E*

- *восстановить связку проектирующих лучей* -
- *построить связку проектирующих лучей* -

P *E*).

5.1.3. Оптические и геометрические условия трансформирования

Оптические условия

Первое оптическое условие

f

F

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{D} + \frac{1}{d}, \qquad (5.3)$$

D d

$$D = F + D' \quad d = F + d',$$

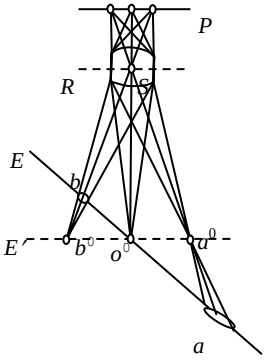
5

$$F^2 = D'd'. \qquad (5.4)$$

первого оптического условия

P), *R* *E*

a *b*

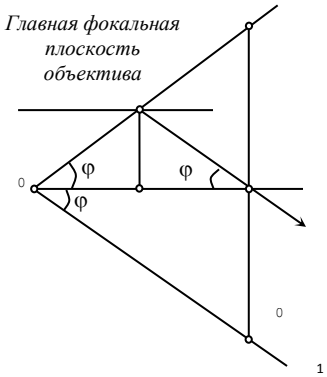


второе оптическое условие

для оптического сопряжения двух плоскостей пространства необходимо, чтобы линия их пересечения лежала в главной плоскости объектива R 5.3).

E

- *eSe*^{0};
-



i 5.3)

ik,

Sv$_0$,

F

Геометрические условия

:*M*

E *E*$_1$ (5.3),

SN′

iS = *F*$_P$ *iv′*$_0$ = *F*$_E$ ***инвариантами трансформирования***,

$$F_P = \frac{f}{\sin\alpha_c}, \qquad F_E = \frac{H}{M\sin\alpha_c} = \frac{fK_t}{\sin\alpha_c}, \tag{5.5}$$

K_t

φ_P φ_E

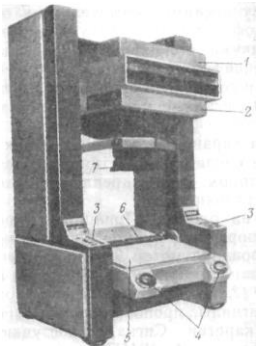
Sik *ik*v_0:

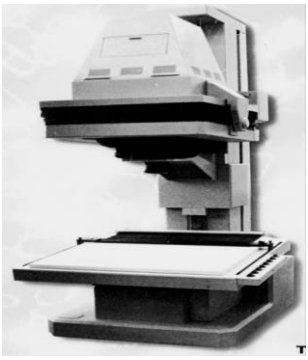
$$\sin\varphi_E = \frac{F}{F_P} = \frac{F\sin\alpha_c}{f}, \qquad \sin\varphi_p = \frac{F}{F_E} = \frac{F\sin\alpha_c}{fK_t} = \frac{\sin\varphi_E}{K_t}. \qquad (5.6)$$

Фототрансформаторы.

Фототрансформаторы автоматизированные ФТА *а*)

б





а *б*

а *б*)

1 *2* *3* *4*

5 *6* *7*

5.1.4. Трансформирование снимков на фототрансформаторе: трансформирование по опорным точкам, учет рельефа при фототрансформировании

по установочным данным по опорным точкам.

Трансформирование снимков по установочным данным.

Rectimat, Seg-V, Seg-VI

f, x_0, y_0;

α, ω, χ; H;

F

:M

.

$\chi_P = \chi + t$ χ

t

.

-

Трансформирование снимков по опорным точкам.

опорными *трансформационными*

Изготовление основы.

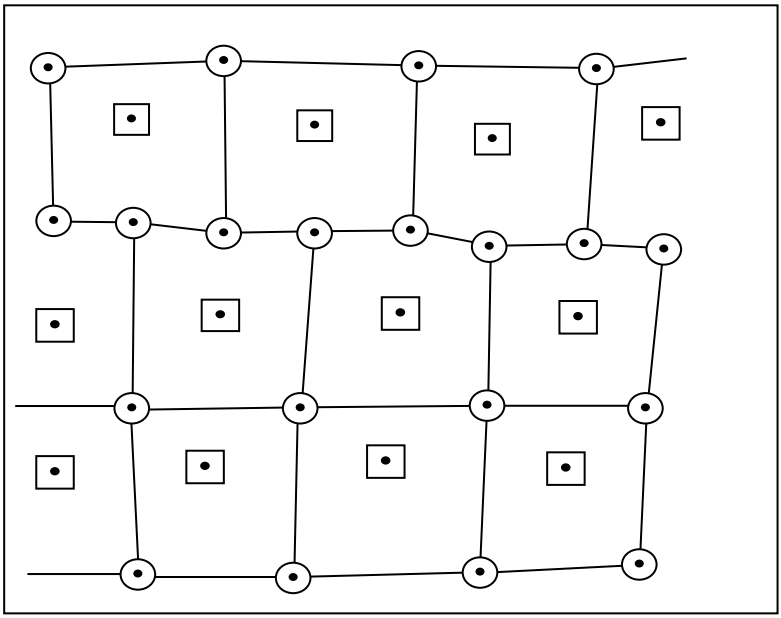
×

5.5).

Опорные планшетики

-

Подготовка аэронегативов

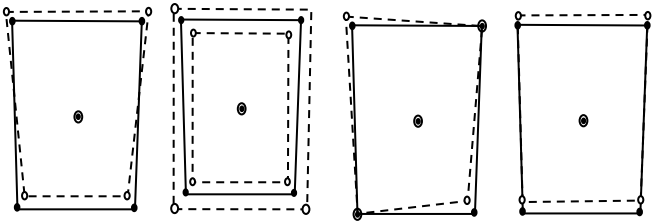


Учет деформации фотобумаги

,

фототрансформирование

5.6 .



а *б* *в* *г*

6 :

а

б *в*

г

Фотографическая обработка

Учет рельефа при фототрансформировании.

$\pm h$

к высоте фотографиро-

вания над этой точкой

,

-

1903

5.7

$Z_{\min}$ $Z_{\max}$ $\Delta Z = Z_{\min}$ $Z_{\max}$.

Q

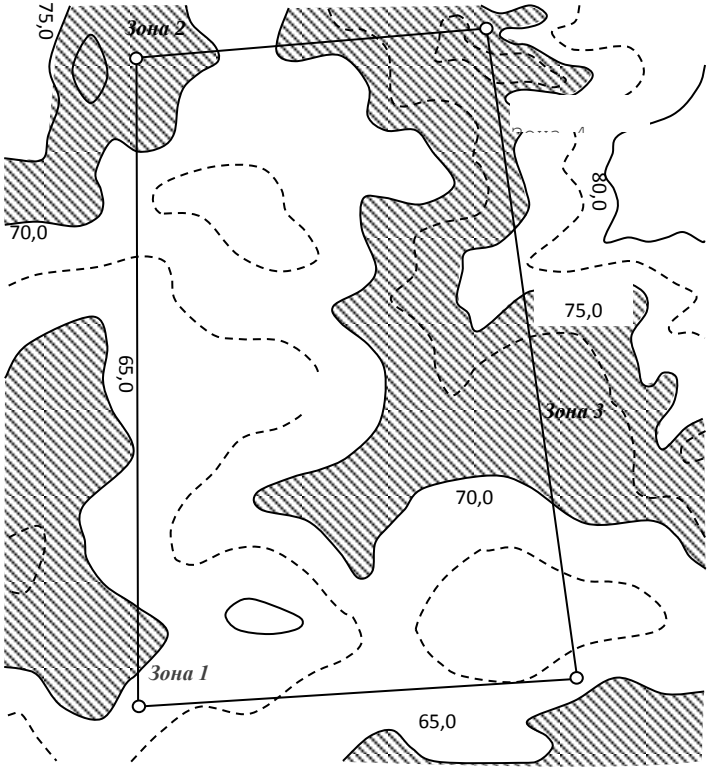
δ_h:

$$Q = 2h = \frac{2\delta_h fM}{1000r}. \qquad (5.7)$$

$\Delta Z < Q$.

$\Delta Z > Q$

Q 8 -



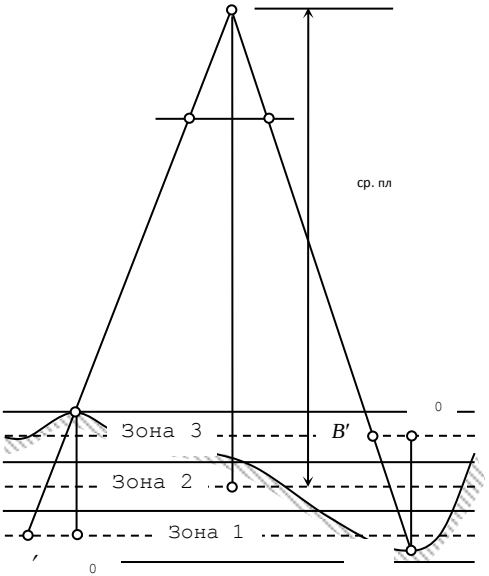
7.

A^0, B^0 A', B'

Δ_h 5.7:

$$\Delta_h = \frac{R_i h_i}{H \quad - Z}, \tag{5.8}$$

$$h_i = Z_i - Z \quad . \tag{5.9}$$



8.

5.8 5.9):

Z , *H*

Z_i, R_i, h_i

Δ_h

,

:

1.

Z_i,

:

$$\Delta Z = Z_{min} - Z_{max}. \qquad (5.10)$$

Q

:

$$N = \Delta Z / Q. \qquad (5.11)$$

Z :

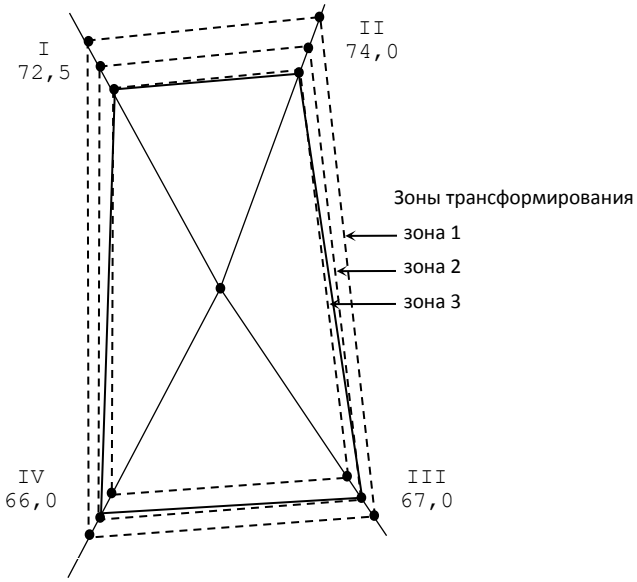
$$Z = Z_{min} + (n - 0{,}5)\, Q, \qquad (5.12)$$

n , .

4. 5.9), (5.10) -

.

5.9).



9.

Δl -
l

Δl i $i+$

$$\Delta l_{i,i+1} = l_i \frac{Q}{H_i}, \qquad (5.13)$$

Q
l_i i;
H_i i.

5.2. Фотопланы и фотосхемы

5.2.1. Понятие о фотосхемах и фотопланах

,

Фотосхемой

зависимости от числа маршрутов :
- *одномаршрутные,* ;

- *многомаршрутные*,

зависимости от способа монтажа

совместной обрезки

индивидуальной обрезки

зависимости от вида исходных материалов

контактные,

приведенные,

свободные,

каркасные

000 1:50

Фотопланом

Топографические фотопланы

Специальные фотопланы

фотокартой.

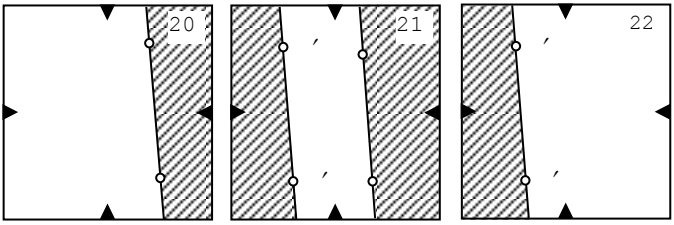
5.2.2. Способы изготовления фотосхем

-
-
-

).

Способ индивидуальной обрезки

5.10



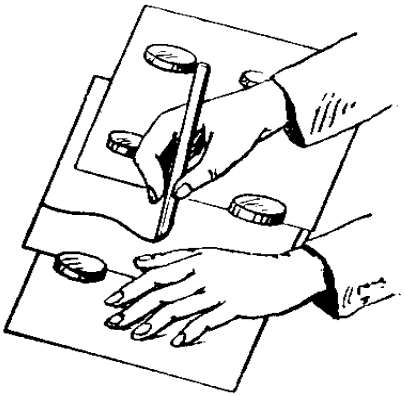
0.

ab, a′b′, cd, c′d′

0). 0

совместной обрезке

11



11.

многомаршрутных фотосхем

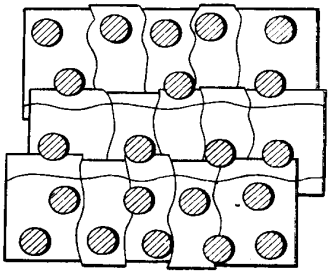
5.12

.

Приведенные фотосхемы

K_i

m_i *M.*



12.

/ m_i = f / H_i

l l :M

$$\frac{1}{m_i} = \left(\frac{l}{l\ M} \right)_i . \qquad (5.14)$$

:M

′ δ_α

f = 150

Оформление фотосхемы

5.2.3. Технология изготовления фотопланов

.

-

фототрансформирование выполнено на одну плоскость

- -

,

снимки трансформированы по зонам , ,

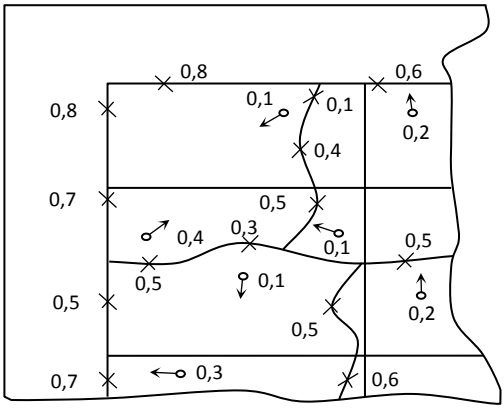
-

Оптический монтаж фотоплана

5.2.4. Контроль качества проявления фотосхем и фотопланов

Контроль фотоплана

.



.

Контроль по точкам

Контроль по порезам

-

1,0

Контроль по сводкам -

Контроль фотосхем

1.

2.

375

3.

6. ПЛАНОВО-ВЫСОТНАЯ ПРИВЯЗКА АЭРОФОТОСНИМКОВ

6. -
6.2.
6.3.
6.4. -

6.1. Сущность планово-высотной привязки аэрофотоснимков

Планово-высотная привязка снимков -

1)
X У

2) -
X, Y Z

3)
Z

Опорной точкой (*опознаком*)

-

Планово-высотная привязка снимков
✓ ;
✓ ;
✓ ;
✓

Подготовка материалов

Составление проекта привязки

6.1 1 6

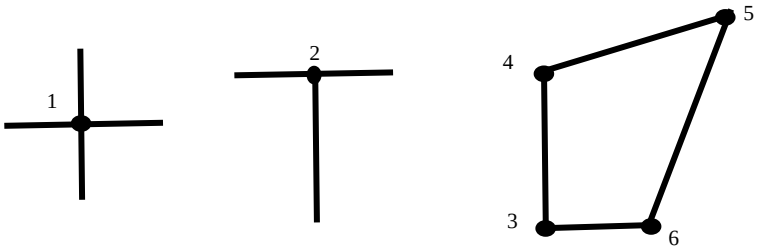
-

$$h = \frac{\delta_0 M f}{r}, \qquad (6.1)$$

0

$_0 = 0{,}1$

r –



0,2

6.2. Схемы размещения опорных точек

-

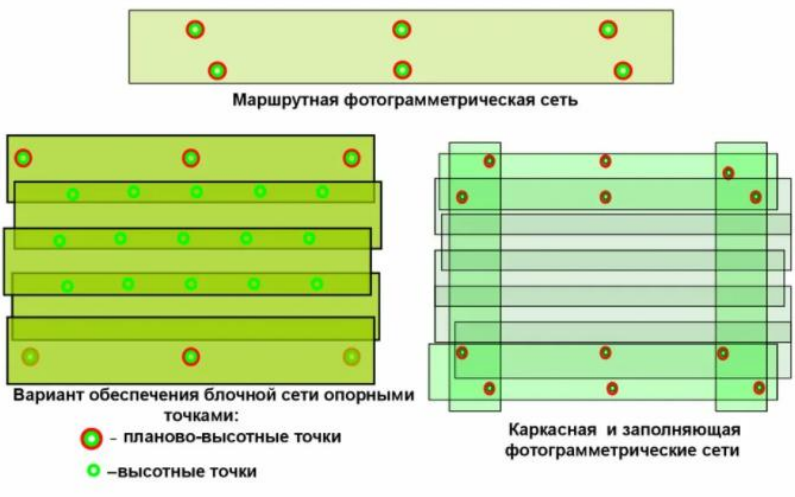
сплошной

разреженной.

-

-

6.2).

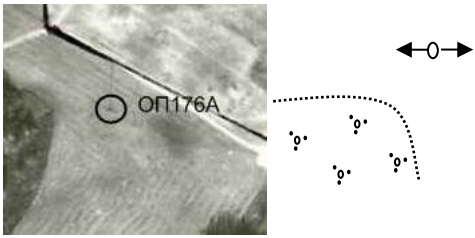

Маршрутная фотограмметрическая сеть
Вариант обеспечения блочной сети опорными точками:
- планово-высотные точки
–высотные точки
Каркасная и заполняющая фотограмметрические сети

-

-

6.3. Опознавание и оформление точек на снимках

6.3



Распознано и наколото основание железобетонной опоры № 46 линии электропередач напряжением 220 киловольт.
Точность распознования 0,5 м
Распознал и наколол Ф. С. Олоконов
05.05.2023

.

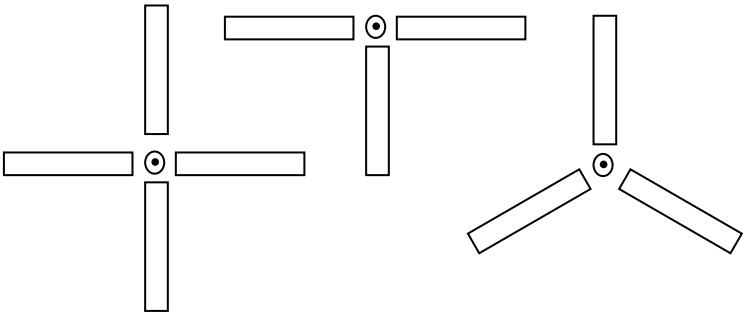
-

).

, 1:5000

0,5

1:25 000 .



.

o

6.4. Способы планово-высотной привязки снимков

-

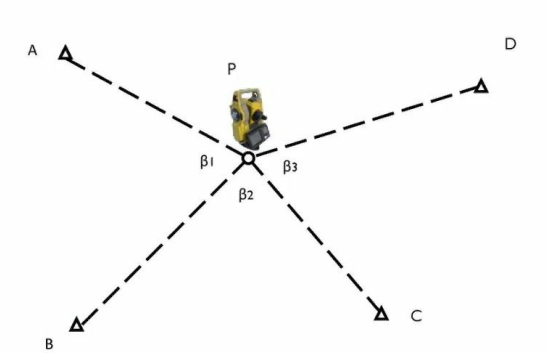
1. *Привязка аэроснимков обратной засечкой*.

8

30″

″

6.5)

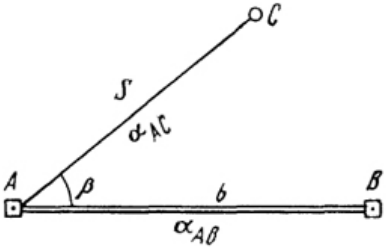


2. *Привязка аэроснимков полярным способом*

C

A

6.6)



3. *Привязка аэроснимков прямой засечкой*.

A_1, A_2, A_3

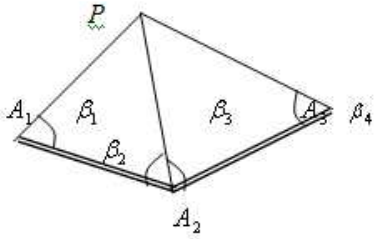
6.7

.

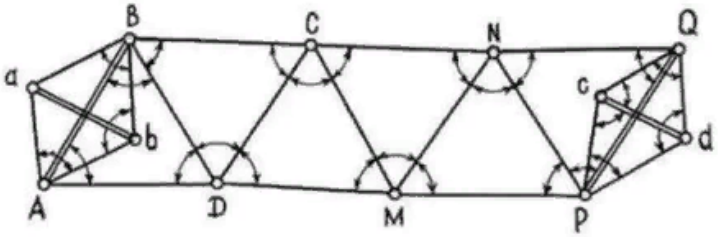
N

10 15

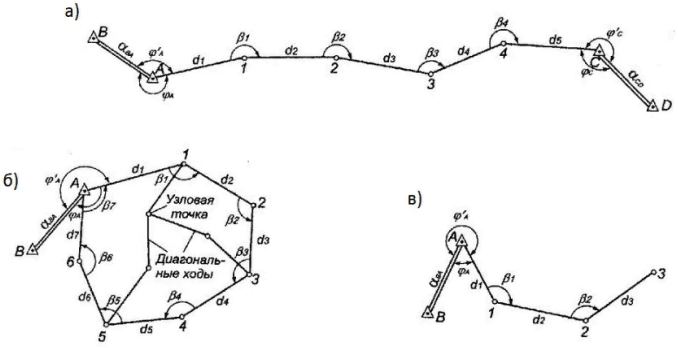
1:25 000 "



4. *Привязка аэроснимков триангуляционными построениями* 6.8).



5. *Привязка аэроснимков проложением полигональных ходов* 6.9).



а ; *б* ; *в*

GPS-

1. . :
2.
375
3. .

7. ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

7.1. -
7.1.1.
7.1.2.

7.1.3. .
7.1.4.

7.1.5. -

-
7.1.6.

7.2.

7.2.1.

7.2.2.
7.2.3.

7.2.4.

7.1. Теория дешифрирования аэро- и космических снимков

Дешифрированием (интерпретацией)

;

;

,

,

-

.

Дешифрирование снимков (*интерпретация*) –

• *на общегеографическое*;
• *специальное* (*тематическое, отраслевое*).
Общегеографическое дешифрирование

1) *топографическое дешифрирование* –

2) *ландшафтное дешифрирование*

Специальное (тематическое, отраслевое) дешифрирование

:

,

7.1.1. Дешифрирование снимков. Классификация дешифрирования

- *визуальный*
  ;
- *машинно-визуальный*,

  ;
- *автоматизированный*

  ;
- *автоматический*

распознавание

7.1.2. Визуальный метод дешифрирования. Прямые и косвенные дешифровочные признаки

1) *обнаружение объектов*;
2) *распознавание объектов*

3) *интерпретация*

,

Обнаружение.

,

$$d_k \geq 1,4l\delta^{-\frac{1}{2}}; \qquad (7.1)$$

$$d_n \geq 0,6l\delta^{-\frac{1}{2}}. \qquad (7.2)$$

$$\delta = D \ - D \ . \qquad (7.3)$$

l 5 0 .

Распознавание (идентификация)

угадывание, выделение признаков синтез признаков

Интерпретация (определение характеристик).

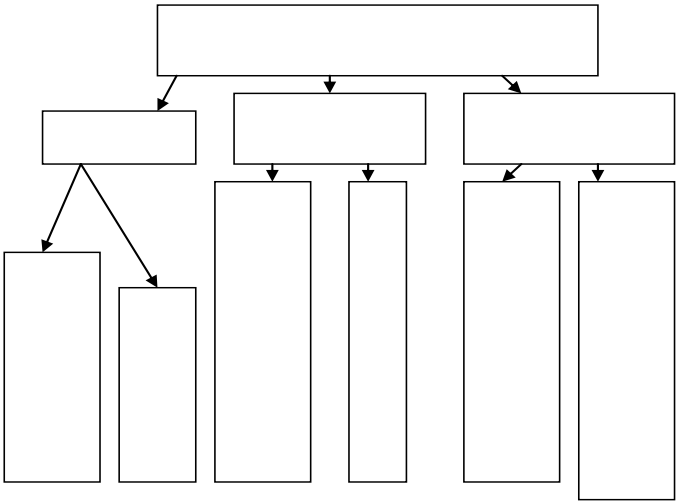
.

Способы визуального дешифрирования.

полевой, камеральный и комбинированный

Полевой способ дешифрирования

,



7.1.

Камеральный способ дешифрирования

-

-

Комбинированный способ дешифрирования

,

пря-

мые дешифровочные признаки косвенные.

К прямым дешифровочным признакам

-

Форма

Размеры дешифрируемых объектов

,

Тон изображения

-

7.1).

7.1. **Количественные характеристики плотности изображения**

0,2 0,3	
0,4 0,6	-
0,7 1,1	
1,2 1,6	-
1,7 2,1	

-

Цвет изображения

-

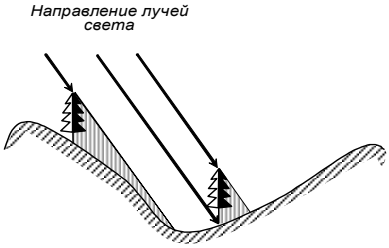
.

-

7.2. **Пример отображения объектов местности на разных снимках**

	-		
	-	-	-
			- -
-	-	-	- -
			-
	-		
	-	-	
			-
			- -
		-	
		- -	-
		-	

Тень

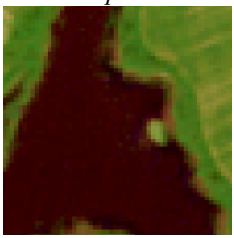


Текстура (*структура изображения*) –

.

Зернистая

Однородная

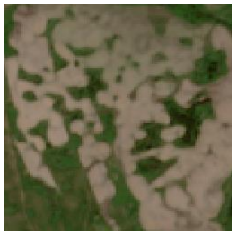


Полосчатая

Мелкозернистая

Мозаичная

Пятнистая



.

Зернистая структура

Однородная структура

Полосчатая структура

Мелкозернистая структура

Мозаичная структура

.

Пятнистая структура
Квадратная структура

Косвенные признаки :
природные, антропогенные и природно-антропогенные.

природным

ландшафтными.

антропогенных

К природно-антропогенным косвенным :

индикаторами, *индикационным.*

Растительность

.

Морфологические признаки

Флористические (видовые) признаки

-

Физиологические признаки

Фенологические признаки

Фитоценотические признаки

-

- -

- -

Рельеф

Гидрография -

-

7.1.3. Генерализация информации при дешифрировании

Картографическая генерализация ,

, .

(

способ обобщения качественных и количественных показателей, способ отбора и способ обобщения контуров

Нормами отбора при генерализации информации являются:
1)
;
2)

1) *полнота дешифрирования*;
2) *достоверность дешифрирования*.
Полнота дешифрирования

,
.

— . (7.4)

Абсолютная полнота дешифрирования

.

— . (7.5)

достоверностью

0
.

$\frac{}{0}$ (7.6)

1) *информативность*;
2) *дешифрируемость*.
Информативность –

«полная информация»,

оперативную

-

-

Простота

выразительность

Наглядность и выразительность

Дешифрируемость

I_0

I_n

$$R = \frac{I_0}{I_n}. \qquad (7.7)$$

относительная дешифрируемость

I

$$D_c = \frac{I}{I_{\max}}. \qquad (7.8)$$

D_c *коэффициентом дешифрируемости*

-

.

$$D_c = I / I_{max}$$

Полнота дешифрирования

I_1

$$= \frac{I_1}{I} \qquad (7.9)$$

Под достоверностью дешифрирования

n

$$D = \frac{n}{N}. \qquad (7.10)$$

7.1.4. Материалы съемки, используемые при визуальном дешифрировании. Линейные и стереоскопические измерения при визуальном дешифрировании

Контактные фотоснимки

-

Увеличенные изображения

R R .

$$= \frac{R}{R} \qquad (7.11)$$

-,

Фотосхемы

Стереофотосхемы

-

Фотопланы

Стереоортофотоплан

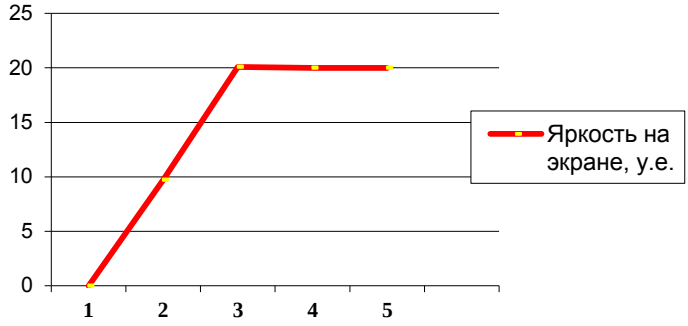
7.1.5. Понятие о машинно-визуальном и автоматизированном дешифрировании. Преобразование исходных изображений при машинно-визуальном и автоматизированном дешифрировании

-

1. ***Преобразование контрастности.***

,

7.4).



4

,

2. ***Квантование.***

.

1. *Равномерное квантование –*

.

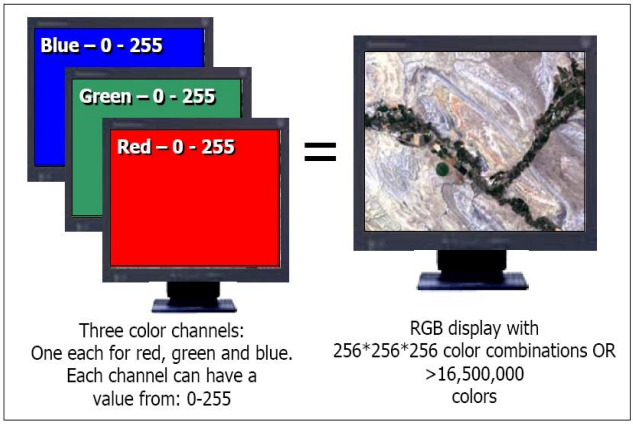
2. *Неравномерное квантование*

3. ***Фильтрация*** ,

,

1) *изменения яркости в скользящем окне*;
2) *преобразование Фурье.*
4. ***Синтезирование цветных изображений*** 7.5).

RGB (Red, Green, Blue).



5

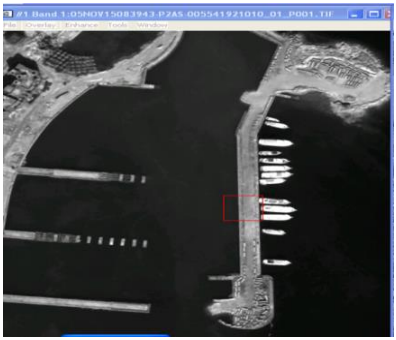
,

-

RGB

6. ***Синергизм снимков.*** ,

. 7.6).



,

,

.

( )

7.1.6. Дешифровочные признаки, используемые при автоматизированном дешифрировании

яркость объекта

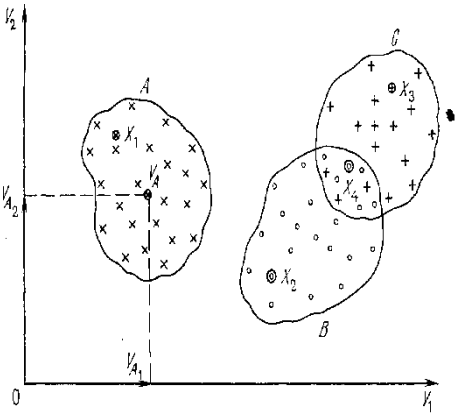
Форма и размеры

цвет и текстура

спектральным признаком

A

V_{A1} 7.7).



7.

V_2 V_{A2}

V_{A1} V_{A2} V_A

A.

A.

B C

A B, A C B C).

X_4

,

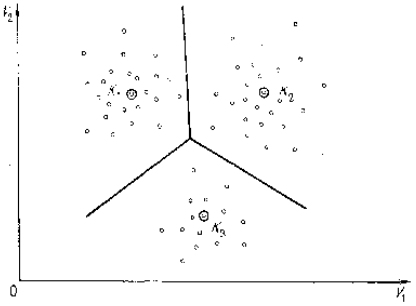
кластеризацией

кластерами.

7.8).

K_1, K_2

K_3

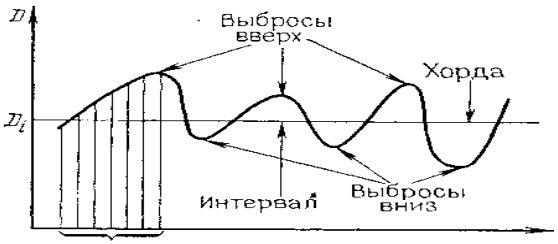


8

пороговые

признаки. ,

D_i 7.9).



9.

,

7.2. Дешифрирование аэрофотоснимков для составления кадастровых планов и карт

7.2.1. Задачи, содержание и особенности дешифрирования для составления кадастровых планов и карт

Сельскохозяйственное

1:10 000.

Основные требования к контурно-информационной нагрузке при сельскохозяйственном дешифрировании.

-

-

, ,

7.2.2. Объекты дешифрирования и их признаки

границы

,

,

1)

2)

3)

в первом случае

Во втором случае

В третьем случае

,

Пахотные земли –

пахотных земель

пахотных земель

пахотных земель

пахотных земель

пахотным землям

Залежи –

,

Луговые земли (*пастбища и сенокосы*).

.

Многолетние насаждения

-

Сельские населенные пункты.

,

.

,

Леса

,

:

7.2.3. Требования к качеству дешифрирования. Нормы генерализации информации

.

1.
2. .
3. .
4.

Подготовительные работы

- 000);
- (
1:10 000;
-

,
;
-
, ;
-
-
,
-
-
-

.

-

Камеральное дешифрирование

Требование к качеству дешифрирования, нормы генерализации и информации.

- ✓
- ✓
- ✓

✓ 2

✓ 2

✓ 2

✓ 2

✓ 2

5 2

5

7.2.4. Дешифрирование снимков для целей кадастра. Подготовительные работы. Технология работы при дешифрировании

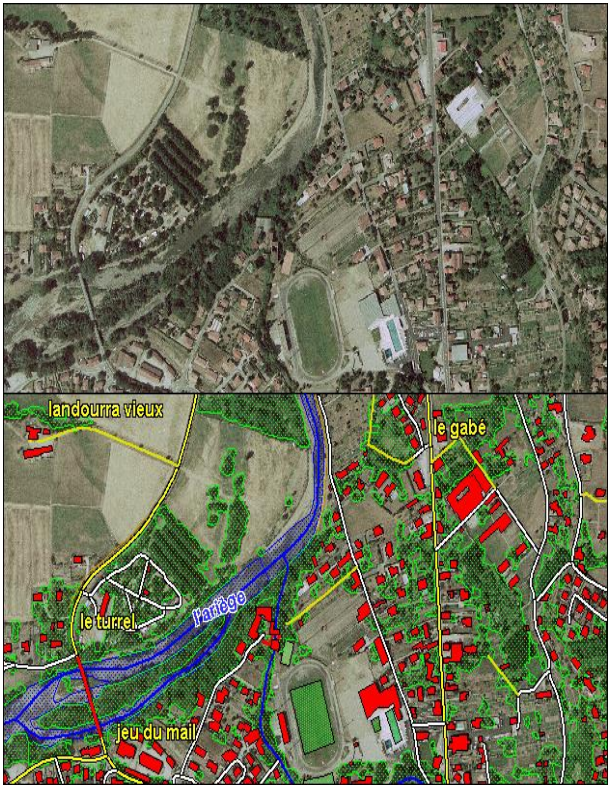
000.

,

,

,

,


landourra vieux
le gabé
le turrel
l'ariège
jeu du mail

,

-

1.
375
2. . :
3. .

8. ТЕОРИЯ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОЙ ПАРЫ СНИМКОВ

8.1.
8.1.1. .
8.1.2.
8.1.3.
8.1.4.

8.1.5.
8.1.6.

8.2.
8.2.1.

8.2.2.
8.2.3. ( )

8.1. Стереоскопическое наблюдение снимков

8.1.1. Монокулярное, бинокулярное и стереоскопическое зрение

"

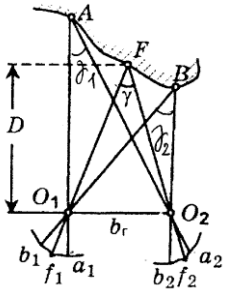
25"

-

F 8.

f_1 f_2. F

b O_1 O_2



8.

Ff_1 (Ff_2),

Aa_1 Aa_2, Bb_1

Bb_2 1 2

, ,

$$\gamma = \frac{b}{D}\rho, \qquad (8.1)$$

b
D

$D =$

Остротой бинокулярного зрения первого рода

20 30″ -

″.

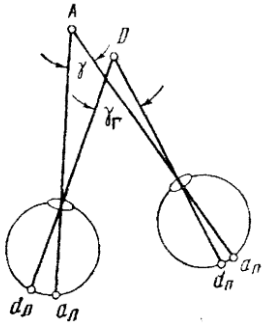
10″

7″.

Стереоскопическим зрением

- *A* 8.

D.



8.

D A

D ,

$a\ d \quad a_n d_n$

физиологическим параллаксом

$$a\ d \quad a_n d_n. \qquad (8.2)$$

,

5 ".

8.1.2. Условия возникновения стереоэффекта

.

Условия возникновения стереоэффекта.

1.

2.

3.

,

4.

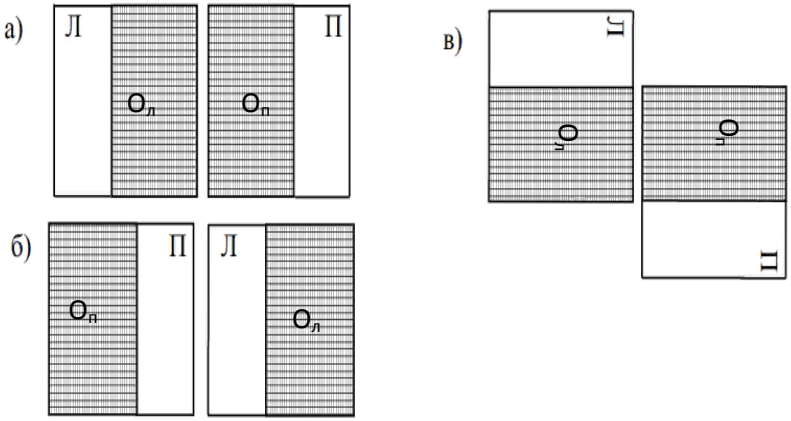
5.

стереоскопический эффект.
Стереоэффект

Прямой стереоэффект 8.3, *а*

О О , О О

,



8.3. *а*),
б *в*)

обратном стереоэффекте 8.3, *б*

8.3, *в*

.

8.1.3. Способы стереоскопических наблюдений

-

25

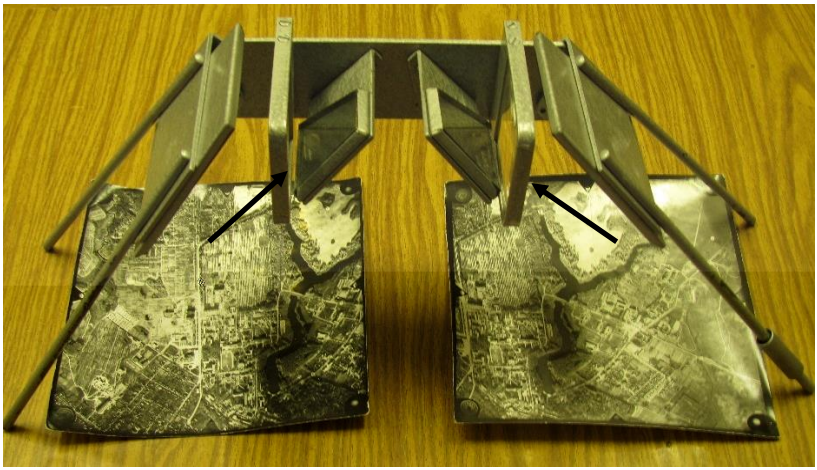
оптический, анаглифический, поляроидный .

Оптический способ

зеркально-линзовый стереоскоп –

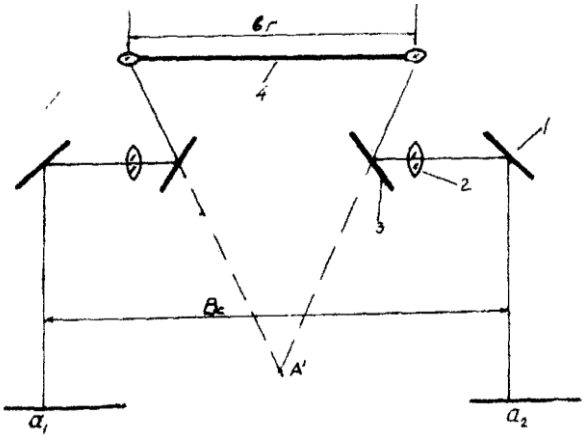
Стереопара

8. *1, 2 3* ,



8.

- 8.5.



8.5

1, 2

3 *4*

B

в

A′ *A*

,

,

-

Способ поляроидов

-

-

-

-

Анаглифический способ

-

- -

-

,

Способ вычитания

-

Способ сложения

-

8.1.4. Стереоскопические наблюдения цифровых изображений. Жидкокристаллические стереомониторы

page-flipping *interlace*

Оптический способ стереоскопических наблюдений

Анаглифический способ стереоскопических наблюдений

-

-

Затворный способ получения стереоскопического эффекта

LCD- Liquid Crystal Display
NuVision

Покадровый (page-flipping) режим стереонаблюдений

Построчный (interlace) режим стереонаблюдений

Жидкокристаллические стереомониторы.

(LCD-
CRT -

LCD-

LCD-

LCD-

-

LCD-

-

Интерлейсные мониторы

CRT-

Hyun-
dai ″ ″
3100 .

Zalman
Miracube,
19 .

Фазово-поляризационные LCD-мониторы

LCD

-

Perceiva DSD "
MacNaughton

.

Зеркальные стереомониторы

LCD-

8.1.5. Способы измерения снимков и стереомодели

способ действительной

марки и способ мнимой марки.
мнимой марки

-

P P

8.6).

P P

B

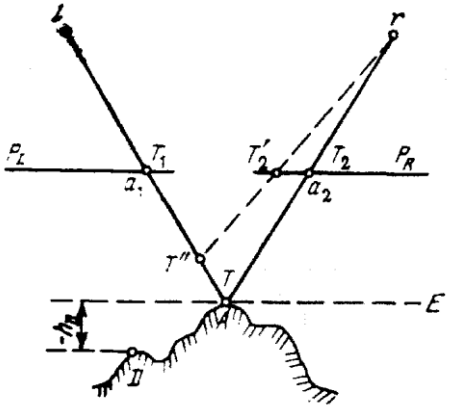
T_1 T_2

T

T_1 T_2

a_1 a_2 T

A



8.6.

T_2 a_2

T'' A

A

T_2' T_2,

T'' A

X Y

X, Y, Z

Z

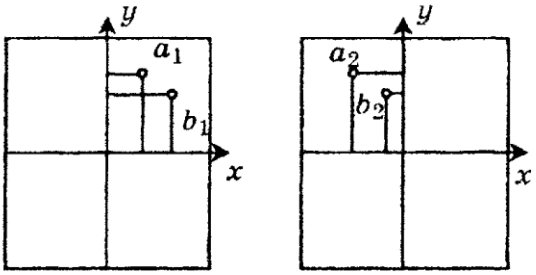
A $Д$

8.1.6. Поперечный и продольный параллаксы точек. Принципиальная схема стереокомпаратора. Порядок работы

x_1, y_1, x_2 y_2

8. p q

$p = x_1$ x_2, $q = y_1$ y_2.



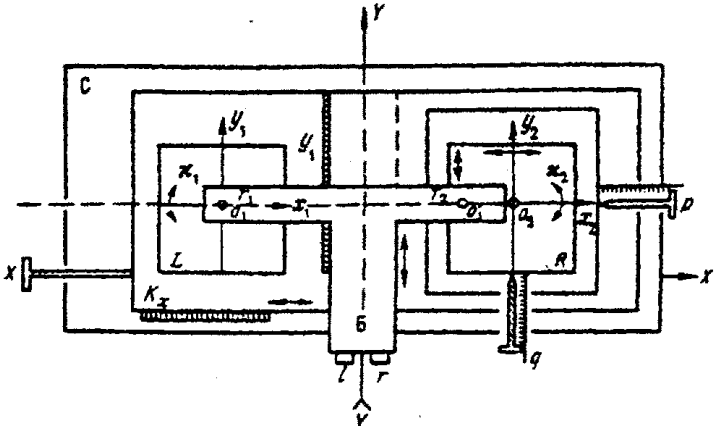
8.

p *продольным параллаксом*
q *поперечным параллаксом*
стереокомпаратор.

8.

X

L, R^{x}



8.

. R

q,
q

Y

y

L r

y

X *Y*

X *q*

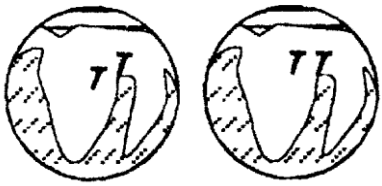
,

,

p

p

8.9).



а *б*

8.

2

1

X *У*,

$$p = P_i \quad P \quad , \; q = Q_i \quad Q \quad , \qquad (8.3)$$

P_i, P , Q_i, Q

, x

h

.

8.2. Теория пары снимков

8.2.1. Геометрическая модель местности (связка, базисная плоскость)

Стереофотограмметрия –

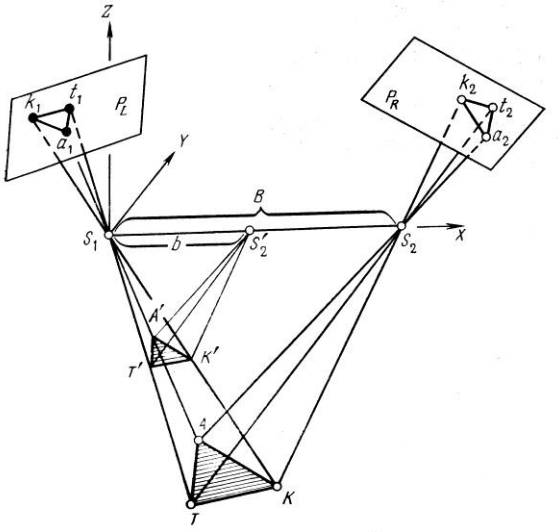
.

p_1 p_2,

S_1

S_2 p_1 p_2

Базис фотографирования B –
S_1 S_2.
Связка проектирующих лучей –
- S_1 S_2.
Соответственные лучи – ,
S_1 S_2 S_1a_1 S_2a_2).
Базисная плоскость фотографирования – ,
B
Главная базисная плоскость ,
S_1o_1 S_2o_2.
S_1a_1 S_2a_2)



0

p_1

p_2

B

,

,

геометрической (стереоскопической, фотограмметрической)

Геометрическая (стереоскопическая, фотограмметрическая)

Базис проектирования b
S_1 S_2
Масштаб модели *b*
B.

$$1 / t = b \quad / B. \qquad (8.4)$$

Элементы ориентирования пары снимков ,
,
,

Элементы внутреннего ориентирования
f

характеризуется элементами внешнего ориентирования X_{S1}, Y_{S1}, Z_{S1}, α_1, ω_1, χ_1 X_{S2}, Y_{S2}, Z_{S2}, α_2, ω_2, χ_2

,

двойную обратную фотограмметрическую засечку.

• *внутреннее ориентирование снимков*
;

• *взаимное ориентирование снимков*

• *построение модели местности*;
• *внешнее ориентирование модели*
);
• *измерение пространственных координат точек*
.

8.2.2. Элементы взаимного ориентирования снимков

Элементы взаимного ориентирования

две основные системы элементов взаимного ориентирования,

1)

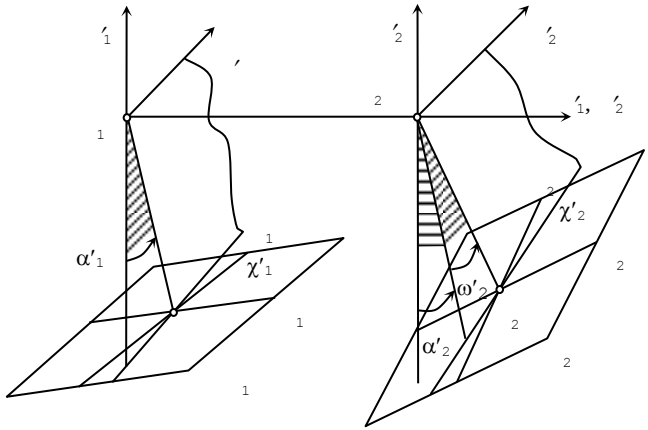
2)

В базисной системе 8.11)

S_1
$S_1X'_1$ S_1S_2
$S_1X'_1Z'_1$

α'_1 *продольный угол наклона левого снимка* (
$S_1X'_1Z'_1$ *So* $S_1Z'_1$);
χ'_1 *угол поворота левого снимка в своей плоскости*
P_1 o_1y_1
$S_1o_1Y'_1$);
α'_2 *продольный угол наклона правого снимка*
$S_1X'_1Z'_1$ $S_1Z'_1$ ($S_2Z'_2$)
S_2o_2 $S_1X'_1Z'_1$);
ω'_2 *– взаимный поперечный угол наклона* $S_2Y'_2o_2$
S_2o_2
$S_1X'_1Z'_1$);

χ'_2 *угол поворота правого снимка в своей плоскости* P_2 o_2y_2 $S_2o_2Y'_2$).



8.11.

В линейно-угловой системе
8.12

S_1 X'_1 Y'_1 x_1 y_1 Z'_1 $S_2X'_2Y'_2Z'_2$ $S_1X'_1Y'_1Z'_1$

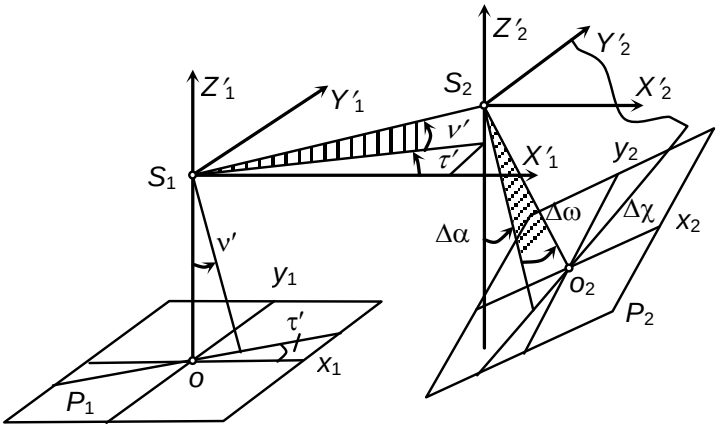
τ' *угол в плоскости* P_1 x_1

ν' *угол наклона базиса фотографирования* $S_1S_2o_1$ $S_1Z'_1$;

$\Delta\alpha$ *взаимный продольный угол наклона* $S_2X'_2Z'_2$ $S_2Z'_2$ $X'_2Z'_2$);

$\Delta\omega$ *взаимный поперечный угол наклона* $S_2Y'_2o_2$ S_2o_2 $X'_2Z'_2$);

$\Delta\chi$ *взаимный угол поворота* (P_2
y_2 $S_2o_2Y'_2$).



2. -

.

8.2.3. Внешнее (геодезическое) ориентирование модели

-
OXYZ

8.13

O X Y Z

O X Y Z *OXYZ*

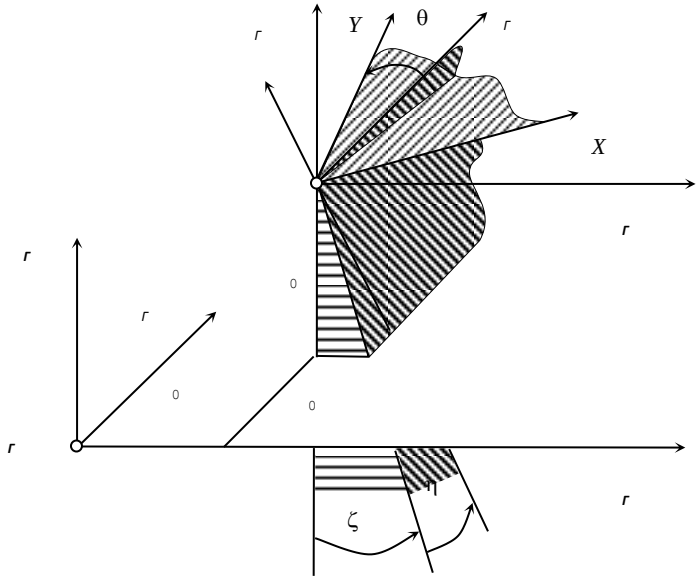
-

элементами внешнего ориентирования.

X_0, Y_0, Z_0

t

ξ OYZ
Z Z;
η OZX Z -
YZ;
θ OXY Y
OZX.



3.

-

$OXYZ$ $OXYZ$

$$\left.\begin{aligned} X &= X + (b_X X + b_Y Y + b_Z Z)\cdot t = X + \Delta X \\ Y &= Y + (a_X X + a_Y Y + a_Z Z)\cdot t = Y + \Delta Y \\ Z &= Z + (c_X X + c_Y Y + c_Z Z)\cdot t = Z + \Delta Z \end{aligned}\right\}, \qquad (8.5)$$

a_i, b_i, c_i (i = 1, 2, 3) α, ω, χ ξ, η θ.

1.

2.

3.

9. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ФОТОТРИАНГУЛЯЦИЯ

9.1.

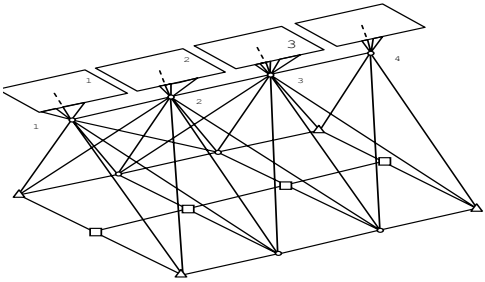
9.2.
9.3.

9.4.
9.5.
9.6.

9.1. Сущность пространственной фототриангуляции. Классификация методов. Понятие об аналоговой фототриангуляции

Пространственной фототриангуляцией

S_1, S_2, S_3 S_4 P_1, P_2, P_3 P_4.



.

,

1.

связки внутренне ориентированы.

2. S_1 $S_2$21, S_1 $S_2$01, S_2 $S_3$22

пары снимков взаимно ориентированы.

3. $S_1$02, $S_2$02 $S_3$02, $S_1$12, S_2 $S_3$12

P_1 P_2, P_2 P_3, P_3 P_4

модель маршрута.

4. $S_1$01, $S_1$21, $S_4$04 $S_4$24

, маршрутная сеть ориентирована по опорным точкам

-
-
-
-
-
-
-
-
-

Классификация методов фототриангуляции.

В зависимости от назначения

Заполняющая фототриангуляция

Каркасная фототриангуляция

В зависимости от количества маршрутов

маршрутную и блочную.

Маршрутная фототриангуляция

Блочная фототриангуляция

В зависимости от получаемых результатов сгущения

плановую

X Y пространственную,

В зависимости от применяемых технических средств

аналоговую аналитическую.

Аналоговая фототриангуляция

9.2. Аналитическая маршрутная фототриангуляция

Аналитическая фототриангуляция

✓ *способы полузависимых моделей*

-

✓ *способы независимых моделей* -

✓ *способы построения блока из отдельных маршрутов*

✓ *способы уравнивания связок проектирующих лучей,*

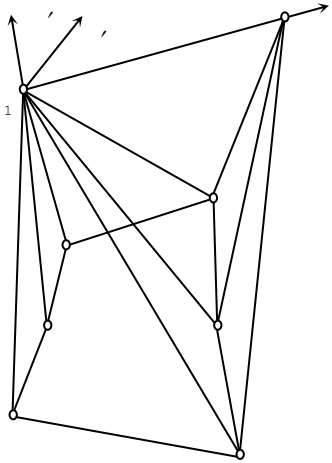
9.3. Способ независимых моделей. Внутреннее ориентирование снимков

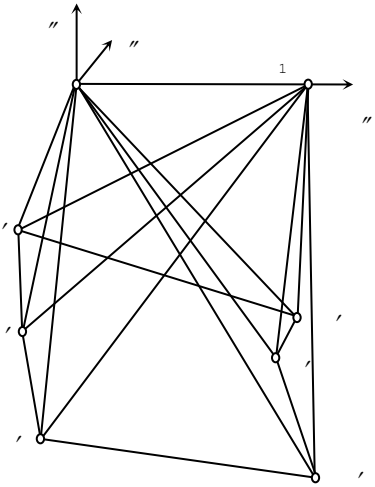
$S_{i-1}X'Y'Z'$ $S_iX''Y''Z''$

-
- SXY

$\alpha = \alpha'_1$, $\omega = 0$, $\chi = \chi'_1$ $\alpha = \alpha'_2$, $\omega = \omega'_2$, $\chi = \chi'_2$

-



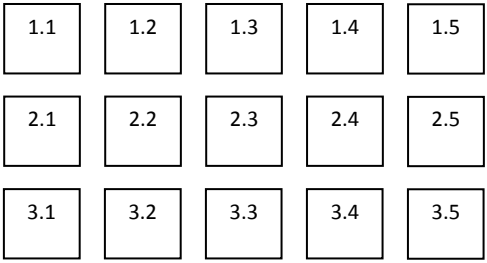


Первый способ

1.3, 2.2, 2.4, 3.3,

1 1′, 2

2′, 3 3′ S_i *C, 1, A, 3*



.

Второй способ -

7 *m* *n*

mn

Первая группа уравнений -

i

$$\begin{vmatrix} X^0 \\ Y^0 \\ Z^0 \end{vmatrix}^i + \begin{pmatrix} b_1 & b_2 & b_3 \\ a_1 & a_2 & a_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix}^i \cdot \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix}^i \cdot t^i - \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} = 0, \qquad (9.1)$$

i.

$$\left.\begin{aligned} \varphi_X^i\left(X_0, Y_0, Z_0, \xi, \eta, \theta, t, X, Y, Z\right) - X &= 0 \\ \varphi_Y^i\left(X_0, Y_0, Z_0, \xi, \eta, \theta, t, X, Y, Z\right) - Y &= 0 \\ \varphi_Z^i\left(X_0, Y_0, Z_0, \xi, \eta, \theta, t, X, Y, Z\right) - Z &= 0 \end{aligned}\right\}. \qquad (9.2)$$

-

Вторая группа уравнений

i *j*

$$\left[\begin{vmatrix} X^0 \\ Y^0 \\ Z^0 \end{vmatrix} + \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix} \cdot t \cdot \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix}\right]^i - \left[\begin{vmatrix} X^0 \\ Y^0 \\ Z^0 \end{vmatrix} + \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix} \cdot t \cdot \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix}\right]^j = 0 \qquad (9.3)$$

-

i *j*

$$\left.\begin{aligned} \varphi_X^i\left(X_0, Y_0, Z_0, \xi, \eta, \theta, t, X, Y, Z\right) - \varphi_X^j\left(X_0, Y_0, Z_0, \xi, \eta, \theta, t, X, Y, Z\right) &= 0 \\ \varphi_Y^i\left(X_0, Y_0, Z_0, \xi, \eta, \theta, t, X, Y, Z\right) - \varphi_Y^j\left(X_0, Y_0, Z_0, \xi, \eta, \theta, t, X, Y, Z\right) &= 0 \\ \varphi_Z^i\left(X_0, Y_0, Z_0, \xi, \eta, \theta, t, X, Y, Z\right) - \varphi_Z^j\left(X_0, Y_0, Z_0, \xi, \eta, \theta, t, X, Y, Z\right) &= 0 \end{aligned}\right\}. \qquad (9.4)$$

[*vvp*] = *min*

m n k
-
-

$mn - 6(n + 2m) + 3k$ mn

$m = 3$, $n = 10$, $k = 12$),

420

9.4. Уравнивание связок проектирующих лучей

X, Y, Z x, y

$X_S, Y_S, Z_S, \alpha, \omega,$

$\chi,$

$$\left.\begin{aligned} x &= -f\,\frac{a_1(X_M - X_S) + b_1(Y_M - Y_S) + c_1(Z_M - Z_S)}{a_3(X_M - X_S) + b_3(Y_M - Y_S) + c_3(Z_M - Z_S)} \\ y &= -f\,\frac{a_2(X_M - X_S) + b_2(Y_M - Y_S) + c_2(Z_M - Z_S)}{a_3(X_M - X_S) + b_3(Y_M - Y_S) + c_3(Z_M - Z_S)} \end{aligned}\right\}, \qquad (9.5)$$

a_i, b_i, c_i $(i = 1, 2, 3)$

f

$X_S^0, Y_S^0, Z_S^0, \alpha^0, \omega^0, \chi^0, X^0, Y^0, Z^0$ δX_S, δY_S, δZ_S, $\delta\alpha$, $\delta\omega$, $\delta\chi$, δX, δY, δZ

$$\left.\begin{aligned}\varphi_X\left(X_S^0, Y_S^0, Z_S^0, \alpha^0, \omega^0, \chi^0, X^0, Y^0, Z^0\right) - x = 0\\ \varphi_Y\left(X_S^0, Y_S^0, Z_S^0, \alpha^0, \omega^0, \chi^0, X^0, Y^0, Z^0\right) - y = 0\end{aligned}\right\}$$

$$\left.\begin{aligned}a_x\delta X_S + b_x\delta Y_S + c_x\delta Z_S + d_x\delta\alpha + e_x\delta\omega + f_x\delta\chi +\\ + g_x\delta X + h_x\delta Y + i_x\delta Z + l_x = v_x;\\ a_y\delta X_S + b_y\delta Y_S + c_y\delta Z_S + d_y\delta\alpha + e_y\delta\omega + f_y\delta\chi +\\ + g_y\delta X + h_y\delta Y + i_y\delta Z + l_y = v_y\end{aligned}\right\}, \qquad (9.6)$$

$l_x = (x) - x;$

$l_y = (y) - y;$

a, b i

(x), (y)

v_x, v_y

$$\delta X_S + l_X = v_X, \qquad \delta Y_S + l_Y = v_Y, \qquad \delta Z_S + l_Z = v_Z, \qquad (9.7)$$

l

m n k

$6mn + 3k$

k

$[vvp] = min$

a, b i

.

9.5. Точность триангуляционных сетей

-

-

.

случайных

n

δ_1,

(δ_2 δ_3

9.1. **Накопление суммарной ошибки при фототриангуляции**

	1	2	3		*n*
	δ_1	$\delta_1 + \delta_2$	$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3$		$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3$ δ_n
	δ_1	$2\delta_1 + \delta_2$	$3\delta_1 + 2\delta_2 + \delta_3$		$n\delta_1 + (n-1)\delta_2 + (n-2)\delta_3 +$ $+ \delta_n$

$\delta_1 = \delta_2 =$ $= \delta_n = \delta$

$$m_n^2 = \delta^2[1^2 + 2^2 + ... + n^2] = \delta^2(n^3 + 3n^2 + n)/6 \approx 0,333n^3\delta^2. \quad (9.8)$$

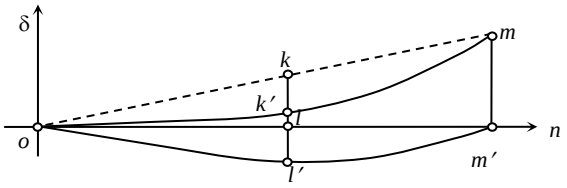
δ

mm′

lk′

m *m′*

ok′m *ol′m′*



n $n/$

δ

$$m_D = 0,30mm_q\sqrt{n^3}, \qquad m_Z = 0,23m\frac{f}{b}m_q\sqrt{n^3}\Big\}, \tag{9.9}$$

m_D, m_Z

m

m_q

f

b

n = 10, m_q = f = b = m_X = m_Z = = 0,08 m_d = m_Y =

систематических

-

Требования к густоте опорных точек.

6.

-

$m_D \leq$

m/M m_q

(9.9), n

$m = 20\ 000$, $M = 10\ 000$,

$m_q =$ $n = 8$.

m_Z

$m_Z \leq$ ×2,5/3×1,25).

$m = 20\ 000$, $M = 10\ 000$, $f = b =$ $m_q =$

–

9.6. Программы построения и уравнивания сетей фототриангуляции

аналитической фототриангуляции

1. -

-

-

2.

-

-

-

-

-

-

.

-

-
-
-
- -
- -
-
-
- -

-

1.
375
2. . :
3. .

10. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ СНИМКОВ

10.1.

10.2.

10.3.
10.4.

10.5.

10.6.
10.7.

10.8.
10.9.

10.1. Основные характеристики цифрового изображения. Фотометрические и геометрические преобразования

-

Геометрическое разрешение

dpi).

-

✓ :

$$P_{XY} = 0,5V_S M / m = 0,5V_S / K_t ; \qquad (10.1)$$

✓ :

$$P_Z = 0,5 f V_Z / (bm) ; \quad (10.2)$$

✓ -

$$P_R = 0,4 / R ; \quad (10.3)$$

✓

:

$$P_P = 70M / m = 70 / K_t , \quad (10.4)$$

M, *m*
V_S, V_Z

R
f, *b*

600/10 = 2600 dpi.

-

Радиометрическая характеристика

-
n

уровнями квантования.

n).

- -

RGB, CMYK

Палитра RGB

Red **G**reen **B**lue

Палитра CMYK

Cyan (**M**agenta **Y**ellow blac**K** CMYK

-

RGB CMYK

l P ,

$$O_P = (l/P)^2 R , \qquad (10.5)$$

R

Фотометрические и геометрические преобразования цифровых снимков.

Фотометрическая коррекция изображения

$$\rho_i = a\rho_i \quad + b\,, \tag{10.6}$$

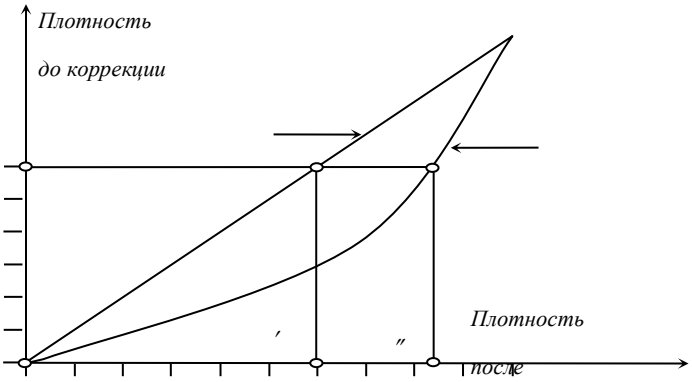
ρ_i , ρ_i

a

b

(10.

0



Изменение яркости
b

-
10
1 *2*
Изменение контрастности -

ρ_i

-

10.1
1 *2*
Гамма-коррекция

a (10.
-
1 *2*).
1
°
A *A′* *a*
(10. *2*
A
A″ $A \neq A''$.

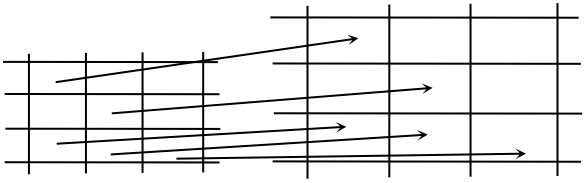
-

-

Геометрические преобразования

Простые преобразования

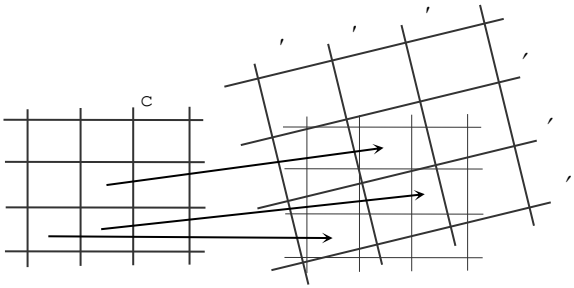
.2).



.

Сложные преобразования

.3



0.3.

0

1, 2, 3 *a*, *b*, *c*.

1′, 2′, 3′ *a*′, *b*′, *c*′.

1′*a*′
1*a* (45 %), 1*b* (35 %), 2*a* (15 2*b* (5
ρ′ 1′*a*′
ρ_{1a}, ρ_{1b}, ρ_{2a}, ρ_{2b} 1*a*, 1*b*, 2*a* 2*b*, :

$$\rho' = 0{,}45\rho_{1a} + 0{,}35\rho_{1b} + 0{,}15\rho_{2a} + 0{,}05\rho_{2b}.$$

-

Источники цифровых изображений.

фотодиодов,

приемников с зарядовой связью -

-

-

-

-

Сканирование фотоснимков -

Роликовые

Планшетные

Барабанные

Офисные сканеры -

100 -

Фотограмметрические сканеры -

-

-

-

-

23×

эталонирование сканера

x_P, y_P

$o_P x_P y_P$

поле искажений,

Цифровые съемочные системы (*сенсоры*)

ADS LH-System DMC2001
Z/I Imaging, HRSC
DLR

- -
0.1.

-

-
1.

4, *а*).

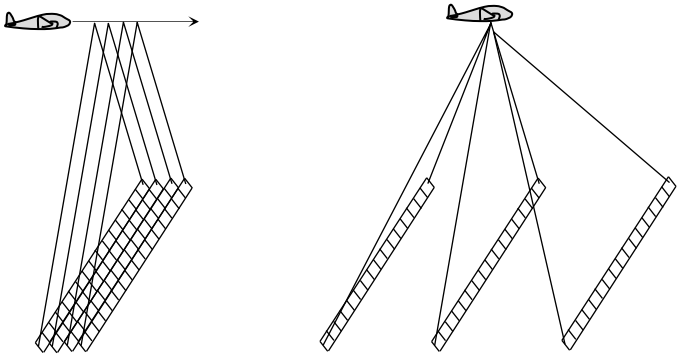
2.

-

4, *б*).

10.1. **Технические характеристики цифровых камер**

	ADS40	DMC	HRSC	-140	-70
	62,5	120	47÷175	140	70
	6,5	6	6÷7	7	7
	6	12	5	1	4
	8	8	8 ÷12	8	10/8
-					



а *б*

0.4. *а*)

б -

ASD40

-

HRSC (High Resolution Stereo Camera)

-

10.2. Цифровые фотограмметрические системы (ЦФС) и их основные характеристики

-

фотограмметрической системой

,

,

цифровой ортофотоплан и векторную модель контуров снятых объектов.

:

- *характеристика технических средств*

- *интеграционные свойства*

-

;

-

- *общие технологические характеристики*

- *функциональность*

системы, обеспечивающие все перечисленные технологические процессы, далее будут называться полнофункциональными;

- *эргономичность интерфейса*

- *точность*

- *надежность*

- *возможность*

10.3. Требования к ЦФС. Преобразование цифровых изображений

( )

общие, технические технологические.

Общие требования к ЦФС ,

-

Технические требования -

, :

-

Технологические требования

- -
-
-
- -
- -
-

Photomod RealisticMap.

Corporation, LH-systems LLC, ISM, ERDAS Inc., Vexel Imaging Corporation.

10.4. Цифровая фотограмметрическая система «Photomod» (структура, основные модули)

ЦФС Photomod

40

.

Photomod -

ЦФС Photomod -

- DEM
-
- -
-
Micro Station/95/SE/J
Stereo Link
;
-
-

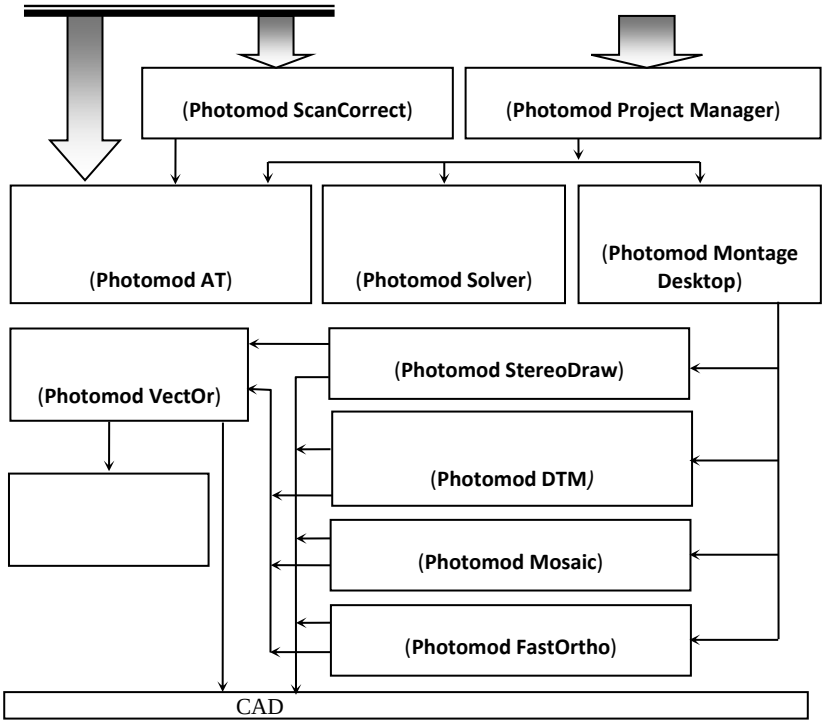
ICONOS, QuickBird;

- -

-

-

5.


(Photomod ScanCorrect)
(Photomod Project Manager)
(Photomod AT)
(Photomod Solver)
(Photomod Montage Desktop)
(Photomod VectOr)
(Photomod StereoDraw)
(Photomod DTM)
(Photomod Mosaic)
(Photomod FastOrtho)
CAD

0.5.

-

10.5. Фотограмметрическая обработка цифровых изображений (внутреннее ориентирование, взаимное ориентирование, внешнее ориентирование)

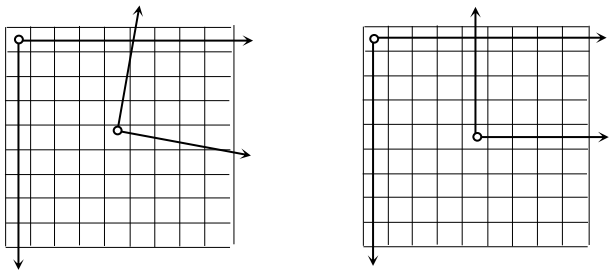
.

1. Внутреннее ориентирование снимков.

oxy

10.6

$o_P x_P y_P$



а *б*

0.6. *а* *б*)

$o_P x_P y_P$

,

),

-

идеальным

$o_P x_P y_P$ oxy

.6, *б*).

2. Выбор точек и построение фотограмметрических моделей.

- **опорных точек** -
  X, *Y*, *Z*
- X_S, Y_S, Z_S, α, ω,

χ

- **связующих точек в зоне поперечного перекрытия**
- **связующих точек в зоне тройного продольного перекрытия**

- -
- -

,

-
-

- ;
- -

;
-
.

взаимное ориентирование

-

.

построением одиночной модели и подориентированием ее к предыдущей или к последующей.

15 *f*/*b*

10.6. Построение и уравнивание фототриангуляционной сети

- -
  ,
-

0,5

- -

1,5 2

контрольным опорным точкам,

ORIMA

10.7. Цифровые модели рельефа (ЦМР). Способы представления цифровых моделей рельефа

.

Цифровая модель рельефа (ЦМР) *представляет собой математическое описание земной поверхности с помощью совокупности расположенных на ней точек, связей между ними, а также метода определения высот произвольных точек, принадлежащих области моделирования, по их плановым координатам.*

Первая группа -

Полиномиальные способы

$$A_i = Z_i = a_0 + a_1 X_i + a_2 Y_i + a_3 X_i Y_i + a_4 X_i^2 + a_5 Y_i^2 + \ldots . \qquad (10.7)$$

$a_0 \quad a_5$.

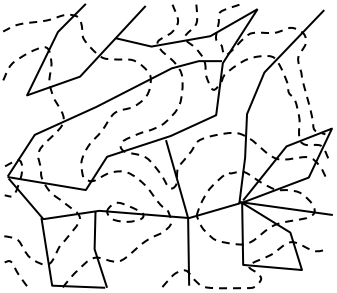
(10.

$pv^2] = min$

$a_0 \quad a_5$

(10.7).

Кусочно-полиномиальные способы 10.7)



0.7.

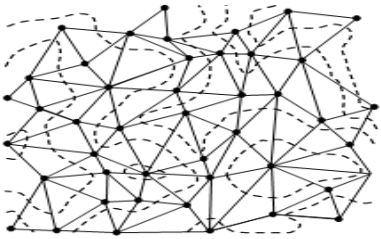
рядов Фурье
сплайнов

Вторая группа

1. Структурная модель

- , -

2. Нерегулярная ЦМР. *модель TIN* (Triangulated Irregular Network), .



0.8. TIN

-

TIN

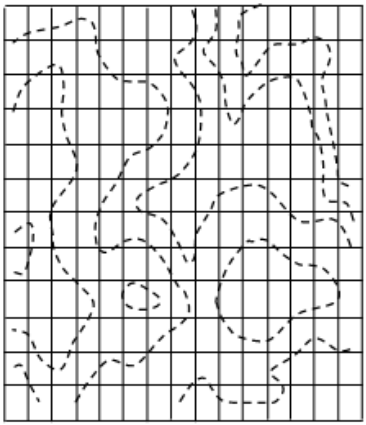
).

TIN

3. Модель на регулярной сетке.

DEM (Digital Elevation Model

.



0.9 DEM

TIN,

(

Создание цифровой модели рельефа в ЦФС (для ЦФС Photomod).

TIN DEM

DEM

-

DEM

1.

2.

.

3.

4.

.

5.

x , y

6.

x , y

X, Y, Z -

, ,
-

эпиполярных изображений
SXY

D- c

TIN

Photomod

- TIN (Triangulated Irregular Network);
- ;
- -
-
-
-

hotomod

-

DEM.

Создать модель **Модель**.

***Регулярная*;**
***Адаптивная*;**
***Гладкая*;**
Оптимизация.

TIN

Глад-
кая

Гладкая

Типы моделей.
Регулярная модель. **Регулярная**

TIN

Адаптивная модель. **Адаптивная**

Тип границы

- ***выпуклая***

TIN;

- ***прямоугольная***

Узлы

TIN

• **фиксированные**

-

• **подвижные**

Гладкая модель. **Гладкая**

-

.

Оптимизация модели. **Оптимизация**

10.8. Принцип цифрового трансформирования

Фотоплан

δ_α

δ_h

Ортофотоплан

δ_α δ_h

-

M

f

$\delta_h =$

r :

$$Q = 2h = \frac{2\delta_h fM}{1000r}. \qquad (10.8)$$

-

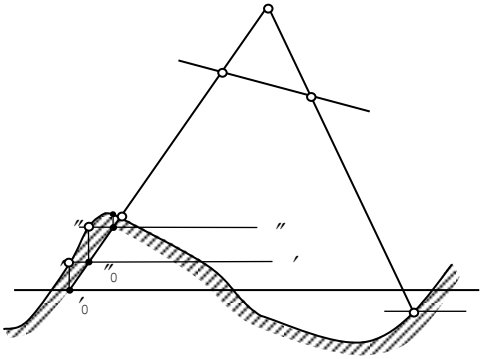
-

.

-

,

0.10 *A* *B* *AB* *P* *a, b* *A* *B*,



10.

x_a, y_a Z_A X_A, Y_A

$$\left.\begin{aligned} X_A &= X_S + (Z_A - Z_S)\frac{X_a}{Z_a} = X_S + (Z_A - Z_S)\frac{a_1x + a_2y - a_3f}{c_1x + c_2y - c_3f} \\ Y_A &= Y_S + (Z_A - Z_S)\frac{Y_a}{Z_a} = Y_S + (Z_A - Z_S)\frac{b_1x + b_2y - b_3f}{c_1x + c_2y - c_3f} \end{aligned}\right\}. \qquad (10.9)$$

E, $Z_A = Z_E$ (10.9)

A'_0 X'_A, Y'_A

SaA'_0 E (.10).

A'_0 Z'_A,

Z_E X'_A Y'_A

A' SaA.

S, a

A' (10.

a

Z'_A X''_A, Y''_A

A''_0 Z''_A

A'' SaA.

X_A Y_A

Z_A

K_u:

$$K_u = Mf / (Z_S - Z_A), \quad (10.10)$$

Z_S

M

X_A, Y_A

.11

χ.

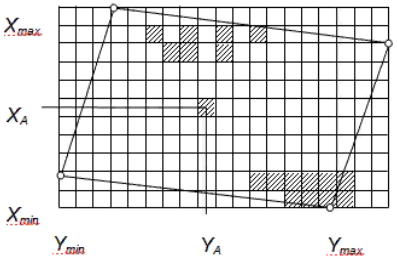
(2).

1)

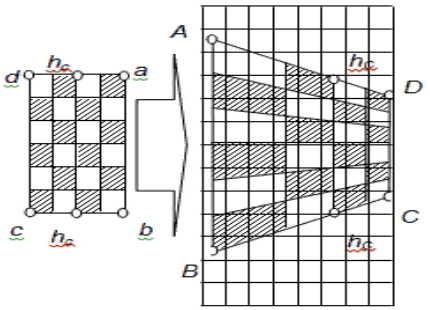
2)

;

3)



. 10.11.



. 10.12.

(10.

10.9. Построение ортофотоизображения в ЦФС «Photomod»

1.
2.
3. TIN
4. TIN
DEM.
5.
6.

ν

δ

$$l \le \frac{2f\delta}{r\,\mathrm{tg}\,\nu}. \qquad (10.11)$$

7.
$n \times n$
8. X, Y, Z -
DEM
9.

10.

Photomod Mosaic

- ;
-
;
- - ;
-

Surfer ASCII grid, ArcInfo ASCII grid, GeoTIFF DEM, USGS DEM, VectOr MTW, BCGIS DEM.

hotomod hotomod StereoDraw.

- ;
-
;
-

GeoTIFF, JPEG);
-

.

Особенности фотограмметрической обработки данных дистанционного зондирования.

-

-

-

-

-

-

.

-

2.
. 91
3.
2009.
4.
.
5.
.
6.
.

11. МАТЕРИАЛЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ИХ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

11.1.
11.2.

11.3.

11.4. .
11.5.
11.6. .
11.7.

11.8.

11.9.

11.10.

11.1. Технические средства дистанционного зондирования

- -
;
- -
(- CCD
Charge Coupted Device).
.

1.

2.
3.

4.
5.

6.

7.
8.

- :
ADS LH-System 3-DAS1 ;
HRSC DLR).

,

1.

2.

3.

.

4. -

ADS 100

20 000

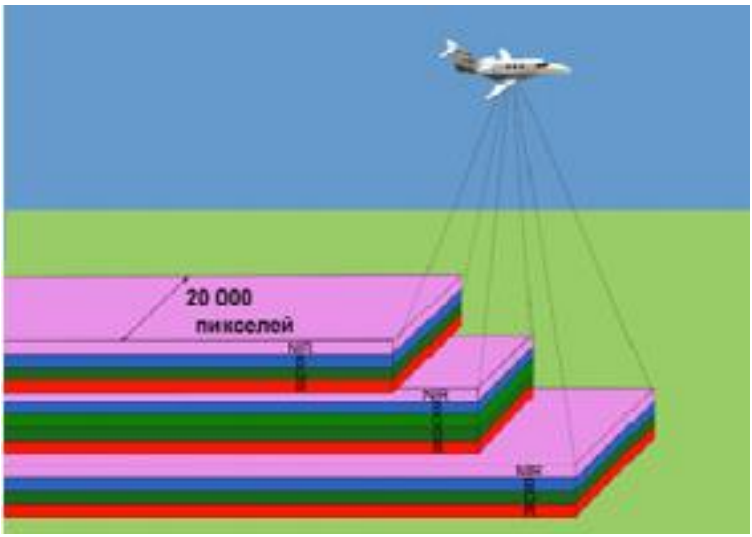
(20 000

time-delay

-

TDI-

.



CCD-

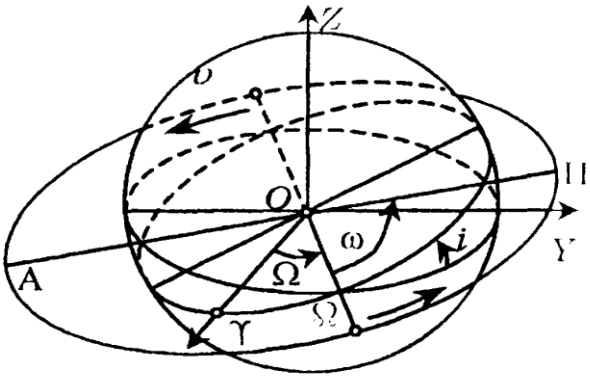
ADS 100

- ;
- 100 ;
- - (
R, G, B, N G, B, , G, G, B,
);
- ;
- ;
- ;
-
;
- TIFF.

Unit). ,
,

11.2. Влияние параметров орбит и атмосферы на качественные характеристики материалов дистанционного зондирования

Форма орбиты



11.2.

:

100–500 км

;

600–2000 км

;

36000–40000 км

,

Наклонение орбиты (*i*)

экваториальные
полярные **наклонные**

-)
-)

Положение орбиты по отношению к Солнцу

-

-

.

11.3. Свойства космических снимков и их классификация по отдельным показателям

-
-
-

Классификация космических снимков по трем показателям, важнейшим для дешифрирования.

По обзорности:

- Θ 10 ;
- Θ = 500 ;
- Θ = 50 ;
- Θ = 10 .

По масштабу:

- 1:1 000 000 1:10 000 000;
- 1:10 000 000 1:100 000 000;
- 1:100 000 1:1 000 000;
- 1:10 000 1:100 000.

По пространственному разрешению:

- $L_R = n$;
- $L_R = n$;
- $L_R = n$
  $L_R = 30$;
  $L_R = 10$ 3 ;
- $L_R = n$;
- $L_R \leq$.

Θ – ширина полосы охвата; L_R – разрешение на местности.

Основные характеристики космических снимков.
Спектральное разрешение

(0,4 ,

Радиометрическое разрешение

,

11.4. Цифровые съемочные системы

фотографические, телевизионные, радиолокационные, лазерные, сканирующие, оптико-электронные

Краткие сведения о нефотографических съемочных системах.

Телевизионные съемочные системы

-

Лазерные сканирующие системы

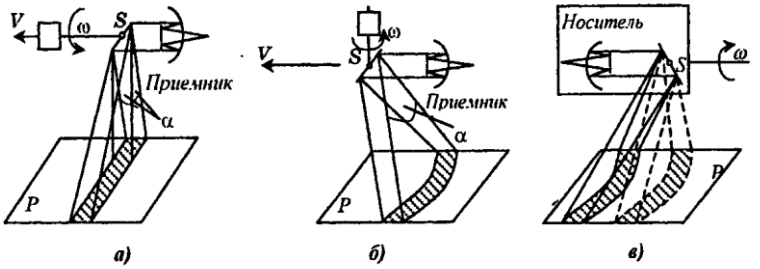
Сканирующие съемочные системы

-

-

- *а* *б*

в 3.



3. - *а* *б*) *в*

Оптико-электронные съемочные системы

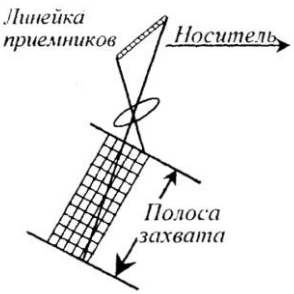
-

-

1, 2, *n*

S *f*

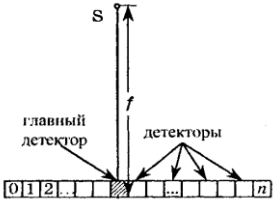
-



4

-

.



5. -

QuickBird

Радиолокационные съемочные системы (*РЛС*)

×Δ

11.5. Основные типы космических снимков

Характеристика основных типов космических снимков.
Фотографические снимки

:

- - ;
- ;
- ;
- ;
-

2 3-

Спектрозональные 2 3-

-

Многозональные снимки

Сканерные снимки -

,

ПЗС-снимки, -

-

(10

2

- -

Снимки в тепловом ИК диапазоне.

: 3 5; 8 14; 30

,

Снимки в радиодиапазоне.

радиометрические ,

радиолокационные

Радиометрические снимки

радиолокационных

-

Радиолокационные

11.6. Космические системы дистанционного зондирования

-
(1970-
Landsat , SPOT ,

,

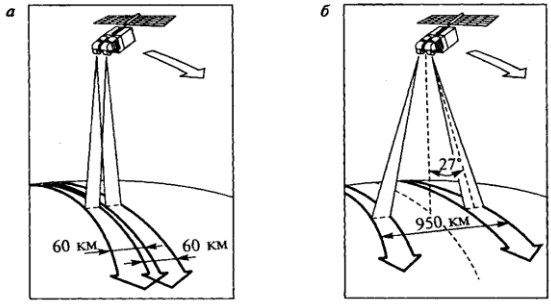
-
- -

Landsat
-

Landsat

SPOT

SPOT 11.6)



1.6 SPOT:
а ; *б*

Landsat-

(1997 ,

ICONAS

(1999 QuickBird OrbView

10 12

,

,

56 ;

.

QuickBird, ICONAS OrbView .

Sentinel-2

Sentinel-2A
Sentinel-2B
Landsat

Landsat 9

, , ,
, . Landsat 7

.

.

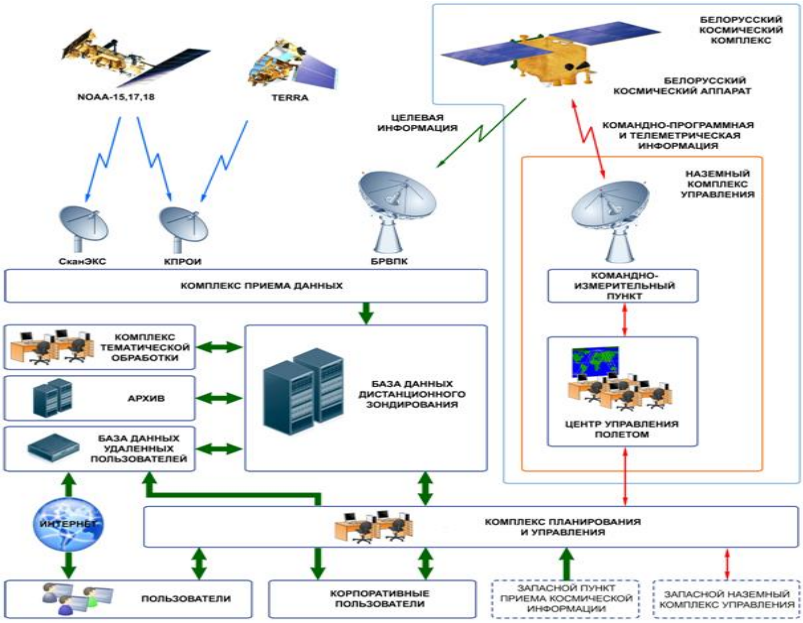
-

.

- -

.

.



. 11.7.

11.7. Предварительная обработка материалов дистанционного зондирования

-

-

Формирование сцены

,

-

λ λ;

λ λ

±1 2

±4 5

q q

$$B_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^{q}\sum_{i=1}^{q} f_{ij} B'_{ij}}{F}, \qquad (11.1)$$

B_{ij}
f_{ij}
B'_{ij}
q
$F = \sum f_{ij}$

-

SPOT
EROS IRS ICONAS

-

450
250).
-

,4

11.1. **Продукция, получаемая с помощью космических систем**

QuickDird		ICONAS		IRS	
Basic*		Geo: Geo Ortho Geo Kit*			
Standard*		Reference Stereo	)		
Ortho		Precision Stereo			
Standard Ortho Ready*	Standart	Ortho	(0,9 11		

.

Pan-Sharpened

Основные этапы обработки и анализа данных дистанционного зондирования Земли.

Отображение

Улучшение

Географическая привязка

Геометрическое трансформирование

-

Классификация

ГИС-анализ

Подготовка отчета

11.8. Методы классификации изображений. Алгоритмы классификации изображений

Автоматизированное дешифрирование (классификация) –

Классификация

Классификация с обучением

Классификацию с обучением можно применять, если:

-

-

-

Алгоритмы классификации изображений.
Непараметрический алгоритм
Параметрические алгоритмы (

).

1. ***параллелепипедов***

n-

n

2. ***минимального расстояния***

3. ***расстояний Махаланобиса***

4. ***максимального правдоподобия***
-

5. ***спектрального угла*** –
,

6. ***расхождения спектральной информации*** –

,
7. ***двоичного кодирования***

Классификации без обучения

,

,

,

K-

,

-mean.

ISODATA (**Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique**)

-

K-mean **(*К-средних*)**

-

-

-

11.9. Использование программного комплекса ENVI для обработки данных дистанционного зондирования

Программный комплекс ENVI

D D-

ENVI

tie points

;

layer stacking;

change detection -

.

RPC

(QuickBird, Ikonos SPOT, ASTER);

( );

GCP);

RPC

.

11.10. Использование материалов дистанционного зондирования для целей кадастра и решения землеустроительных задач

-

-

-

-

-

-

:

-

,

-

-

- -

;

-

Сельское хозяйство.

-

;

;

;

.

Мониторинг лесного покрова.

;

;

.

.

-

Мониторинг поверхности.

сезонные изменения (

годовые изменения

(

).

Геодезия.

,

,

.

1990-

1.

.

-

, 2009. 263

.....3
1.
.....4
1.1.
.....4
1.2.
.....5
1.3.
.....7
2. - 11
-
.....11
- 12
-
.....13
- 14
.....16
-
.....19
.....22
.....26
.....32
.....34
3. 45
.....45
3
.....48
- 55
4.
.....59
4.1.
.....59
4.2.
.....64
.....65
.....70
.....72
.....73
.....76
.....84
.....87
.....89

.....93

- 95
.....97
.....100
5.
.....103
.....103

.....103
.....105
.....107

.....111
.....119
.....119
.....121
.....124
.....127
6. - 129
6. - 129
6. 131
6. 133
6. - 135
7. - 140
- 140
.....142

.....143
.....155
7.1

.....160
-

- 162

.....167

.....170

.....170
.....171

.....174

.....177
8. 180
.....180
8 180

.....183
.....185
8.1.4.
.....188
.....192
.....194
.....197
8 197
.....200
8. ( ) 202
9. 205
.....205
9.2. 208
.....208
.....212
.....214
.....217
10. 220
.....220
10.2.
.....230
.....232
.....234
.....236
.....239
.....240
.....248
.....253
11.
.....257
.....257
.....260
.....262
.....263
.....267
.....270
.....274
.....280
.....284
.....284