
Ръководство
по Основи на фотограметрията



© Доц. д-р инж. Веселина Господинова, автор

Ръководство по Основи на фотограметрията

Рецензенти: проф. д-р Мария Асенова

доц. д-р Радка Колева

ISBN 978-954-353-505-7

Издателство при МГУ „Св. Иван Рилски“

София, 2026

Снимка личен архив: Драгоманско блато, кариера Козяка

Съдържание

ПРЕДГОВОР	4
ПЪРВА ГЛАВА	5
Естествено и изкуствено стереоскопично виждане. Помощни средства при изкуственото стереоскопично виждане.	5
ВТОРА ГЛАВА	13
Линейни деформации на вертикална въздушна снимка.	13
ТРЕТА ГЛАВА	18
Мащаб на въздушна снимка. Определяне на мащаба на характерни точки от аероснимката – главната точка, точката на надира и точката на нулевите деформации. 18	
ЧЕТВЪРТА ГЛАВА	24
Съставяне на план на летене. Изчисляване на базовите елементи на плана на летене. Оформяне на плана на летене върху топографска карта.	24
ПЕТА ГЛАВА	36
Стереокompatator – запознаване, проверка и подготовка за работа. Измерване на образни координати и паралакси със стереокompatator. Изчисляване на фотограметричните координати на точките и генериране на план.	36
ШЕСТА ГЛАВА	50
Извършване на земна фотограметрична снимка. Генериране на числен модел с текстура	50
СЕДМА ГЛАВА	71
Представяне на системи за стереокartiране и работа с тях. Запознаване с функционалните възможности за картиране в цифрова среда	71

ПРЕДГОВОР

Ръководството е предназначено за обучение на студенти по дисциплината „Основи на фотограметрията“ от специалност „Маркшайдерство и геодезия“ и ще се използва при провеждането на съпътстващата учебна практика по фотограметрия.

Ръководството следва съдържанието на учебните програми и учебните планове на специалността. Структурирано е в седем раздела, съответстващи на практическите занятия на студентите. Всеки раздел включва необходимата теоретична основа за усвояване на материала. Представени са използваните апарати, пособия и програмни средства, необходими за реализиране на обучението. Разгледани са отделните етапи на обработка на данните, като всеки раздел съдържа практически примери и демонстрация на получените крайни резултати.

Студентите придобиват практически умения за работа с опростени инструменти, аналитични апарати и цифрови системи. Те изучават начините за заснемане, запознават се с техниките за стереоскопично наблюдение, изчисляват линейни деформации, изработват план на работните стъпала на кариера, съставят план на летене, запознават се с основните фотограметрични процеси и генерират числени текстурирани модели чрез съвременни програмни средства, картират и създават топографска карта.

Ръководството може да бъде полезно и за специалисти от други области, които се занимават с обработка на цифрови изображения, създаване на числени модели и картиране, като например археолози, машинни и други инженери и любители, проявяващи интерес към моделирането и дигиталното картографиране.

От автора

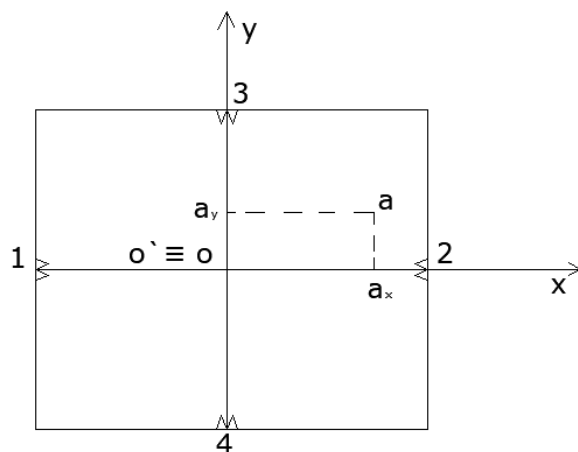
ПЪРВА ГЛАВА

Естествено и изкуствено стереоскопично виждане. Помощни средства при изкуственото стереоскопично виждане.

➤ *Упражнението цели да запознае студентите с основни принципи и теоретични постановки на стереоскопичното наблюдение. Практическата част включва обучение, свързано със стереоскопично наблюдение с невъоръжени очи, както и използване на помощни средства. Студентите се запознават с основните методи за стереонаблюдение.*

При естествено наблюдение заобикалящата ни среда се възприема пространствено. Това се постига при наблюдение с двете очи. При наблюдение с едно око се извършва монокулярно наблюдение. Но при монокулярно наблюдение пространственият ефект, предаващ се от окото и други сетивни органи се обяснява с натрупания опит и представа на наблюдаващия за заобикалящата го среда. При стереоскопичното наблюдение съществуват два равнинни образа на наблюдаван предмет, получени от лявото и от дясното око. (Доказателство за това е следният опит: на нивото на очната база на наблюдателя се поставя молив, зад който се избира някакъв отдалечен предмет. Наблюдателят се фокусира в молива. В този случай отдалеченият предмет се вижда двоен. И обратно, ако наблюдателят се фокусира в отдалечения предмет, моливът се вижда двоен.) Особеност на естественото наблюдение е, че двете очи виждат едновременно предмета, но разделено и в различни позиции. Изкуственото стереоскопично виждане във фотограметрията се изгражда на основните принципи на естественото виждане, при което пространствените обекти се заменят с техните фотограметрични образи, получени върху две съседни, застъпващи се снимки, получени от различни точки в пространството. Стереоскопичното виждане се основава на свойството на нервната система да слива в едно обемно изображение две равнинни изображения, всяко от тях възприемани от лявото и от дясното око.

Във фотограметрията фотоснимките могат да се използват само ако всички измервания се отнасят към една постоянна образна координатна система. Поради това в средата на всяка от четирите страни, които ограничават фокалната равнина (във фотограметрията се приема, че фокалната равнина съвпада с образната) на фотокамерата, са монтирани неподвижни материални марки. Те са наречени рамкови марки и се изобразяват върху всеки негатив и фотоснимка. Съединителните линии между срещуположните рамкови марки образуват образна равнинна правоъгълна координатна система с център главната точка на снимката (т. О). Те представляват осите на образната равнинна правоъгълна координатна система. В зависимост от това дали снимката е направена от въздуха – въздушна снимка или от земята – земна снимка, осите на координатната система са (x, y) и (x, z) . Например на фиг. 1.1 е представен пример за въздушна образна равнинна координатна система с оси x и y . Координатите на точките от фотоснимката се определят в образната правоъгълна равнинна координатна система (например координатите на точка a са x_a и y_a).



Фиг. 1.1. Образна равнинна правоъгълна координатна система

Хоризонтален паралакс – разлика между образните абсциси на дадена теренна точка, заснета в две последователни снимки от различни станции. С p_x се бележи хоризонталният паралакс.

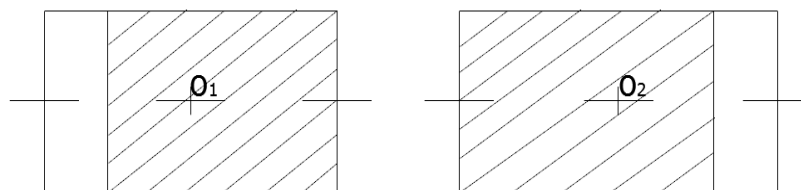
$$p_{x_i} = x'_i - x''_i \quad (1.1)$$

Ако $p_x = 0$, това означава, че снимките са напълно еднакви, направени от една и съща станция, или точките са безкрайно отдалечени и не може да се получи пространствено (обемно) виждане.

Вертикален паралакс – разликата между образните ординати (апликати) на дадена теренна точка, заснета в две последователни снимки от различни станции. С p_y , p_z или q се бележи вертикалният паралакс.

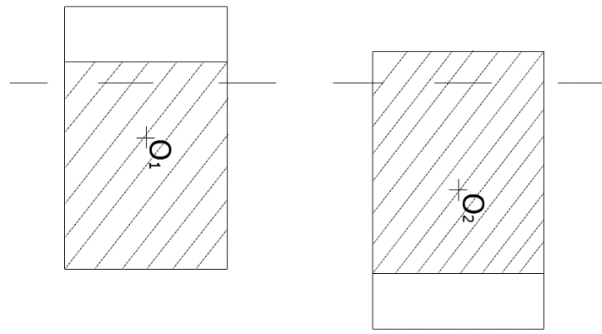
$$p_{y_i} = y'_i - y''_i \quad p_{z_i} = z'_i - z''_i \quad (1.2)$$

Възприемането на стереоефекта зависи от положението на разглежданите снимки. Ако се разгледат снимки, поставени в такова положение, в каквото те са били заснети, се получава прав стереоефект и формите ще съответстват на действителния вид – фиг. 1.2.



Фиг. 1.2. Ориентиране на стереодвойка снимки в положение на прав стереоефект

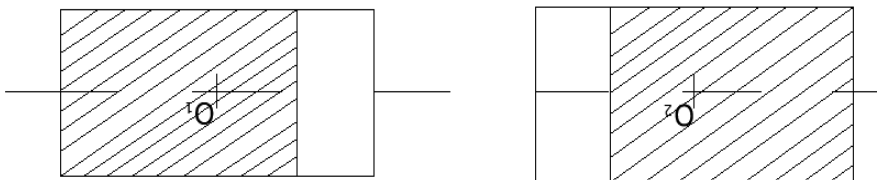
Ако се обърне всяка от снимките на 90° на една и съща страна, стереоскопичният ефект ще бъде равен на 0 и релефът на обекта няма да се вижда пространствено – фиг. 1.3. Това се обяснява с факта, че хоризонталният паралакс става вертикален, който пречи и не предизвиква стереоефект.



Фиг. 1.3. Нулев стереоефект

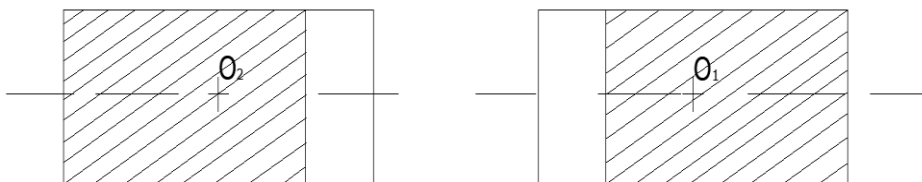
Ако всяка снимка се завърти на 180° (фиг. 1.4а) или се промени мястото на снимките (фиг. 1.4б), ще се получи обратен стереоефект, т.е. изпъкналите, високите части в модела ще се виждат като вдлъбнати. Обяснението е, че хоризонталният паралакс променя своя знак, поради това се променя и знакът на възприятието.

Завъртане на 180°



Фиг. 1.4а. Обратен (псевдо-) стереоефект

Смяна на местата на снимките



Фиг. 1.4б. Обратен стереоефект [11]

Необходими условия за стереоскопично наблюдение

1. Снимките на един и същ обект трябва да бъдат получени в две различни точки в пространството;
2. Всяко око да наблюдава отделна снимка;
3. Разликата в мащаба на двете снимки да не надвишава 16%;
4. Снимките трябва да бъдат разположени така, че при наблюдение зрителните оси да се пресичат, а не да се кръстосват;
5. Ъгълът на пресичане на двете оси да не е по-голям от 15° ;
6. Началните направления на снимките да лежат на ос X, а тя да е успоредна на очната база;
7. Стереоефектът да съответства на заснетата област [5].

Стереоскопично наблюдение с невъоръжени очи

Пред очите се поставят две последователни фотоснимки, направени от различни центрове на проектиране, така че две едноименни точки от едната и от другата снимка да са на разстояние близко до очната база, а правата, която съединява тези точки, да е успоредна на нея. Когато наблюдава снимките, наблюдателят се стреми да направи зрителните си оси почти успоредни, все едно наблюдава отдалечен обект. Същевременно очите акомодират за близко разстояние, тъй като фотоснимките са на разстояние 25 cm от тях. В резултат на което двете изображения се сливат в едно релефно, но за това е нужна известна тренировка. Наблюдението с невъоръжени очи е твърде изморително, стереоефектът, който се получава, е само за част от изображението и не могат да се направят никакви измервания, поради това се появява необходимостта от използване на помощни средства за стереонаблюдение.

Помощни средства при стереоскопично виждане

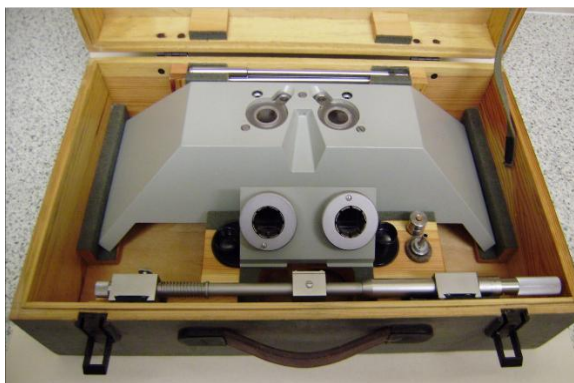
Обикновен джобен стереоскоп

Обикновеният джобен стереоскоп се ползва за предварителни проучвания при полска работа и за любителски цели. В миналото се е използвал от военните и други специалисти на терена за проучвателни цели. Представлява рамка с вградени две лещи на разстояние 65 mm и фокус 9 cm. Увеличението на лещите е около 3 x. Стереоскопът се поставя върху снимките на разстояние около 10 cm, като очната база трябва да е успоредна на снимачната.



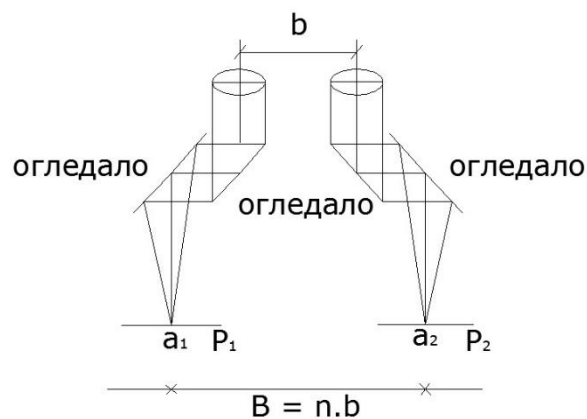
Фиг. 1.5. Джобни стереоскопи

Огледален стереоскоп



Фиг. 1.6. Огледален стереоскоп и стереомикрометър

Огледалният стереоскоп се състои от обща носеща рамка, поставена върху четири крака, върху която са разположени два окуляра. Тези окуляри са подвижни и позволяват да се променя очната база и да бъдат фокусирани индивидуално за всеки наблюдател. Окулярите имат увеличение 3,5 пъти и зрително поле 60 cm. По този начин наблюдаваната база може да се увеличи до 260 mm, така че може да се работи с формат на снимките до 30 cm. Към окулярите може да се поставят и допълнителни лещи с различна пречупваща сила за изравнение на мащабите, когато се работи с разномащабни снимки. Стереоскопът е съставен от две лещи на разстояние 65 mm и двойка подвижни окуляри, под които са поставени пречупвателни призми, а срещу тях в двата края на рамката, върху стойките на стереоскопа – две огледала, успоредни на отразителните равнини на призмите, чиято цел е да увеличат очната база [14].



Фиг. 1.7. Принципна схема на огледален стереоскоп

Огледалният стереоскоп се използва за различни проучвания и дешифриране. Със стереоскопа е възможно само приблизително да бъдат наблюдавани видът на релефа и ситуацията, но не и да се правят никакви измервания. За тази цел стереоскопът се комбинира със стереомикрометър.

Методите, по които посредством измерване на паралаксни разлики на едноименни точки от стереомодела се определя височинното положение на самите точки, се наричат диференциални методи. На такъв принцип се базира получаването на модел на терена с помощта на стереопантометър или на огледален стереоскоп със стереомикрометър. Този инструмент е предназначен за бързо картиране с малка точност, предимно за релефа в дребномащабни карти.

Анаглифен начин за стереоскопично наблюдение

При този начин фотоснимките от стереомодела се напечатват на хартия или се проектират на бял екран една върху друга, но всяка с различен (най-често червен или син) допълнителен цвят до белия и черния. Наблюдава се с анаглифни очила – филтри с целофан, оцветени различно със същите допълнителни цветове. Червеният цвят пропуска само червените лъчи, а синият – само сините. Така всяко око наблюдава само едно изображение, а това е сред условията да има стереоефект. Наблюдателят вижда едно пространствено изображение на заснетия обект с осветени части, полутонове и сенки, близки до бяло и черно.



Фиг. 1.8. Анаглифно изображение и очила

Стереоскопично наблюдение чрез поляризационни филтри

При този метод се използва поляризацията на светлината, за да се спазят условията за стереоскопично наблюдение така, че всяко око да наблюдава отделно изображение. Поляризацията на светлината се получава, когато светлинен лъч се пречупи във втора среда или премине през кристали или система от кристали и запази свойствата си само в една равнина, наречена равнина на поляризация (приема се, че трептенията стават в посока перпендикулярна на поляризационната равнина). При тези системи се извършва комутация на лявото и на дясното изображение. В повечето случаи се ползват очила с две стъкла, едно след друго, първото играе ролята на поляризатор, а второто е филтър на основата на течни кристали. При второто стъкло равнината на поляризация се завърта в зависимост от подаденото напрежение. По този начин се спира или пропуска светлина през съответното стъкло. В съвременните системи за стереоскопично наблюдение чрез поляризационни филтри към видеоплакмата на компютъра е включено устройство, наречено комутатор, което управлява съответните стъкла на очилата в зависимост от визуализираната снимка.

Предимствата на методиката се състои в това, че може да се наблюдават не само черно-бели, но и цветни изображения и наблюдението може да се извърши едновременно от няколко оператора. Недостатъкът е по – скъпото оборудване, тъй като за получаване на качествено изображение без трептене са необходими монитори с кадрова честота по – висока от 100 Hz [6].

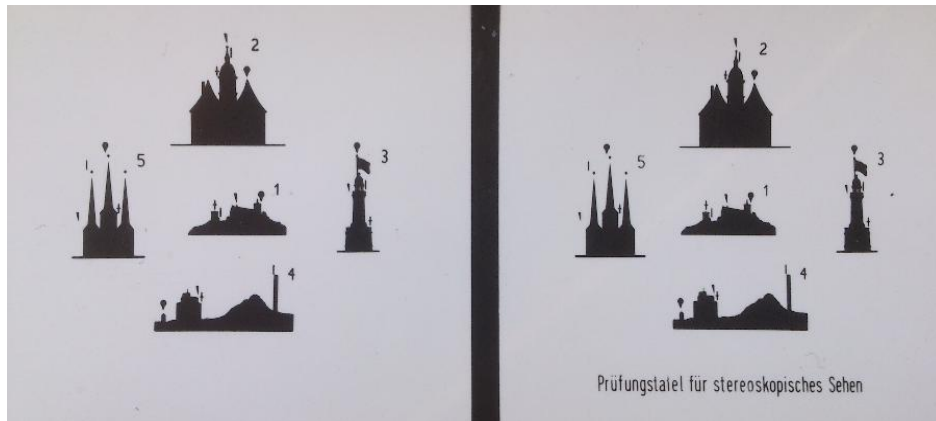
Практическа част

1.1. *Студентите придобиват опит за стереоскопично наблюдение. За целта наблюдават два вида изпитателни таблици с помощта на обикновен стереоскоп, чрез който определят взаимното положение на обектите по отдалеченост. Обектът, който се вижда най-близо, се записва първи, докато се стигне до най-отдалечения обект. След което се класифицират и подобектите, започвайки отново от най-близкия. Наблюдават се различни земни и въздушни стереодвойки снимки.*

1.2. *Работят с огледален стереоскоп и стереодвойка въздушни снимки, обучавайки се да ориентират снимките така, че да получат пространствено стереоскопично виждане.*

1.3. *Запознават се и с други начини за стереонаблюдение, като анаглифния метод, наблюдавайки различни изображения с анаглифни очила.*

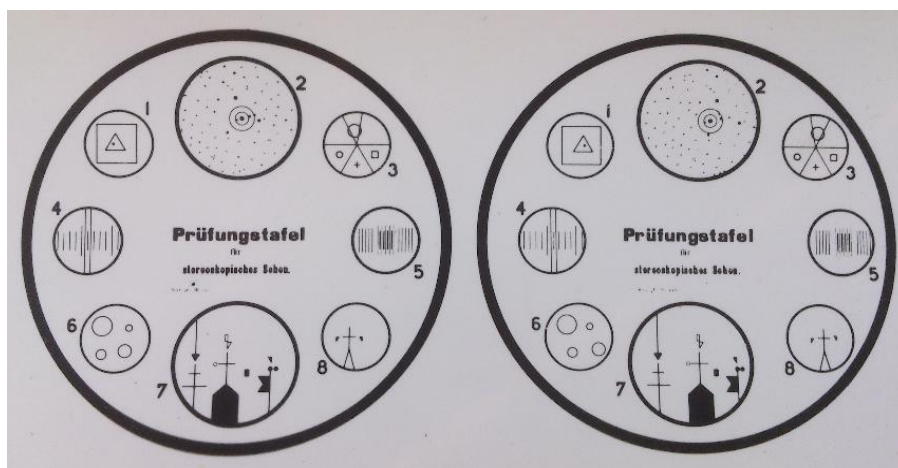
1.1. Обикновен стереоскоп



Фиг. 1.9. Изпитателна таблица № 1

Таблица 1.1. Резултати, получени след работа с обикновен (джобен) стереоскоп, и изпитателна таблица № 1.

Номер на обект	Подобекти
1	† ▽ ●
5	▽ ● †
3	● ▽ †
2	† ▽ ●
4	● † ▽



Фиг. 1.10. Изпитателна таблица № 2

Таблица 1.2. Резултати, получени след работа с обикновен (джобен) стереоскоп, и изпитателна таблица № 2.

Номер на обект	Подобекти
7	
6	
5	
1	
4	
2	
3	
8	

Подобектите в обект № 8 не могат да се класифицират, тъй като в най-десния подобект се наблюдава вертикален паралакс, който води до размазването му.

1.2. Огледален стереоскоп

С цел да се получи прав стереоефект снимките се поставят една до друга със застъпващите се части навътре, така че да лежат на една ос x , успоредна на очната база на оператора (фиг.1.2). Огледалният стереоскоп се сглобява и се поставя върху снимките, така че и неговата база да е успоредна на ос x . След което операторът наблюдава с левия окуляр в лявата снимка и с десния в дясната снимка. Едната снимка, например лявата, стои неподвижна, а дясната снимка се премества по оста x , докато се получи стереоскопично наблюдение. По този начин фотоснимките се поставят на разстояние, съответстващо на базата на стереоскопа (фиг.1.7). При това положение идентичните точки се виждат слети и се получава стереоефект [11].

1.3. Студентите се запознават и с други начини за стереонаблюдение, като анаглифния метод. За целта те наблюдават различни изображения, атласи и книги с анаглифни очила.

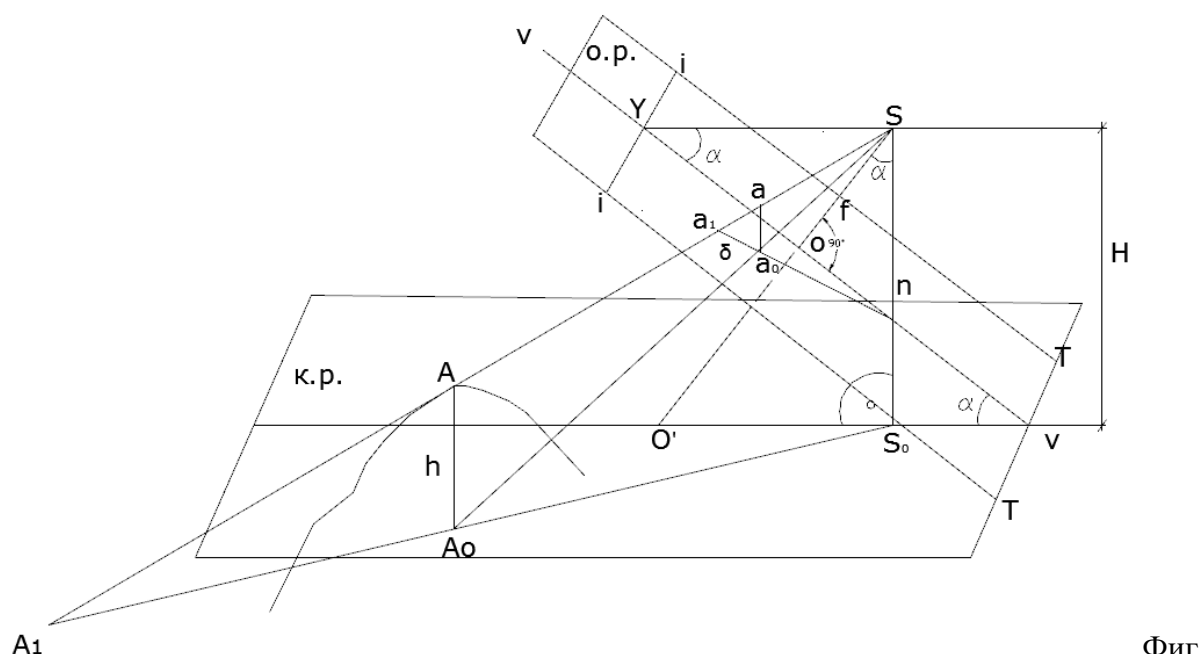
ВТОРА ГЛАВА

Линейни деформации на вертикална въздушна снимка.

➤ В упражнението студентите изучават влиянието на различните деформации върху геометричното положение на образни точки от вертикална въздушна снимка и причините за тяхното възникване.

По време на въздушно заснемане може да се получат различни деформации на снимките, които се дължат на следните фактори: колебанието във височината на летене, наклонът на снимачната ос, релефът на местността (превишенията между елементите на релефа), движението на снимачната камера при експонирането и неприлепналостта на филма към образната, фокална равнина.

2.1. Линейни деформации на точки от въздушната фотоснимка вследствие на наклона на снимачната ос и релефа на местността (превишенията между елементите на релефа).



Фиг. 2.1. Схематично представяне на линейна деформация на точки вследствие на наклона на снимачната ос и релефа на местността

δ – линейно отклонение на точка в образната равнина вследствие на релефа и наклона на главната снимачна ос

$$\delta = a_1 a_0 = ?$$

1. $\Delta a_1 a_0 \sim \Delta a_1 S n$ ($a_0 a \parallel n S$) откъдето следва

$$\frac{a_1 a_0}{a a_0} = \frac{a_1 n}{S n} \Rightarrow \delta = \frac{a a_0 \cdot a_1 n}{S n} \quad (2.1)$$

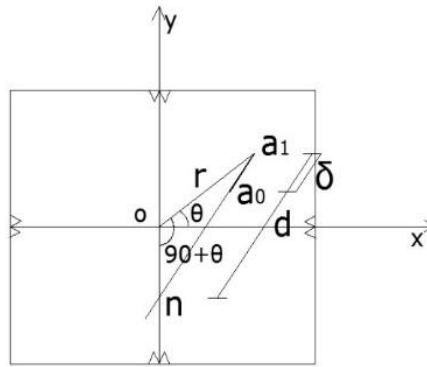
2. $\Delta A A_0 S \sim \Delta a a_0 S$

$$\frac{a a_0}{h} = \frac{S a_0}{S A_0} = \frac{1}{m} \quad (2.2)$$

$$d = a_1 n$$

$$\cos \alpha = \frac{f}{S n} \Rightarrow S n = \frac{f}{\cos \alpha} \quad (2.3)$$

$$a a_0 = \frac{h}{m} \quad (2.4)$$



Фиг. 2.2. Схематично представяне на линейна деформация на точки вследствие на наклона на снимачната ос и релефа на местността

Разглежда се $\Delta O a_1 n$ и се прилага косинусова теорема за страната $a_1 n$,

като се знае, че $\cos(90 + \theta) = -\sin\theta$

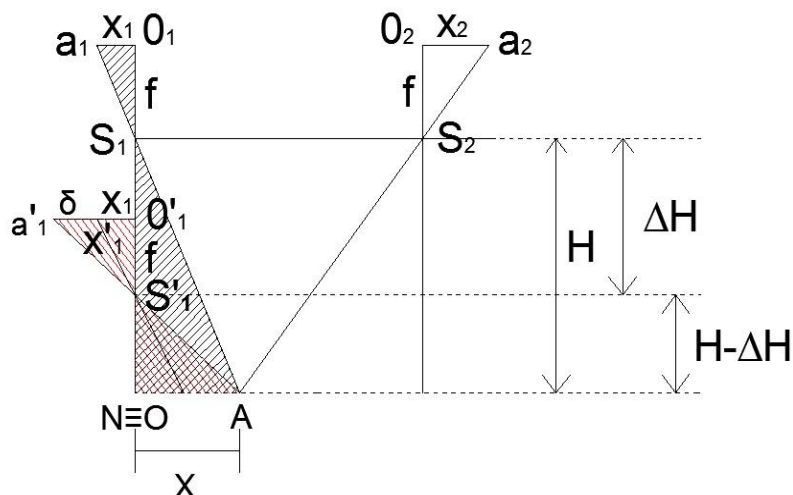
$$d = a_1 n = \mp \sqrt{r^2 + (On)^2 + 2 \cdot r \cdot On \cdot \sin\theta} \quad (2.5)$$

Следователно линейната деформация на точки вследствие на ъгъла на наклона и релефа на местността при въздушна фотоснимка придобива вида:

$$\delta = \frac{\cos \alpha}{f} \cdot \frac{h}{m} \cdot d = \frac{h}{H} \cdot d \cdot \cos \alpha \quad (2.6)$$

2.2. Линейни деформации на точки от въздушната фотоснимка вследствие промяна на височината на летене.

Височината на летене невинаги може да се запази еднаква с проектната височина, изчислена в плана на летене. Колебанията във височината на летене се дължат на нееднаквата плътност на въздушната среда по пътя, на конструкцията и скоростта на самолета и на други причини. В резултат на тези колебания по направление на вертикалната ос на самолета може да настъпи изменение в мащаба на отделните снимки. Линейните деформации от колебанието във височината на летене са толкова по-големи, колкото е по-малка височината на летенето.



Фиг. 2.3. Схематично представяне на линейна деформация на точка вследствие на промяната на височината на летене

Самолет лети при проектна височина на летене H , но поради външни влияния в даден момент променя височината си $H - \Delta H$. За да се получи линейното изместване, се разглеждат следните подобни триъгълници:

1. $\Delta a_1 O_1 S_1 \sim \Delta S_1 O A$, следователно

$$\frac{x_1}{f} = \frac{X}{H} \Rightarrow x_1 = \frac{f \cdot X}{H} \quad (2.7)$$

2. Аналогично за $\Delta a'_1 O'_1 S'_1 \sim \Delta A O S'_1$

$$\frac{x'_1}{f} = \frac{X}{H - \Delta H} \Rightarrow x'_1 = \frac{f \cdot X}{H - \Delta H} \quad (2.8)$$

Линейното изместване е равно на $\delta = x'_1 - x_1 = \Delta x$ (2.9)

$$\delta = \Delta x = f \cdot x \cdot \left(\frac{1}{H - \Delta H} - \frac{1}{H} \right) = f \cdot x \cdot \left(\frac{H - H + \Delta H}{H \cdot (H - \Delta H)} \right) =$$

$$\Rightarrow \delta = \Delta x = \frac{\Delta H}{H} \cdot x'_1 \quad (2.10)$$

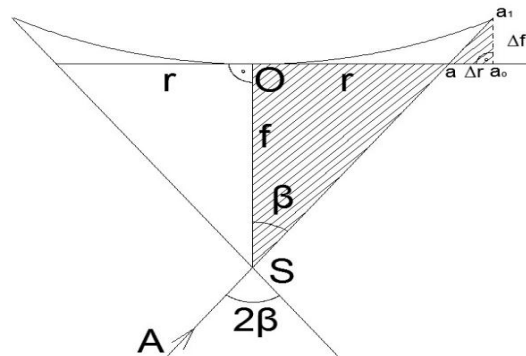
Аналогично се извежда формулата за

$$\delta = \Delta y = \frac{\Delta H}{H} \cdot y'_1 \quad (2.11)$$

След изчисляването на Δx и Δy , може да се пристъпи към изчисляване на линейното изместване, като се използва формулата [13]:

$$\Delta r_i = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2} \quad (2.12)$$

2.3. Линейна деформация вследствие неприлепналостта на филма към фокалната равнина.



Фиг. 2.4. Схематично представяне на линейна деформация на точка вследствие на неприлепналостта на филма към фокалната равнина

$$\frac{\Delta r}{\Delta f} = \frac{r}{f} \Rightarrow \Delta f = \frac{\Delta r \cdot f}{r} \quad (2.13)$$

$$\Delta r \cdot f = \Delta f \cdot r \Rightarrow \Delta r = \frac{\Delta f \cdot r}{f} \quad (2.14)$$

$$\Delta r = \Delta f \cdot \text{tg}\beta \quad (2.15)$$

Практическа част

Задача 2.1. Да се определи образното линейно изместване на две точки с координати $M_1(18; 8)$ и $M_2(-5; 49)$ от въздушна снимка № 430, дължащо се на релефа на местността и наклона на снимачната ос $\alpha = 2^\circ$. Превишенията на точките са $h_1=200$ m $h_2=220$ m. Височината на летене е равна на $H = 1144$ m, а фокусното разстояние $f = 209,97$ mm. Линейното отместване се определя по формулата:

$$\delta_i = \frac{h_i \cdot \cos\alpha}{H_i} \cdot \sqrt{r_i^2 + f^2 \cdot \text{tg}^2\alpha + 2 \cdot r \cdot f \cdot \text{tg}\alpha \cdot \sin\theta}, \text{ където } \text{tg}\theta = \frac{y_i}{x_i} \quad H_i = H - h_i$$

Решение:

$$1.1. r_1 = \sqrt{\Delta x_1^2 + \Delta y_1^2} = 19,70 \text{ mm}$$

$$\text{tg}\theta = \frac{y_i}{x_i} = 0,444444 \rightarrow \theta = 26^\circ, 63 \rightarrow \sin\theta = 0,406138$$

$$H_1 = H - h_1 = 944 \text{ m}$$

$$\delta_1 = \frac{h_i \cdot \cos\alpha}{H_i} \cdot \sqrt{r_i^2 + f^2 \cdot \text{tg}^2\alpha + 2 \cdot r \cdot f \cdot \text{tg}\alpha \cdot \sin\theta} = 4,91 \text{ mm}$$

$$1.2. r_2 = \sqrt{\Delta x_2^2 + \Delta y_2^2} = 49,25 \text{ mm}$$

$$\text{tg}\theta = \frac{y_i}{x_i} = -9,800000 \rightarrow \theta = -93^\circ, 53 \rightarrow \sin\theta = -0,994834$$

$$H_i = H - h_i = 924 \text{ m}$$

$$\delta_i = \frac{h_i \cdot \cos\alpha}{H_i} \cdot \sqrt{r_i^2 + f^2 \cdot \text{tg}^2\alpha + 2 \cdot r \cdot f \cdot \text{tg}\alpha \cdot \sin\theta} = 10,16 \text{ mm}$$

Задача 2.2. За същите точки да се определи линейното изместване, дължащо се на промяната на височината на летене при $\Delta H = 40$ m.

Решение:

Този вид изместване се определя по формулите:

$$\Delta r_i = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}, \quad \text{където} \quad \delta = \Delta x_i = \frac{\Delta H}{H} \cdot x'_i \quad \delta = \Delta y_i = \frac{\Delta H}{H} \cdot y'_i$$

$$\Delta x_1 = \frac{40}{1144} \cdot 18 = 0,63 \text{ mm} \quad \Delta y_1 = \frac{40}{1144} \cdot 8 = 0,28 \text{ mm}$$

$$\Delta r_1 = \sqrt{\Delta x_1^2 + \Delta y_1^2} = 0,69 \text{ mm}$$

$$\Delta x_2 = \frac{40}{1144} \cdot (-5) = -0,18 \text{ mm} \quad \Delta y_2 = \frac{40}{1144} \cdot 49 = 1,71 \text{ mm}$$

$$\Delta r_2 = \sqrt{\Delta x_2^2 + \Delta y_2^2} = 1,72 \text{ mm}$$

Задача 2.3. Да се изчисли линейното изместване в краищата на снимката, дължащо се на неприлепналостта на филма към фокалната равнина при $\Delta = 0,03$ mm за камери с обхват $2\beta = 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$.

Решение:

$$\delta_i = \Delta \cdot \operatorname{tg} \beta_i$$

$$\delta_1 = 0,03 \cdot 0,509525 = 0,02 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 0,03 \cdot 0,854081 = 0,03 \text{ mm}$$

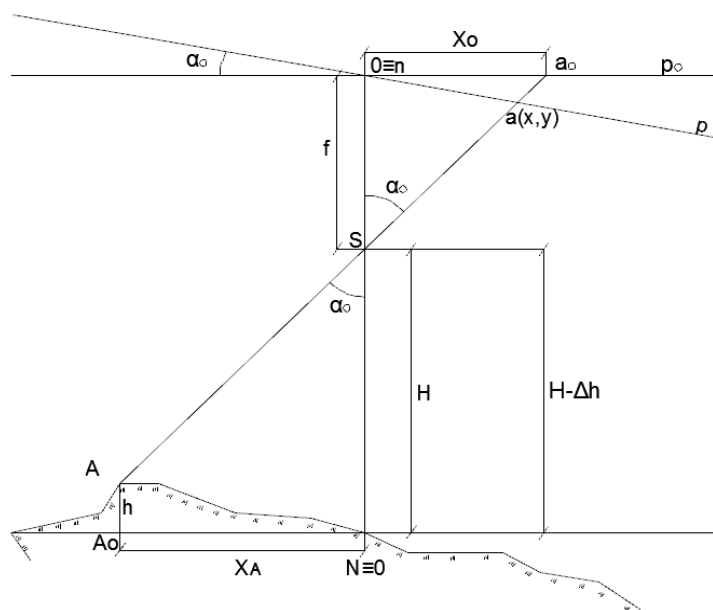
$$\delta_3 = 0,03 \cdot 1,376382 = 0,04 \text{ mm.}$$

ТРЕТА ГЛАВА

Мащаб на въздушна снимка. Определяне на мащаба на характерни точки от аероснимката – главната точка, точката на надира и точката на нулевите деформации.

➤ В упражнението студентите затвърждават теоретичните си познания, свързани с мащаба на снимката и определят мащабите по направления успоредни на главната хоризонтала и главната вертикала.

Поради гореизброените фактори (превишенията в терена, релефът, наклонът на снимачната ос и други) въздушните снимки, за разлика от картите, нямат единен мащаб по цялата снимка. Мащабът M (численият мащаб) на идеалната въздушна снимка (направена вертикално на напълно равен терен) е съотношението на безкрайно малко линейно изображение l от фотоснимката към съответната ѝ отсечка L от местността (фиг. 3.1).



Фиг. 3.1. Мащаб на въздушна снимка

Мащабът на строго хоризонтална снимка е:

$$M = \frac{1}{m} = \frac{f}{H} = \frac{x}{X} = \frac{y}{Y} = \frac{l}{L} = \frac{x_0}{X_A} \quad (3.1),$$

където всъщност m е мащабното число. Поради посочените причини за деформирания в отделните части на снимката под мащаб на снимката се разбира нейният приблизителен или среден (образен) мащаб. Въпреки наличието на деформации в снимките, благодарение на специални фотограметрични методи за обработка, са възможни геометрично точни измервания [7].

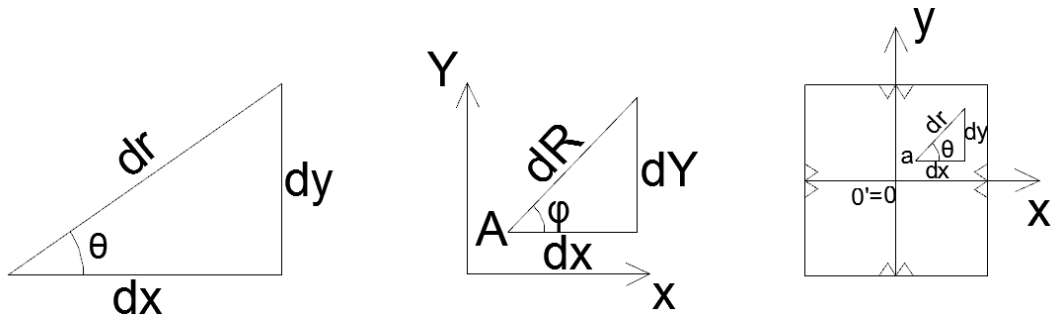
При строго централно проектиране, т.е. когато ъгълът на наклона на снимката $\alpha_0 = 0$ и релефът на местността е равнинен, т.е. $\Delta h = 0$, мащабът на снимката е еднакъв във всички точки от снимката, където $\Delta h = \frac{\sum h_i}{n}$.

Мащабът на наклонена снимка е функция на променливите величини $M = F(f, H, \alpha, x, y, \Delta h, \theta)$: фокусно разстояние, височина на летене, ъгъл на наклона, координати на

образната точка, превишения и ъгълът, който фиксира посоката, по която се определя мащабът. При наклонена снимка мащабът се изменя не само при преминаване от една към друга точка, а и при промяна на посоката на ъгъл θ от втората към първата точка. За да се определи мащабът на снимката в някаква точка, например точка а с посока θ е необходимо да се вземе отношението на безкрайно малката отсечка dr , минаваща през тази точка, към съответната отсечка dR от местността с посока φ .

$$dR = \sqrt{dX^2 + dY^2}, \text{ където } X, Y - \text{пространствените координати на т. А}$$

$$dr = \sqrt{dx^2 + dy^2}, \text{ където } x, y - \text{образни координати на т. А} \quad (3.2)$$



Фиг. 3.2. Определяне на мащаба на снимката в точка а с посока θ

$$dr = \frac{dx}{\cos \theta},$$

θ – ъгъл на отклонение на r от x

$$M = \frac{1}{m} = \frac{dr}{dR} = \frac{dx}{\cos \theta} : \sqrt{dX^2 + dY^2} = \frac{dx}{\cos \theta \cdot \sqrt{dX^2 + dY^2}} \quad (3.3)$$

Пространствените координати на снимката:

$$\left\{ \begin{array}{l} X - X_0 = (Z - Z_0) \cdot \frac{a_1(x-x_0) + a_2(y-y_0) - a_3 \cdot f}{c_1(x-x_0) + a_2(y-y_0) - c_3 \cdot f} \text{ от } x - x_0 = -H \cdot \frac{x'}{z'} \\ Y - Y_0 = (Z - Z_0) \cdot \frac{b_1(x-x_0) + b_2(y-y_0) - b_3 \cdot f}{c_1(x-x_0) + c_2(y-y_0) - c_3 \cdot f} \text{ от } y - y_0 = -H \cdot \frac{y'}{z'} \end{array} \right. \quad (3.4)$$

При $x_0 = y_0 = z_0$ и $x_0 = y_0 = 0$:

$$\left\{ \begin{array}{l} x - x_0 = -H \cdot \frac{a_1 x + a_2 y - a_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \\ y - y_0 = -H \cdot \frac{b_1 x + b_2 y - b_3 f}{c_1 x + c_2 y - c_3 f} \end{array} \right. \quad (3.5)$$

Ако се предположи, че снимката е наклонена:

$$\kappa \equiv \alpha = 0 \quad \omega \equiv \alpha_0 \neq 0 \quad A_{\omega} = A_{\alpha_0} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_0 & -\sin \alpha_0 \\ 0 & \sin \alpha_0 & \cos \alpha_0 \end{bmatrix}$$

Извършва се диференциране

$$\left\{ \begin{array}{l} X = H \cdot \frac{x}{-y \cdot \sin \alpha_0 + f \cdot \cos \alpha_0} \quad dX = H \cdot \frac{dx (f \cdot \cos \alpha_0 - y \cdot \sin \alpha_0) + x \cdot \sin \alpha_0 \cdot dy}{(f \cdot \cos \alpha_0 - y \cdot \sin \alpha_0)^2} \\ Y = H \cdot \frac{y \cdot \cos \alpha_0 + f \cdot \sin \alpha_0}{-y \cdot \sin \alpha_0 + f \cdot \cos \alpha_0} \Rightarrow dY = H \cdot \frac{\cos \alpha_0 \cdot dy (f \cdot \cos \alpha_0 - y \cdot \sin \alpha_0) + (f \cdot \cos \alpha_0 + y \cdot \sin \alpha_0) \cdot \sin \alpha_0 \cdot dy}{(f \cdot \cos \alpha_0 - y \cdot \sin \alpha_0)^2} \end{array} \right.$$

$$dY = H \cdot \frac{f \cdot \cos^2 \alpha_0 \cdot dy - y \cdot \sin \alpha_0 \cdot \cos \alpha_0 \cdot dy + f \cdot \sin^2 \alpha_0 \cdot dy + y \cdot \sin \alpha_0 \cdot \cos \alpha_0 \cdot dy}{(f \cdot \cos \alpha_0 - y \cdot \sin \alpha_0)^2}$$

$$dY = H \cdot \frac{f \cdot dy}{(f \cdot \cos \alpha_0 - y \cdot \sin \alpha_0)^2} : f$$

$$dY = H \cdot \frac{dy}{(f \cdot \cos \alpha_0 - \frac{y}{f} \cdot \sin \alpha_0)^2} \quad (3.6)$$

Полага се:

$$k = \cos \alpha_0 - \frac{y}{f} \cdot \sin \alpha_0$$

$$c = \frac{x \cdot \sin \alpha_0}{f}$$

$$\Rightarrow dX = \frac{H \cdot k \cdot dx + c \cdot dy}{fk^2}; \quad dY = H \cdot \frac{dy}{fk^2}$$

$$\frac{1}{m} = \frac{dx}{\cos \theta \cdot \frac{H}{fk^2} \cdot \sqrt{k^2 dx^2 + 2kc dx dy + c^2 dy^2 + dy^2}} \quad | : dx$$

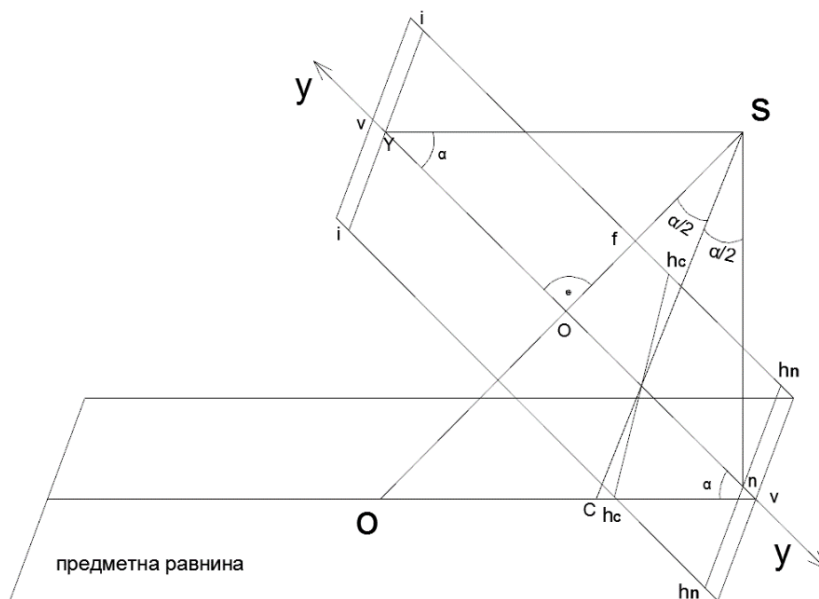
$$\frac{1}{m} = \frac{fk^2}{H \cdot \cos \theta \cdot \sqrt{k^2 + 2kc \left(\frac{dy}{dx}\right) + c^2 \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}}, \quad \text{tg } \theta = \frac{dy}{dx}$$

$$\frac{1}{m} = \frac{f \cdot k^2}{H} \cdot \left[k^2 \cdot \cos^2 \theta + 2 \cdot kc \cdot \frac{\cos^2 \theta \cdot \sin \theta}{\cos \theta} + c^2 \cdot \frac{\sin^2 \theta}{\cos^2 \theta} \cdot \cos^2 \theta + \frac{\sin^2 \theta}{\cos^2 \theta} \cdot \cos^2 \theta \right]^{-\frac{1}{2}}$$

$$\frac{1}{m} = \frac{f \cdot k^2}{H} \cdot (k \cdot \cos \theta + c \cdot \sin \theta)^2 + \sin^2 \theta$$

$$M = \frac{1}{m} = F(f, H, \alpha_0, \theta, x, y) \quad (3.7)$$

Определяне на мащаба на характерни точки от аероснимката – главната точка, точката на надира, точката на нулевите деформации и убежната точка.



Фиг. 3.3. Характерни точки от аероснимката

В околност на т. О точките имат постоянен мащаб.

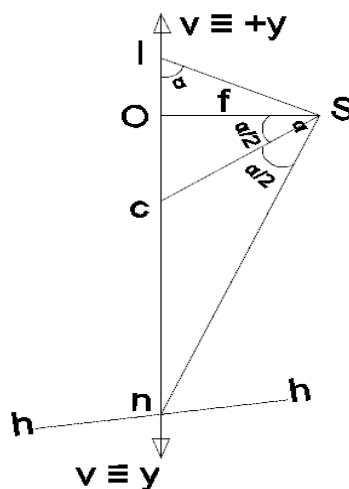
Главната вертикала (vv) минава през точки О, С, n и Y, като ъгъл $\theta = 90^\circ$, $x = 0$. За да се определят мащабите по главната вертикала в тези точки, се замества стойността на ординатата в следната основна формула:

$$\frac{1}{m_v} = \frac{f}{H} \cdot k^2 \cdot (c^2 + 1)^{-\frac{1}{2}} = \frac{f}{H} \cdot k^2 \cdot \left(\frac{x^2 \cdot \sin^2 \alpha_0}{f^2} + 1 \right)^{-\frac{1}{2}} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{m_v} = \frac{f}{H} \cdot (\cos \alpha_0 - \frac{y}{f} \cdot \sin \alpha_0)^2, \quad \alpha_0 = \alpha \quad (3.8)$$

За да се изчисли мащабът по главната вертикала във всяка от четирите точки, се заместват стойностите на ординатите в предходната формула. Ординатите се определят от фиг. 3.3.

- Мащаб по гл. вертикала в главната точка **О**: $\frac{1}{m_v} = \frac{f}{H} \cdot \cos^2 \alpha$ за т. **О**: $y = 0$
- Мащаб по гл. вертикала в надирната точка **n**: $\frac{1}{m_v} = \frac{f}{H} \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha}$ за т. **n**: $y = -f \cdot \operatorname{tg} \alpha$
- Мащаб в точката на нулевите деформации **С**: $\frac{1}{m_v} = \frac{f}{H}$ за т. **с**: $y = -f \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$
- Мащаб по гл. вертикала в убежната точка **Y**: $\frac{1}{m_v} = 0$ за т. **Y**: $y = f \cdot \operatorname{ctg} \alpha$ (3.9)



Фиг. 3.4. Схематично разположение на характерни точки от снимката

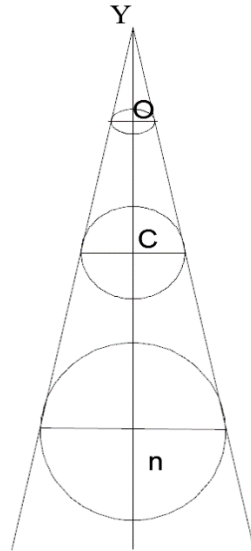
$$\frac{1}{m_H} = \frac{f}{H} \cdot k^2 \cdot (k^2)^{-\frac{1}{2}} = f \cdot \frac{k}{H} = \frac{f}{H} \cdot (\cos \alpha - \frac{y}{f} \sin \alpha), \quad \theta = 0^\circ \quad (3.10)$$

Аналогично: заместват се стойностите на ординатите за четирите точки в предходната формула и се намира мащабът по главната хоризонтала във всяка от тях.

- Мащаб по гл. хоризонтала през точка **О**: $\frac{1}{m_H} = \frac{f}{H} \cdot \cos \alpha$ за т. **О**: $y = 0$
- Мащаб по гл. хоризонтала през точка **n**: $\frac{1}{m_H} = \frac{f}{H} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}$ за т. **n**: $y = -f \cdot \operatorname{tg} \alpha$
- Мащаб по гл. хоризонтала през точка **С**: $\frac{1}{m_H} = \frac{f}{H}$ за т. **с**: $y = -f \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$

➤ Мащаб по гл. хоризонтала през точка Y : $\frac{1}{m_H} = 0$, $m_\infty = \infty$ за т. Y : $y = f \cdot ctg\alpha$ (3.11)

m_V се изменя по квадратична зависимост по-бързо от m_H : $\frac{1}{m_V} = \left(\frac{1}{m_H}\right)^2$ [2]. (3.12)



Фиг. 3.5. Индикатриса на Тисо

От елипсата на грешките може да се заключи, че при наклонена снимка мащабът се увеличава към надирната точка (n), а намалява към главната точка (O). Индикатрисата на Тисо характеризира закономерностите при изменението на мащабите по линията на главната хоризонтала и по главната вертикала в съответните точки (т. O, т. C, т. n, т. Y). При наклонена снимка, при малък ъгъл на наклона на снимката, мащабът в различните точки е различен и снимката трябва да се трансформира в хоризонтална.

Практическа част

Задача 3.1.

Да се определят мащабите по направления успоредни на главната хоризонтала и главната вертикала за вертикална въздушна снимка с наклон на снимачната ос $\alpha = 2^\circ$ в следните точки: главната точка, фокалната точка, надирната точка и главната убежна точка на снимката при $f = 209,97 \text{ mm}$ и $H = 1260 \text{ m}$.

Решение:

Таблица 3.1. Мащаби по направления успоредни на главната хоризонтала и главната вертикала за вертикална въздушна снимка

Точки	y	Мащаби по направление успоредно на главната хоризонтала $\frac{1}{m_h} = \frac{f}{H} \cdot (\cos \alpha - y \cdot \sin \alpha)$	Мащаби по направление успоредно на главната вертикала $\frac{1}{m_v} = \frac{f}{H} \cdot (\cos \alpha - \frac{y}{f} \cdot \sin \alpha)^2$
Главна точка т. О	0	$\frac{1}{m_h} = \frac{f}{H} \cdot \cos \alpha$ $= 0,00016656$ М 1:6 003	$\frac{1}{m_v} = \frac{f}{H} \cdot \cos^2 \alpha = 0,00016648$ М 1:6 007
Фокална точка т. с	$-f \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$	$\frac{1}{m_h} = \frac{f}{H} = 0,00016664$ М 1:6 000	$\frac{1}{m_v} = \frac{f}{H} = 0,00016664$ М 1:6 000
Надирна точка т. п	$-f \cdot \operatorname{tg} \alpha$	$\frac{1}{m_h} = \frac{f}{H} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} = 0,0001667$ М 1:5 998	$\frac{1}{m_v} = \frac{f}{H} \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha} = 0,00016681$ М 1:5995
Убежна точка т. У	$f \cdot \operatorname{ctg} \alpha$	$\frac{1}{m_h} = 0 = \frac{1}{\infty}$	$\frac{1}{m_v} = 0 = \frac{1}{\infty}$

От таблица 3.1 се вижда, че мащабите по главната хоризонтала и вертикала стават по-едри от точка С към главната точка и по-дребни от т. С към надирната точка. Забелязва се, че мащабите по главната хоризонтала се променят по-бавно в сравнение с тези по главната вертикала. И ако се разгледат безкрайно малки окръжности от местността с центрове в т. О, т. С и т. N, те ще имат вид като на фиг. 3.5.

ЧЕТВЪРТА ГЛАВА

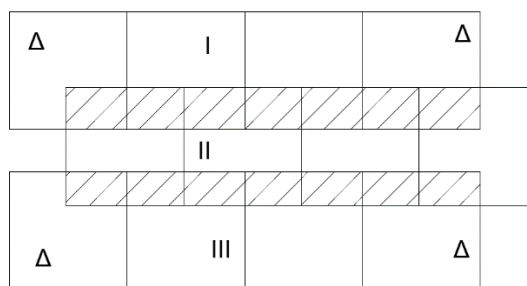
Съставяне на план на летене. Изчисляване на базовите елементи на плана на летене. Оформяне на плана на летене върху топографска карта.

Студентите получават индивидуално задание с параметрите, които трябва да се изчислят, за да представят и изработят план на летене в определен мащаб.

При извършване на въздушно фотограметрично заснемане с цел изготвяне на план или карта се създава проект за заснемане на местността, т.е. план на летене. Планът на летене представлява комплекс от задачи, решението на които е съобразено с основните изисквания за планиране, изпълнение, контролиране и приемане на предназначения за граждански цели аерозаснемане и на резултатите от различните дистанционни методи за сканиране и интерпретиране на земната повърхност съгласно Наредба № РД-02-20-16 на Министерството на регионалното развитие и благоустройството [23]. Това налага определянето на редица параметри, свързани с въздушното заснемане, които могат да се обособят в три групи:

1. Изходни данни (размери на обекта, картен мащаб, основно сечение на релефа, средна надморска височина на обекта или на всяка ивица).
2. Данни, които се избират (въздушна фотокамера, фокусно разстояние, размер на снимката, образен мащаб, надлъжно и напречно застъпване).
3. Данни, които се изчисляват.

За да се извърши площно фотографиране, е необходимо да бъде указан районът за заснемане, очертан върху картен лист, да се набави информация за наличните опорни точки на терена, за особеностите на релефа, за вида на камерата, с която ще се извърши заснемането, за фокусното разстояние, формата на изображенията, процента на надлъжно и напречно застъпване, метеорологичните характеристики за района и др.



Фиг. 4.1. Схема на площно заснемане в три ивици

На практика се препоръчва летенето да се извършва по посока дългата страна на обекта, като за предпочитане са посоките изток – запад и обратно или север – юг и обратно. Определя се времето за заснемане: ранна пролет или късна есен в часовете от 9 до 11 и от 15 до 17, когато няма листа по дърветата и сенките са най-малки. Допуска се промяна във височината на летене до 5%. Праволинейност на ивицата с ъгловото отклонение до 4^g и напречно застъпване минимум 15%.

Летателна карта – по нея бордният фотограф извършва заснемането. Изработва се върху съществуваща топографска карта на района в по-дребен мащаб. Нанасят се:

- граници на обекта;
- осите на летене – осите се проектират така, че 25–30% от заснетата площ на крайните ивици да е извън обекта;
- местата на първата и последната експонация на всяка ивица – обикновено извън обекта, за да се осигури покриването на обекта със стереодвойки;
- повдигат се местните ориентирни по всяка ос на летене – за улеснение при насочването на самолета;
- разположението на първите три снимки на първата и втората ивица.

Изготвя се техническо задание на обекта, което съдържа текстова част – данни за обекта и данни за фотозаснемането, както и графична част (летателна карта).

Основни показатели на плана на летене и елементи на летателната карта:

1. Мащаб на въздушна снимка и височина на летене

$$m_{в.сн} = \frac{G}{g} = \frac{H}{f} \quad (4.1)$$

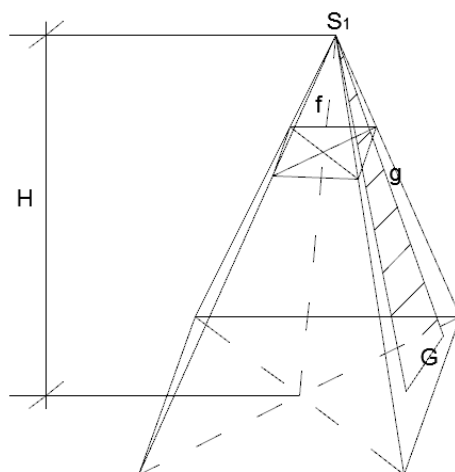
За да се определи мащабът на снимката, когато е известен мащабът на картиране, се използва формулата:

$$m_{сн} = c_1 \cdot \sqrt{m_k}, \text{ където } 150 < c_1 < 200 \quad (4.2)$$

c_1 – умножителна константа. Стойността на константата се приема в зависимост от апарата, с който ще се обработват фотоснимките;

$c_1 \sim 115$ се използва при стари материали;

$c_1 \sim 200$ се използва при прецизни картировъчни апарати и материали. Най – доброто съотношение $m_{в.сн} : m_k$ е 1:1; 1:1,3; 1:1,5.

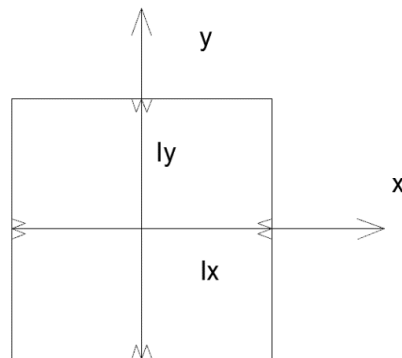


Фиг. 4.2. Мащаб на въздушна снимка и височина на летене

2. Височина на летене

$$\frac{g}{G} = \frac{f}{H}; \quad \frac{g}{G} = \frac{1}{m_{в.сн}} \rightarrow \frac{f}{H} = \frac{1}{m_{в.сн}} \Rightarrow H = f \cdot m_{в.сн} \quad (4.3)$$

Формат на снимката



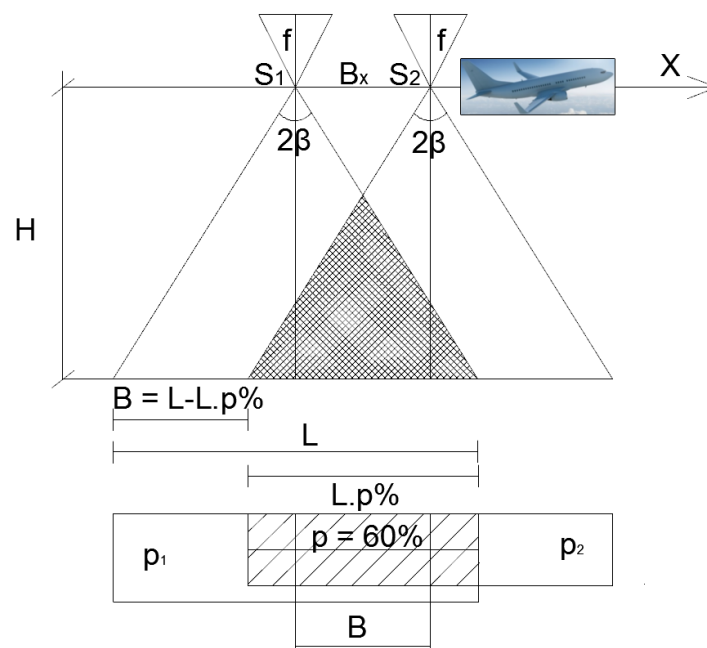
Фиг. 4.3. Формат на снимката

l_x, l_y – разстояния измерени между рамковите марки

Форматът на снимката може да бъде 18/18, 23/23 или 30/30 cm

3. Надлъжно и напречно застъпване при равнинен и хълмист терен

Надлъжно застъпване:



Фиг. 4.4. Надлъжно застъпване между две съседни фотоснимки

L – страна на квадрата от местността, който се покрива от една въздушна снимка с обхват l или обхват на снимката в местността.

B_x – **надлъжна пространствена база** – разстоянието между две съседни фотостанции във въздуха по време на полета на самолета или разстоянието между два съседни проекционни центъра при две последователни експонации.

$p\%$ (n_x) – **процент на надлъжно застъпване**. Надлъжното застъпване е в диапазона $50 < p\% < 75$. Оптималната стойност е около 60% [12].

$$\tan \beta = \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{H} \Rightarrow H = \frac{L}{2 \cdot \tan \beta} \quad (4.4)$$

$$\left| \begin{array}{l} L = m \cdot l \\ l = 2 \cdot f \cdot \tan \beta \end{array} \right. \Rightarrow L = 2 \cdot m \cdot f \cdot \tan \beta \quad (4.5)$$

$$H = m \cdot f$$

$$L = 2 \cdot \frac{H}{f} \cdot f \cdot \tan \beta$$

$$\Rightarrow L = 2 \cdot H \cdot \tan \beta \quad (4.6)$$

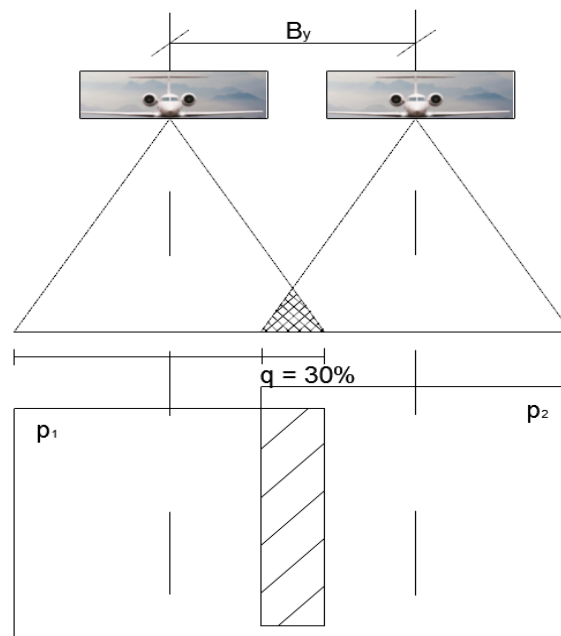
$$L_x = m_{\text{в.чн.}} \cdot l_x = 2 \cdot H \cdot \tan \beta$$

$$L_y = m_{\text{в.чн.}} \cdot l_y = 2 \cdot H \cdot \tan \beta$$

L_x – дължина на обекта

L_y – ширина на обекта

Напречно застъпване:



Фиг. 4.5. Напречно застъпване между две съседни ивици

B_y – **напречна пространствена база** – разстоянието между две съседни оси, по които самолетът лети при заснемане на две съседни ивици фотоснимки.

$q\%$ (n_y) – **процент на напречно застъпване**. Напречното застъпване е в диапазона $20 < q\% < 30$. Оптималната стойност в повечето случаи е около 30%.

$$p\% = \frac{L_x - B_x}{L_x} \cdot 100\% \quad q\% = \frac{L_y - B_y}{L_y} \cdot 100\% \quad (4.7)$$

$L_x = L_y$ – квадрат

$$\Delta B = dL_1 + dL_2 = \frac{L}{2H} \cdot (h_1 + h_2) \quad (4.13)$$

$$\Delta B = \frac{l_x \cdot m}{2 \cdot f \cdot m} \cdot (h_1 + h_2) \quad (4.14)$$

$$h_1 = h_2 \Rightarrow \Delta B = \frac{l_x}{f} \cdot \Delta h = k \cdot \Delta h \quad (4.15)$$

Когато имаме планинска местност, превишенията на точките оказват влияние върху големината на базата.

$$\begin{aligned} \Delta p &= p - p' = 100 \cdot \left(1 - \frac{B}{L}\right) - 100 \cdot \left(1 - \frac{B'}{L}\right) = 100 \cdot \left(\frac{B' - B}{L}\right) = 100 \cdot \frac{\Delta B}{L} = \\ &= 100 \cdot \frac{\Delta B}{L} = 100 \cdot \frac{\Delta B}{2 \cdot m \cdot f \cdot \tan \beta} \end{aligned} \quad (4.16)$$

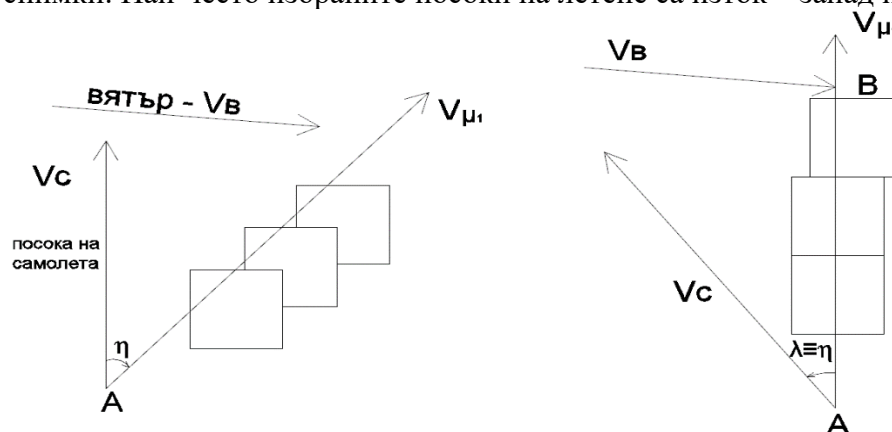
$$\Delta p = 50 \cdot \frac{\Delta B}{H \cdot \tan \beta} \quad (4.17)$$

$\Delta p \rightarrow$ промяна на надлъжното застъпване от базата

$$\text{отношението } \tan \beta = \frac{k}{2} \quad k = \frac{l_x}{f} \begin{cases} k \approx 1 \text{mm} - \text{при нормални камери} \\ k = 2,3 \text{mm} - \text{широкообхватни камери} \\ k < 1 - \text{дългофокусни камери} \end{cases}$$

4. Определяне на скоростта на летене на самолета и на ъгъла на отнасяне и противоотнасяне

Ако над района духа вятър, за да се избегне преместването на самолета от предвидената посока на летене, е необходимо да се промени посоката му, така че курсът и направлението на въздушното течение да дадат за резултантна предвидената посока на летене. Снимачната камера ще трябва да се завърти на ъгъл λ , за да не се получат завъртени снимки. Най-често избраните посоки на летене са изток – запад и север – юг.



Фиг. 4.7. Ъгли на отнасяне и противоотнасяне

η – ъгъл на отнасяне

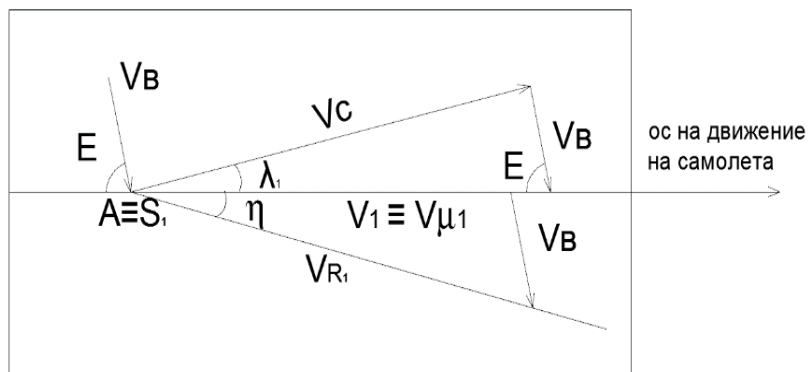
λ – ъгъл на противоотнасяне

V_C – скорост на самолета

V_B – скорост на вятъра

V_{μ} – резултантна на V_C и V_B

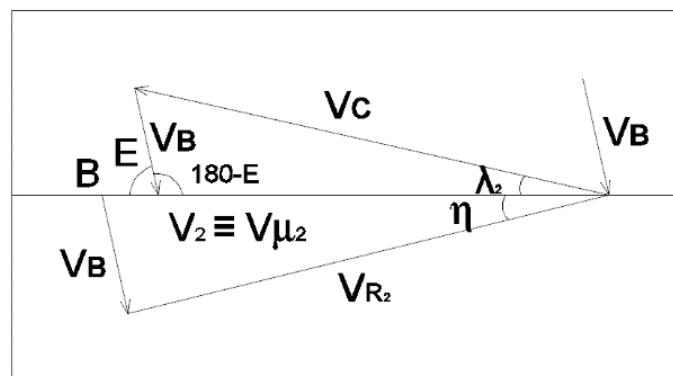
Определяне на скоростта на летене на самолета по посоката на вятъра



Фиг. 4.8. Скоростта на летене на самолета по посока на вятъра

$$V_{\mu_1} = \frac{V_B \cdot \sin[180 - (\lambda_1 + \epsilon)]}{\sin \lambda_1} \Rightarrow V_{\mu_1} = \frac{V_B \cdot \sin(\lambda_1 + \epsilon)}{\sin \lambda_1} \quad (4.18)$$

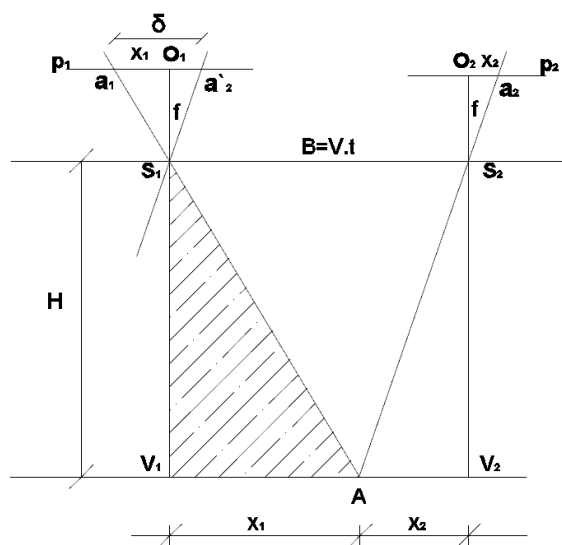
Определяне на скоростта на летене на самолета срещу посоката на вятъра



Фиг. 4.9. Скоростта на летене на самолета срещу посоката на вятъра

$$V_{\mu_2} = \frac{V_B \cdot \sin[180 - [(180 - \epsilon) + \lambda_2]]}{\sin \lambda_2} \Rightarrow V_{\mu_2} = \frac{V_B \cdot \sin(\epsilon - \lambda_2)}{\sin \lambda_2} \quad (4.19)$$

5. Определяне на времето на експониране в двете посоки



Фиг. 4.10. Схема за определяне на времето за експониране

$$B = V \cdot t = x_1 + x_2 = \frac{H}{f} \cdot (x_1 + x_2) =$$

$$= m_{B,CH} \cdot (x_1 + x_2) = m_{B,CH} \cdot (a_1 O_1 + a_2 O_2) = m_{B,CH} \cdot \delta \quad (4.20)$$

$a_1 a_2 = \delta$ – времето, през което обективът на камерата е отворен при заснемане на местността, т.е. времето за експониране (t).

δ – може да се пресметне като допустимо число, при което образът не се размазва.

$$\delta \leq 0,05 \text{ mm}$$

$$t_1 = \frac{m_{B,CH} \cdot \delta}{V_{\mu 1}} \text{ – време за експониране по посока запад – изток} \quad (4.21)$$

$$t_2 = \frac{m_{B,CH} \cdot \delta}{V_{\mu 2}} \text{ – време за експониране по посока изток – запад} \quad (4.22)$$

6. Определяне на интервала между две последователни заснемания

$$T_1 = \frac{B_x}{V_{\mu 1}}, s \quad T_2 = \frac{B_x}{V_{\mu 2}}, s \quad (4.23)$$

7. Полезна площ на снимката

$$F = B_x \cdot B_y \quad B_x, B_y \text{ – надлъжна и напречна база} \quad (4.24)$$

8. Определяне на броя на снимките в една ивица

$$n_c = \frac{L_x}{B_x} + 1 \quad (4.25)$$

9. Определяне на броя на ивиците

$$n_{и} = \frac{L_y}{B_y} + 1 \quad (4.26)$$

10. Брой на снимките в целия обект

$$C_{CH} = n_c \cdot n_{и} \quad (4.27)$$

11. Дължини на филма в зависимост от обхвата на камерата

$$L_{\phi} = c_{\text{сн}} \cdot l_x + 10\% \cdot L_{\phi}, \text{ m} \quad (4.28)$$

12. Общо летателно време

$$T_{\text{л}} = \frac{T_{\text{и-з}} + T_{\text{з-и}} + \tau_{\text{и-з}} + \tau_{\text{з-и}}}{2} \cdot c_{\text{сн}} + \frac{(n_{\text{и}}-1) \cdot \pi \cdot B_y}{v_c} + 2 \cdot \frac{S_{\text{л}}}{v_{\text{max}}}, \text{ s} \quad (4.29)$$

2 . $S_{\text{л}}$ – разстояние от летището до обекта – отиване и връщане

$$13. \text{ Брой полети} - N = \frac{T_{\text{л}}}{T_{\text{п}}} \quad (4.30)$$

$T_{\text{п}}$ – средно снимачно време за един полет = 2h

13. Определяне на елементите на летателната карта

➤ формат на снимката в мащаба на картата

$$p = \frac{m_{\text{сн}} \cdot l_x}{m_{\text{картата}}} \quad (4.31)$$

➤ надлъжна снимачна база в мащаба на картата

$$B_x^k = \left(\frac{B_x}{m_{\text{картата}}} \right) \quad (4.32)$$

➤ напречна снимачна база в мащаба на картата

$$B_y^k = \left(\frac{B_y}{m_{\text{картата}}} \right) \quad (4.33)$$

➤ местоположение на първия проекционен център

$$\begin{aligned} \Delta x &= \frac{L_x - (n_c - 1) \cdot B_x}{2} & \Delta x_{m_k} &= \frac{\Delta x}{m_k} \\ \Delta y &= \frac{L_y - (n_{\text{и}} - 1) \cdot B_y}{2} & \Delta y_{m_k} &= \frac{\Delta y}{m_k} \end{aligned} \quad (4.34)$$

Последователност на работа – за изработване на плана на летене върху топографска карта в $M 1:25\ 000$ или $M 1:50\ 000$ се определя големината на района, който трябва да бъде заснет. Изчертава се дължината (L_x) и ширината (L_y) му и се копират някои характерни ситуационни елементи (населени места, пътища, водни обекти, като реки, канали). Маркират се съществуващите опорни точки и се определя методът на съгъстяване на опорна мрежа, отбелязват се местата на новоопределяемите точки. Намира се първият проекционен център, след което точно се изчертават ивиците. На всяка ивица се нанасят и надписват проекционните центрове. Отбелязва се и посоката на летене. Изчертават се първите три снимки от първата и втората ивица [2],[8],[9],[16].

Практическа част

Задание:

Да се състави план на летене за въздушно заснемане на правоъгълен обект с размери $F_x = 6000 \text{ km}$, $F_y = 5000 \text{ km}$, предназначено за картиране в мащаб $M 1: 5000$ от топографска карта в мащаб $M 1:25\ 000$. Заснемането да се извърши с въздушна фотокамера с фокусно разстояние $f = 219 \text{ mm}$ с формат $l_x = l_y = 23 \text{ cm}$. Надлъжното застъпване да бъде $n_x = 79\%$, а напречното застъпване $n_y = 49\%$.

Скоростта на самолета по време на заснемането е $V_c = 199 \text{ km/h}$. Направлението на летене на самолета е запад – изток. По време на снимките се очаква вятър с посока северозапад със скорост $V_v = 39 \text{ m/s}$, а посоката му сключва ъгъл $\varepsilon = 50^\circ$ с посоката на летене. Максимална скорост на самолета е $V_{\max} = 300 \text{ km/h}$, а разстояние до обекта $S_l = 50 \text{ km}$.

Изчисляване на параметрите на плана на летене

1. Определяне на мащаба на снимките

$$m_{\text{CH}} = c_1 \cdot \sqrt{m_{\text{KCH}}}, \text{ където } c_1 = 199, \quad 150 < c_1 < 200 \quad \text{цяло число за мащаба}$$

$$m_{\text{CH}} = 14\,071.42 \quad \Rightarrow m_{\text{CH}} = 14\,000$$

2. Височина на летене

$$H = f \cdot m_{\text{CH}}, \text{ m}$$

$$H = 3066 \text{ m}$$

3. Надлъжна база на заснемане

$$B_x = m_{\text{CH}} \cdot l_x \cdot \left(\frac{100 - n_x}{100}\right), \text{ m} \quad B_x = 676,20 \text{ m}$$

4. Напречна база на заснемане

$$B_y = m_{\text{CH}} \cdot l_y \cdot \left(\frac{100 - n_y}{100}\right), \text{ m} \quad B_y = 1642,20 \text{ m}$$

5. Полезна площ на снимката

$$F = B_x \cdot B_y, \text{ m}^2 \quad F = 1110455,64 \text{ m}^2 = 1,11 \text{ km}^2$$

6. Определяне на броя на снимките в една ивица

$$n_c = \frac{l_x}{B_x} + 1 \quad n_c = 10$$

7. Определяне на броя на ивиците

$$n_i = \frac{l_y}{B_y} + 1 \quad n_i = 4$$

8. Определяне на общия брой на снимките

$$C_{\text{CH}} = n_c \cdot n_i \quad C_{\text{CH}} = 40$$

9. Определяне на дължината на филма

$$L_\phi = c_{\text{CH}} \cdot l_x + 10\% \cdot L_\phi, \text{ m}$$

$$L_\phi = 10,12 \text{ m}$$

10. Изчисляване на скоростта на самолета по посока на летене и по обратна на посоката на летене

$$\sin \lambda_1 = \frac{V_v}{V_c} \cdot \sin \varepsilon = 0,498883 \quad \Rightarrow \lambda_1 = 33,2513$$

$$V_{и-з} = \frac{V_C \cdot \sin(\lambda_1 + \varepsilon)}{\sin \varepsilon} = \frac{V_B \cdot \sin(\lambda_1 + \varepsilon)}{\sin \lambda_1}, \text{ m/s} \quad V_{и-з} = 75,48 \text{ m/s}$$

$$V_{з-и} = \frac{V_C \cdot \sin(\varepsilon - \lambda_1)}{\sin \varepsilon} = \frac{V_B \cdot \sin(\varepsilon - \lambda_1)}{\sin \lambda_1}, \text{ m/s} \quad V_{з-и} = 20,33 \text{ m/s}$$

11. Определяне на интервала между две последователни експонирания в двете посоки

$$T_{и-з} = \frac{B_x}{V_{и-з}}, \text{ s} \quad T_{и-з} = 8,96 \text{ s}$$

$$T_{з-и} = \frac{B_x}{V_{з-и}}, \text{ s} \quad T_{з-и} = 33,2 \text{ s}$$

12. Определяне на времето на експониране в двете посоки

$$\delta = 0,02 \text{ mm}$$

$$\tau_{и-з} = \frac{\delta \cdot m_{CH}}{V_{и-з}}, \text{ s} \quad \tau_{и-з} = 8,96 \text{ s}$$

$$\tau_{з-и} = \frac{\delta \cdot m_{CH}}{V_{з-и}}, \text{ s} \quad \tau_{з-и} = 33,26 \text{ s}$$

13. Определяне на общото летателно време

$$T_L = \frac{T_{и-з} + T_{з-и} + \tau_{и-з} + \tau_{з-и}}{2} \cdot C_{CH} + \frac{(n_{и-1}) \cdot \pi \cdot B_y}{V_C} + 2 \cdot \frac{S_L}{V_{max}}, \text{ s}$$

$$T_L = 2324,78 \text{ s}$$

14. Определяне на броя на полетите

$$N = \frac{T_L}{T_{п}} \quad N = 1$$

Формули за определяне на местоположението на първия проекционен център

$$\Delta X = \frac{L_x - (n_c - 1) \cdot B_x}{2} \quad \Delta x_{m_k} = \frac{\Delta x}{m_k} = -0,17 \text{ cm}$$

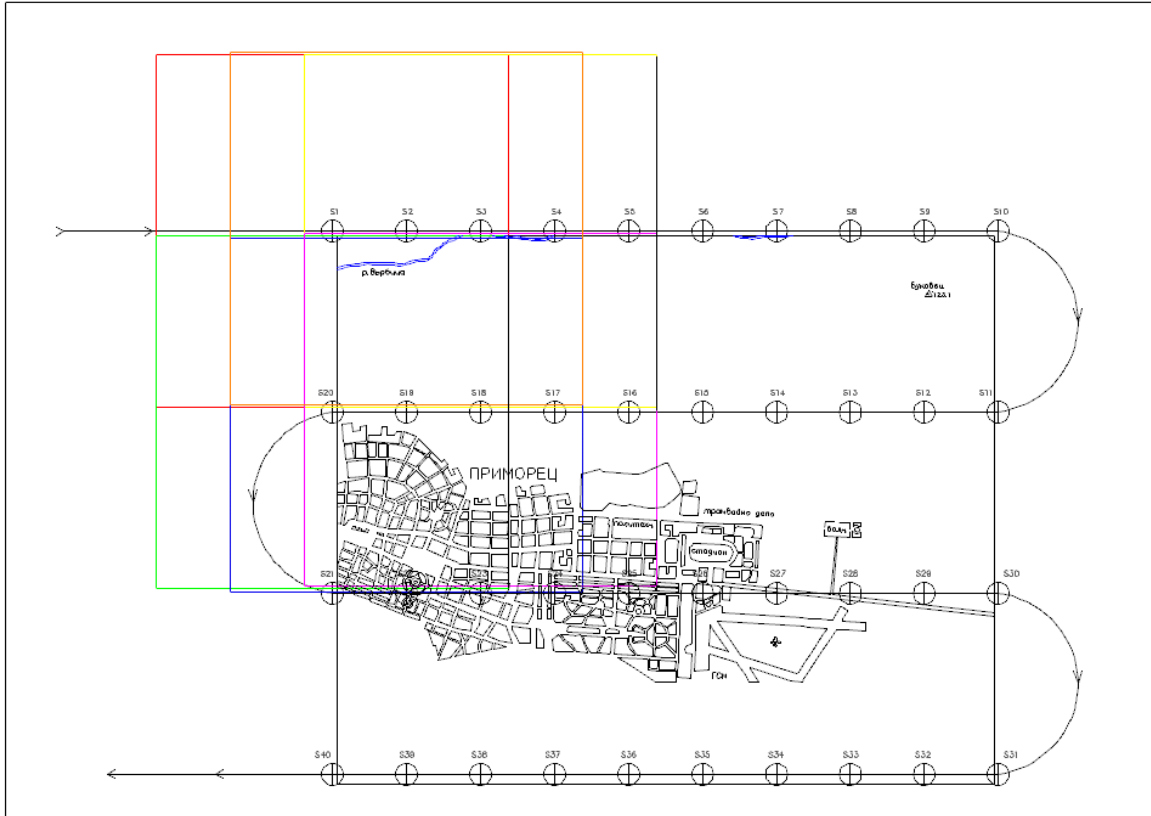
$$\Delta y = \frac{L_y - (n_{и-1}) \cdot B_y}{2} \quad \Delta y_{m_k} = \frac{\Delta y}{m_k} = 0,15 \text{ cm}$$

Формули за определяне на формата на снимката върху картата

$$l = m_{CH} \cdot l_x, \text{ m} \quad \text{Пример: } l_x = 18 \text{ cm} = 0,18 \text{ m}$$

$$l = \frac{l}{m_{картата}} \quad l = m_{CH} \cdot l_x = 2520 \text{ m}$$

$$l = \frac{l}{m_{картата}} = 10,08 \text{ cm.}$$



Фиг. 4.11. План на летене

ПЕТА ГЛАВА

Стереокompatator – запознаване, проверка и подготовка за работа. Измерване на образни координати и паралакси със стереокompatator. Изчисляване на фотограметричните координати на точките и генериране на план.

- *В упражнение 5 студентите се запознават с конструкцията на стереокompatatora, настройват наблюдателната система, упражняват се, измервайки отделни точки в стереомодела, правят отчети по скалите. Запознават се и с ориентирането на снимките, подготвяйки апарата за реални измервания.*
- *Разглеждат основни теоретични постановки. Извеждат основни формули за преобразуване на правоъгълни (образни) координати в пространствени при най-често използваните случаи на заснемане.*
- *Студентите изработват план на работните стъпала на кариера, използвайки земна стереодвойка снимки. Запознават се с отделните етапи от обработката.*

Стереокompatator – запознаване, проверка и подготовка за работа

Върху фотоснимките могат да се извършват монокулярни или стереоскопични измервания. В зависимост от това се използват следните видове фотограметрични апарати:

- монокомпаратори (еднообразни компаратори);
- стереокompatатори (двуобразни компаратори);
- аналитични картировъчни апарати (стереокompatator, дикометър, стекометър);
- стереокартировъчни аналогови апарати, използвани като компаратори (аеропроектор Мултиплекс, топокарт, технокарт, стереометрограф, стереоавтограф 1318 (земна), автограф А6 и А8, стереопланиграф С5 и С8).

Апарати, които служат за измерване на образни координати (или координати и паралакси) върху фотоснимките, носят общото наименование компаратори. За разлика от аналоговите апарати те имат по-проста конструкция и по-малко механични части. Това обуславя и по-високата им точност. Всеки компаратор се състои от снимков носач/и, наблюдателна система, измервателна система и система за отчитане. Монокомпараторите имат един снимков носач, а стереокompatаторите – два. Наблюдателната система е оптическа и служи за наблюдение на фотоснимките с известно увеличение. Измервателната система е механична и служи за измерване на правоъгълни координати върху фотоснимките посредством мерна марка или квадратна мрежа. Тя се основава на принципа на Пулфрих с мерни вретена (стоманени безконечни винтове) или на принципа на Абе със стъклени скали. Системата за отчитане служи за установяване на измерените координати.

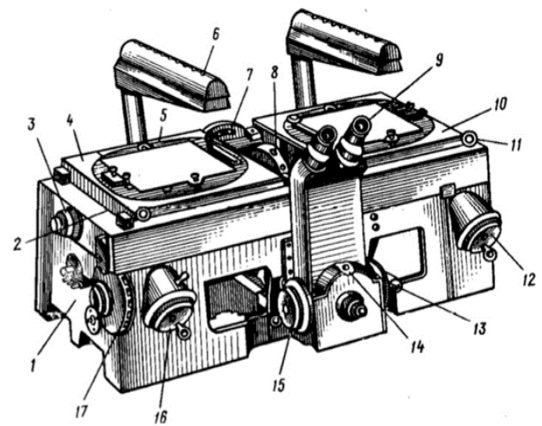
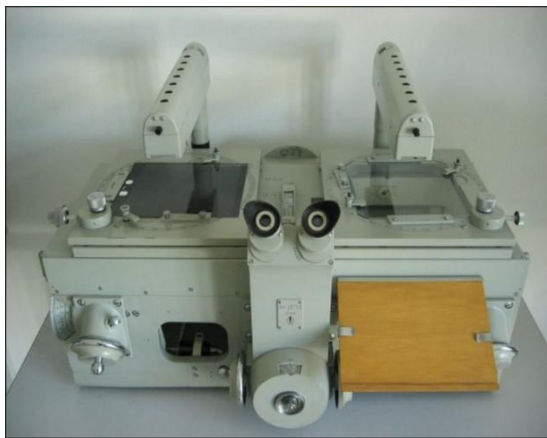
В зависимост от това дали измерванията се извършват върху отделни фотоснимки или върху стереодвойка компараторите биват монокомпаратори и стереокompatатори.

Монокомпараторите служат за измерване на образни координати върху отделни (единични) фотоснимки. Поради това образните точки трябва да бъдат безпогрешно разпознаваеми. На практика винаги се използват изкуствено маркирани точки. Монокомпараторите са Аскорекорд, РК-1 и МК-2.

Стереокompatорите измерват правоъгълни координати на образни точки върху двойка фотоснимки. Някои стереокompatорите измерват координатите на съответните точки от едната снимка и от съседната ѝ фотоснимка, а други – координатите на точки от едната снимка и съответните паралакси, посредством които се изчисляват координатите на точките от другата снимка.

Стереокompatорите са: Стеко 1818, Дикометър, Стекометър и други [4].

Стереокompatорът Стеко 1818 е високоточен и широко използван аналитичен стереофотограметричен инструмент. Предназначен е за измерване на правоъгълни координати x , $y(z)$ и паралакси p_x , p_y с точност до 5 микрона. Апаратът е подходящ за аналитична обработка на земни и въздушни стереоснимки, които имат формат до 18x18cm. В маркшайдерството се използва най-вече за обработка на земни снимки при открити разработки.



Фиг. 5.1. Стереокompatор Стеко 1818

Устройство

Върху масивна поставка (1) лежи основната шейна (2), която може да се движи по абсисата x с помощта на ръчно колело, разположено в левия край на компаратора (16), когато сме с лице към компаратора. В лявата половина на основната шейна върху друга шейна се намира левият снимков носач (4), който се движи заедно с нея. Снимковият носач има стъклена основа (5), върху която са гравирани специални знаци (щрихи) за правилно поставяне на фотоснимката. Фотоснимката се наблюдава отдолу, а се осветява отгоре с лампа (6). В дясната половина на основната шейна лежи друга шейна, която може да се движи самостоятелно по ос x , върху нея се намира десният снимков носач (10), който също има стъклена основа. Основната шейна не се движи по ординатата, това се извършва от подвижната част на наблюдателната система. Следователно основната шейна придвижва едновременно двата снимкови носача по ос x , с което се осъществява измерване на образните абсциси x , чиито стойности се отчитат по съответния (левия) мерен барабан (17). По ординатната ос се движи само наблюдателната система. Насочването към образните точки става с пространствена мерна марка, а измерванията се осъществяват от ръчни колела и стойностите се отчитат по мерни барабани. Малката шейна отдясно придвижва допълнително десния снимков носач също по ос x с помощта на ръчно колело, разположено в десния край на компаратора (12). По този начин се осъществява измерване на p_x , чиято стойност се отчита по мерния барабан (8), разположен отгоре между двата снимкови носача. Измерването на z се осъществява чрез придвижване на подвижната част от наблюдателната система (преместват се

едновременно и десният, и левият колиматор) с едно от двете ръчни колела, разположени по средата на апарата (15), и се отчита по барабана (14) над тях. Измерването на вертикалния паралакс p_z се осъществява чрез допълнително придвижване на подвижната част на наблюдателната система, с което се мести само десният колиматор. Движението става с пръстен (13), прикрепен към дясното колело на движението по z , а се отчита по мерния барабан (7), разположен след мерния барабан за хоризонталния паралакс p_x . Ръчните колела, с които се извършват движенията, могат да се застопоряват със специални винтове, а мерните барабани, от които правим отчетите, са снабдени с винтове за затягане с цел поставяне на скалите на нулев отчет. Наблюдението на всяка образна точка се извършва стереоскопично посредством бинокулярен микроскоп (9), който има увеличение 8 пъти и зрително поле 16 мм [3].

Подготовка и измерване на една стереодвойка

- поставяне на фотоснимките в носачите;
- фокусиране на наблюдателната система;
- ориентиране на фотоснимките;
- поставяне на началните стойности на мерните барабани;
- първо измерване на рамковите марки;
- измерване на образните точки от стереодвойката;
- второ измерване на рамковите марки.

Когато се работи с негативи, те се поставят с емулсията надолу, съответно лявата снимка върху левия снимков носач, а дясната върху десния, така че да се получи прав стереоефект. При позитивите е обратно – те се поставят с емулсията нагоре. Фокусира се наблюдателната система и очната база се нагласява индивидуално за всеки наблюдател. Когато е необходимо се използват и външните пръстени на очулярите, за да се нагласят излизащите от обективите лъчи (в идеалния случай са успоредни) според индивидуалното зрение на всеки оператор. Ориентирането се извършва по лявата и по дясната рамкова марка. Първо прорезите на носачите се нагласят така, че да съвпадат с центъра на рамковите марки. След което се поставя мерната марка в средата на лявата рамкова марка и се придвижва само по ос x , докато достигне до дясната рамкова марка. Ако мерната марка не е точно в средата на рамковата марка, половината грешка се отстранява с ръчното колело за z , а другата половина – с винта за ъгъл α (11 – за десния снимков носач и същия винт, разположен и в лявата снимка). Това се повтаря, докато не изчезне несъвпадението. По този начин снимките се превъртат около средните им точки на ъгъл $\alpha = \pm 5^\circ$ посредством съответните винтове, така че двете рамкови марки да лежат на една права, която е успоредна на ос x . Това се извършва и за лявата, и за дясната снимка.

За следващата стъпка е необходимо да се постави отчет $p_x = 0$. Отива се в центъра на лявата рамкова марка на дясната снимка по x и z , освобождава се паралактичният винт и мерната марка в лявата снимка се докарва да съвпадне с лявата рамкова марка на дясната снимка (ако има вертикален паралакс, се отстранява), затяга се паралактичният винт. Ако стъпките са правилно изработени, трябва да се вижда само една мерна марка и една рамкова марка. Желателно е скалите за отчитане да бъдат в начално положение, когато мерната марка съвпада с началото на координатната система на лявата фотоснимка. Поставя се отчет по $x = 100$ и отчет по $z = 100$, ако няма отместване по обектива при самото заснемане. Ако има такова отместване, се редуцира стойността за z със стойността на отместването. За да се постави отчет $x = 100$, се каца в горната рамкова марка на лявата снимка, застопорява се движението по x , след това се

отстопорява затегателният винт на колело 17 (скала за x) и се нанася на скалата отчет 100.00. След което се затяга винтът и се отстопорява движението по ос x . Същата процедура се повтаря и за ос z – стартира се от лявата рамкова марка в лявата снимка и се нанася отчет $z = 100$, като се работи със затегателния винт за z .

Измерването започва с последователно монокулярно насочване в четирите рамкови марки при нулева база на стереокомпаратора. След измерването на четирите рамкови марки се преминава към измерване на точките от стереодвойката. Наблюдението на всяка образна точка се извършва стереоскопично. След отстраняване на хоризонталния и на вертикалния паралакс с помощта на съответните ръчни колела се получава стереоскопичен ефект за наблюдаваната част от изображението. Измерванията завършват с повторно измерване на рамковите марки (контрола). Тъй като са измерени координатите на точките в лявата фотоснимка и съответните координатни разлики (паралакси), чрез изчисление се получават координатите на съответните точки в дясната фотоснимка.

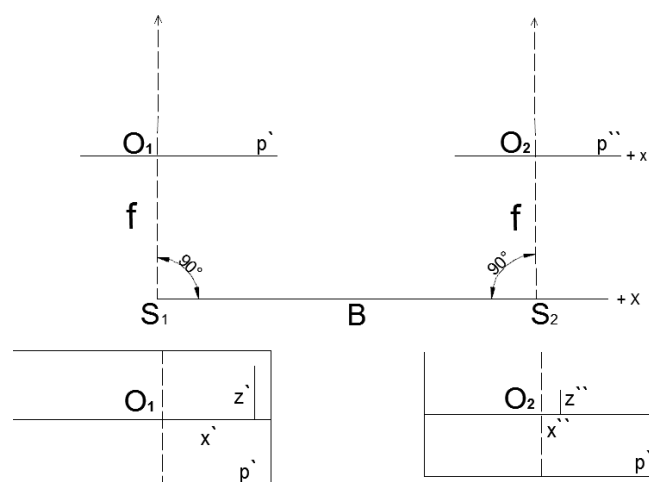
$$x_2 = x_1 - p_x \quad z_2 = z_1 - p_z \quad (5.1)$$

Основни формули за двойка земни снимки

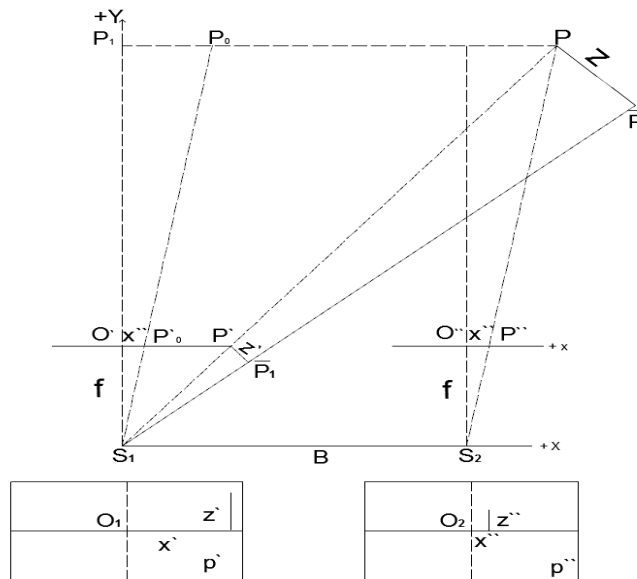
Преобразуване на измерените образни координати във фотограметрични

В практиката най-голямо приложение намират нормалната и еднакво отклонената земна стереоснимка. Те се използват комбинирано, за да се увеличи площта на заснемане от една снимачна база. Например от всяка снимачна станция се правят три фотоснимки с нормална, с ляво и с дясно отклонена снимачна ос. Така се получават три стереодвойки: нормална, ляво отклонена и дясно отклонена. Поради това са изведени формулите за изчисляване на фотограметрични координати от образни при нормален случай на заснемане и при заснемане с равноотклонени оптически оси. Останалите видове снимки: дивергентни, конвергентни, наклонени не се разглеждат, тъй като се прилагат по-рядко, а при нужда пространствените координати при тях е по-целесъобразно да се намерят с помощта на универсалните картировъчни апарати.

Нормален случай на заснемане



Фиг. 5.2. Принципна схема при нормална снимка



Фиг. 5.3. Нормална снимка

За да се изведат формулите за пространствените фотограметрични координати при нормални оптически оси, се използва фиг. 5.3, от която е видно, че: $x' - x'' = p_x$

$$1. \Delta S_1 P_0 P \sim \Delta S_1 P'_0 P'$$

Следователно $\frac{Y}{f} = \frac{B}{x' - x''}$ или

$$Y = \frac{B}{p_x} \cdot f \tag{5.2}$$

$$2. \Delta S_1 P P_1 \sim \Delta S_1 P' O' \Rightarrow \frac{X}{Y} = \frac{x'}{f}$$

$$\text{или } X = Y \frac{x'}{f}$$

$$X = \frac{B}{p_x} \cdot x' \tag{5.3}$$

$$3. \Delta S_1 \bar{P} P \sim \Delta S_1 \bar{P}_1 P' \Rightarrow \frac{Z}{Y} = \frac{z'}{f}$$

$$\text{или } Z = Y \frac{z'}{f} = \frac{B}{p_x} z'$$

$$Z = \frac{B}{p_x} \cdot z' \tag{5.4}$$

Следователно формулите за преобразуване на образни координати в пространствени фотограметрични са следните:

$$X = \frac{B}{p_x} \cdot x'$$

$$Y = \frac{B}{p_x} \cdot f \tag{5.5}$$

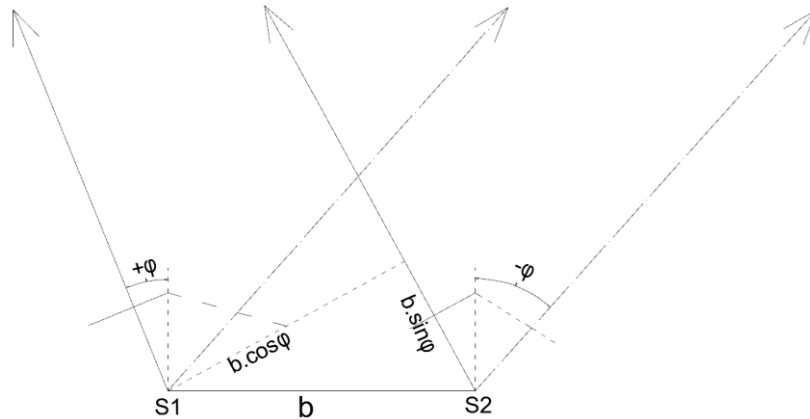
$$Z = \frac{B}{p_x} \cdot z'$$

Ако снимачните станции имат различни височини Z_1 и Z_2 , то $Z_2 = \frac{B}{p_x} z''$

Тогава: $h = Z_1 - Z_2 = \frac{B}{p_x} \cdot z' - \frac{B}{p_x} z'' = \frac{B}{p_x} (z' - z'')$ (5.6)

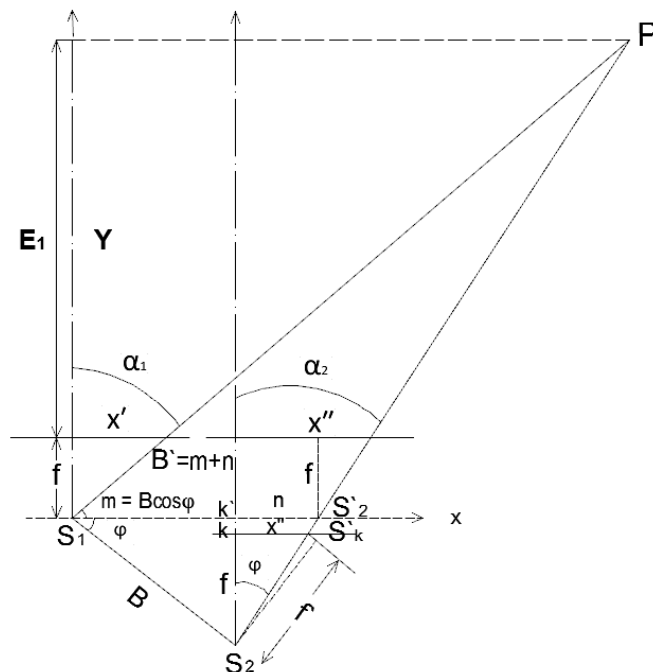
Тази разлика представлява превишението на една станция над друга. Тя е еднаква за всички точки от местността.

Снимка с равноотклонени оптически оси



Фиг. 5.4. Лева и дясно отклонена снимка

При паралелно отклонени снимки, когато отклонението на осите от нормалното положение е наляво, ъгъл φ се приема за положителен, а при отклонение надясно – за отрицателен. Проекцията на базата върху снимачната ос се нарича придвижване (преместване) и е равна на $B \sin\phi$. Нормалата на базата към оптичната ос се нарича стълб на базата и е равна на $B \cos\phi$.



Фиг. 5.5. Принципна схема при паралелно отклонена снимка

За да се намери зависимостта между пространствените и образните координати от стереодвойка снимки, те трябва да се приведат към нормалния случай. За целта се приема, че дясната снимка е придвижвана успоредно нагоре по продължението на

снимачния лъч S_2P , докато фиктивната станция S_2 попадне върху ос x , прекарана през първата станция. По този начин се получава нормална снимка със същото фокусно разстояние, но с друга база $S_1S'_2$, тъй като правата $S_1S'_2$ е перпендикулярна на лявата снимачна ос.

От фиг. 5.5 може да се изрази:

$$S_1S'_2 = B' = S_1k' + k'S'_2 = m + n \quad (5.7)$$

От $\Delta S_1S_2k'$ – правоъгълен

$$\Rightarrow m = B \cos \varphi \quad (5.8)$$

От $\Delta S_2k'S'_2 \sim \Delta S_2kS'_2$ – правоъгълни

$$\frac{k'S'_2}{k'S_2} = \frac{x''}{f} \Rightarrow k'S'_2 = k'S_2 \frac{x''}{f} \quad (5.9)$$

$$k'S_2 = B \sin \varphi \Rightarrow k'S'_2 = B \sin \varphi \frac{x''}{f} \quad (5.10)$$

$$\Rightarrow B' = m + n = B \cos \varphi + B \sin \varphi \frac{x''}{f} \quad (5.11)$$

$$\text{Изнасяме } \frac{B}{f} \text{ пред скоби и изразът добива вида } B' = \frac{B}{f} (f \cos \varphi + x'' \sin \varphi). \quad (5.12)$$

Изразът $(f \cos \varphi + x'' \sin \varphi)$ се нарича променливо образно разстояние и се бележи с f' .

Ако се замести новополучената база във формулите за нормална снимка (1), за пространствените координати с паралелно отклонени оси ще се получат формулите:

$$X = \frac{B}{p_{x_i} \cdot f} (f \cos \varphi + x'' \sin \varphi) x_i$$

$$Y = \frac{B}{p_{x_i}} (f \cos \varphi + x'' \sin \varphi) \quad (5.13)$$

$$Z = \frac{B}{p_{x_i} \cdot f} (f \cos \varphi + x'' \sin \varphi) z_i$$

Стойността на променливото фокусно разстояние зависи от знака на абцисата във втората снимка. Когато отклонението на снимачните лъчи е надясно, променливото фокусно разстояние има вида $f' = f \cos \varphi - x'' \sin \varphi$, защото ъгъл φ е с отрицателен знак [9].

**Измерване на образни координати и паралакси със стереокомпаратор.
Изчисляване на фотограметричните координати на точките и генериране на план.**

Практическа част

За реализиране на упражнението се използват земни снимки, получени при заснемане на кариера „Челюстница“ за добив на облицовъчни камъни. Снимките с номера 21 и 22 са направени с фотограметрична камера с хоризонтални снимачни оси – Фототеодолит 19/1318. Тази камера е предназначена за извършване на фотограметрични снимки за топографски цели, но е подходяща и при фотограметрично изследване на деформации, за фотограметрично наблюдение на свлачищни процеси, за аизработване

на фасадни планове, за фотограметрично определяне на обеми и др. Фототеодолитът се състои от камера и ориентиращо приспособление. Фотокамерата му е с обектив с фокусно разстояние 195,02 mm с постоянен относителен отвор 1:25, снабден с жълт светофилтър. Обективът е с полезни ъгли на обхвата в хоризонталната равнина 52° и във вертикалната равнина 38° . Обективът се измества вертикално по специална релса на 30 mm нагоре и на 45 mm надолу от централното му положение. Това позволява да се увеличи вертикалният обхват на фотокамерата с $+30^\circ$ нагоре и с 33° надолу. Изместването на обектива е стъпаловидно през 5 mm. Фокалната равнина на фотокамерата е материализирана с метална рамка с размери на срещуположните страни 13 и 18 cm, което позволява използването на стъклени плаки с такъв размер, като полезният формат на кадъра е 12 cm на 16 cm. Вътре във фотокамерата е поставено устройство за номериране на снимките, както и указател за вида на снимката и за станцията, от която е направена. Основните части на ориентиращото устройство са зрителна тръба и стъклен хоризонтален кръг, награвен през 10° .

В упражнението се използват снимки с равноотклонени оптически оси на ъгъл $\varphi = -20^\circ.5$. При този вид стереоснимка двете снимачни оси са хоризонтални и успоредни помежду си и сключват с перпендикулярите към снимачната база еднакви ъгли. Когато снимачните оси са отклонени вляво от перпендикулярите, гледано от снимачната база към обекта, ъгълът на отклонение е положителен. Когато те са отклонени надясно, ъгълът на отклонение е отрицателен.

Измерената база (B) между двете станции на заснемане е равна на 23,495 m.

Дадени величини:

f	195.02 mm
B	23.495 m
φ	$-20^\circ.5$

Величини, които се измерват: образните координати **x**, **z** и хоризонталният паралакс **p_x** на три точки от всяко стъпало на кариерата. В случая кариерата има 15 стъпала, следователно измерените точки са 45. Точките се избират в началото, средата и края на всяко стъпало в зони, в които няма обрушване. За да се ориентира операторът, отдясно над зъбното колело за движение на вертикалния паралакс има специална поставка, на която се поставя снимка (позитив).

Таблица 5.1. Измерени образни координати

№ на точка	x_i	z_i	p_{x_i}
1	109.630	80.790	27.718
2	132.800	81.070	26.057
3	168.260	81.510	23.666
4	166.300	80.180	24.021
5	134.040	79.720	26.221
6	106.460	79.340	28.236
7	103.620	78.000	28.679
8	132.640	78.210	26.623
9	165.080	78.760	24.445
10	169.660	77.600	24.321
11	132.650	76.950	26.837
12	100.940	76.570	29.094

13	96.550	75.210	29.568
14	133.040	75.530	26.978
15	177.130	76.460	23.977
16	176.150	74.980	24.320
17	133.320	74.180	27.138
18	91.570	73.770	30.187
19	89.410	72.310	30.572
20	119.630	72.510	28.323
21	172.450	73.390	24.753
22	169.330	71.840	25.224
23	119.890	71.000	28.545
24	85.900	70.760	31.067
25	79.540	69.090	31.893
26	119.920	69.500	28.776
27	174.440	70.430	25.184
28	171.690	68.750	25.708
29	117.930	67.930	29.256
30	77.000	67.480	32.379
31	73.960	65.870	32.897
32	117.020	66.270	29.624
33	171.770	67.200	25.939
34	166.920	65.440	26.517
35	121.350	64.640	29.592
36	78.150	64.310	32.786
37	72.06	62.54	33.638
38	125.8	63.06	29.646
39	167.12	64.03	26.903
40	164.67	62.41	27.243
41	121.44	61.43	30.146
42	69.53	60.84	34.105
43	77.32	57.73	33.833
44	120.42	58.34	30.555
45	163.73	59.28	27.682

След измерването на образните координатаи на подробните точки се извършва привеждане на измерените координати към координатите на апарата. Тъй като снимките са заснети при положение различно от нулевото, т.е. имаме изместване на обектива на -30 mm, трябва от образните координати да се извадят координатите на главната точка на снимката. От образната координата x за всяка точка се изважда 100, а от образната координата z се изважда 70.

Таблица 5.2. Редуцирани образни координати

№ на точка	x_i	z_i	P_{x_i}
1	9.63	10.79	27.718
2	32.8	11.07	26.057
3	68.26	11.51	23.666

4	66.3	10.18	24.021
5	34.04	9.72	26.221
6	6.46	9.34	28.236
7	3.62	8	28.679
8	32.64	8.21	26.623
9	65.08	8.76	24.445
10	69.66	7.6	24.321
11	32.65	6.95	26.837
12	0.94	6.57	29.094
13	-3.45	5.21	29.568
14	33.04	5.53	26.978
15	77.13	6.46	23.977
16	76.15	4.98	24.32
17	33.32	4.18	27.138
18	-8.43	3.77	30.187
19	-10.59	2.31	30.572
20	19.63	2.51	28.323
21	72.45	3.39	24.753
22	69.33	1.84	25.224
23	19.89	1	28.545
24	-14.1	0.76	31.067
25	-20.46	-0.91	31.893
26	19.92	-0.5	28.776
27	74.44	0.43	25.184
28	71.69	-1.25	25.708
29	17.93	-2.07	29.256
30	-23	-2.52	32.379
31	-26.04	-4.13	32.897
32	17.02	-3.73	29.624
33	71.77	-2.8	25.939
34	66.92	-4.56	26.517
35	21.35	-5.36	29.592
36	-21.85	-5.69	32.786
37	-27.94	-7.46	33.638
38	25.8	-6.94	29.646
39	67.12	-5.97	26.903
40	64.67	-7.59	27.243
41	21.44	-8.57	30.146
42	-30.47	-9.16	34.105
43	-22.68	-12.27	33.833
44	20.42	-11.66	30.555
45	63.73	-10.72	27.682

За получаване на пространствените фотограметрични координати при снимки с равноотклонени оптически оси се използват формули (3.7), в които x_i , z_i и p_{x_i} са редуцираните образни координати.

$$X = \frac{B}{p_{x_i}} (f \cos \varphi + x_i'' \sin \varphi) x_i$$

$$Y = \frac{B}{p_{x_i}} (f \cos \varphi + x_i'' \sin \varphi)$$

$$Z = \frac{B}{p_{x_i}} (f \cos \varphi + x_i'' \sin \varphi) z_i$$

Абцисата x_i'' за всяка измерена точка се изчислява от формула 1.1.

$$p_{x_i} = x_i' - x_i'',$$

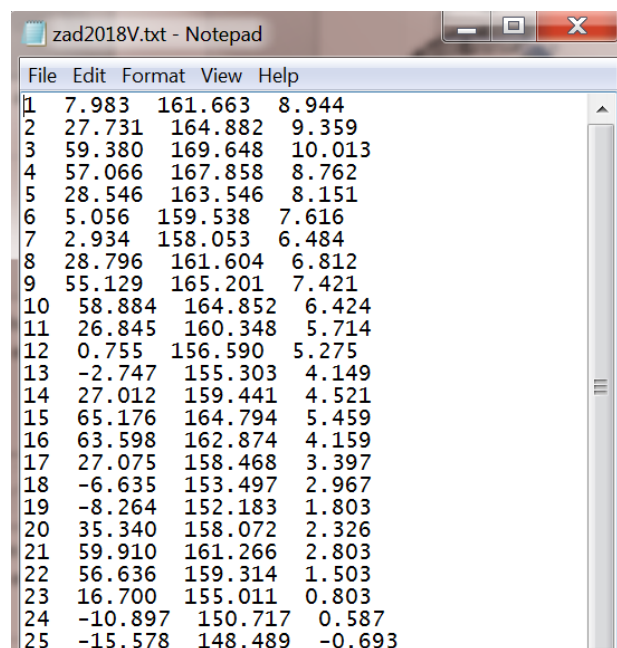
където p_{x_i} и x_i' са редуцирани (от таблица 5.2.).

Таблица 5.3. Пространствени фотограметрични координати

№ на точка	X	Y	Z
1	7.983	161.663	8.944
2	27.731	164.882	9.359
3	59.380	169.648	10.013
4	57.066	167.858	8.762
5	28.546	163.546	8.151
6	5.289	159.668	7.647
7	2.934	158.053	6.484
8	27.043	161.580	6.802
9	55.211	165.446	7.432
10	58.884	164.852	6.424
11	26.845	160.348	5.714
12	0.755	156.590	5.275
13	-2.747	155.303	4.149
14	27.012	159.441	4.521
15	65.176	164.794	5.459
16	63.598	162.874	4.159
17	27.075	158.468	3.397
18	-6.635	153.497	2.967
19	-8.264	152.183	1.803
20	15.677	155.743	2.004
21	59.910	161.266	2.803
22	56.636	159.314	1.503
23	15.760	154.522	0.792
24	-10.897	150.717	0.587
25	-15.578	148.489	-0.693
26	15.662	153.334	-0.393
27	60.327	158.046	0.348
28	57.262	155.772	-0.998
29	13.924	151.446	-1.607
30	-17.331	146.955	-1.899
31	-19.421	145.445	-3.080

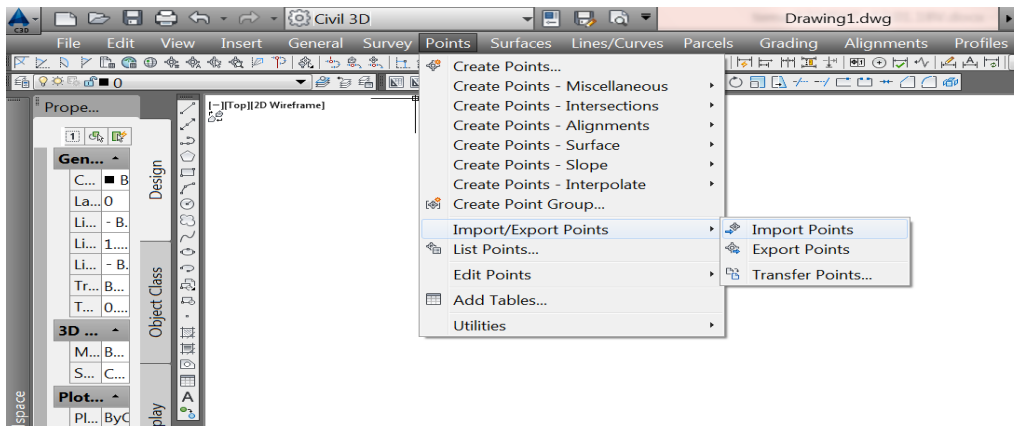
32	13.081	149.885	-2.867
33	56.831	154.428	-2.217
34	52.358	152.584	-3.568
35	16.307	148.951	-4.094
36	-16.242	144.962	-4.229
37	-20.462	142.825	-5.463
38	19.524	147.577	-5.252
39	51.779	150.446	-4.605
40	49.519	149.330	-5.812
41	16.087	146.328	-6.430
42	-22.112	141.523	-6.647
43	-16.385	140.889	-8.864
44	15.153	144.717	-8.652
45	48.146	147.332	-8.099

След като се изчислят фотограметричните координати, може да се пристъпи към изчертаване на плана на работните стъпала. В настоящия пример изчертаването на плана на работните стъпала е представено в работната среда на AutoCAD Civil 3D 2014. За да не се въвеждат точките една по една, се подготвя файл с номерата на точките и фотограметричните координати (X,Y и Z) в Microsoft Excel или Notepad, който се експортира. Част от файла в Notepad е представен на фиг. 5.6.

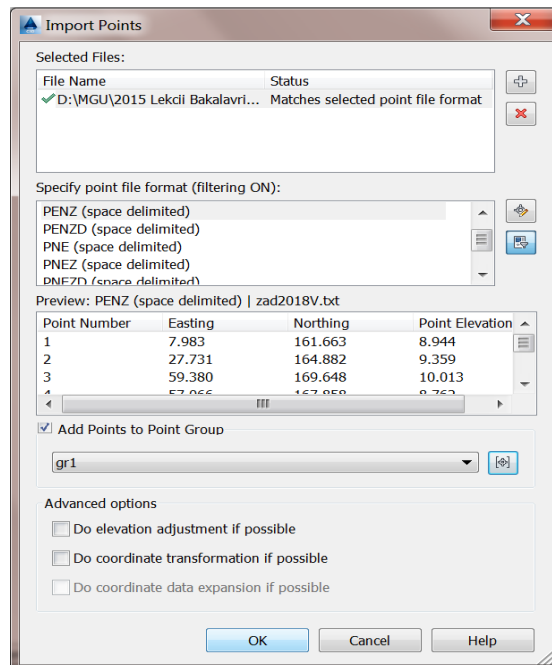


Фиг. 5.6. Входен файл с фотограметричните координати на част от измерените точки

В работното поле на програмата Autocad се избира панелът Points, а след това Import Points.



Фиг. 5.7. Изглед от работното поле на програмата AutoCAD Civil 3D 2014

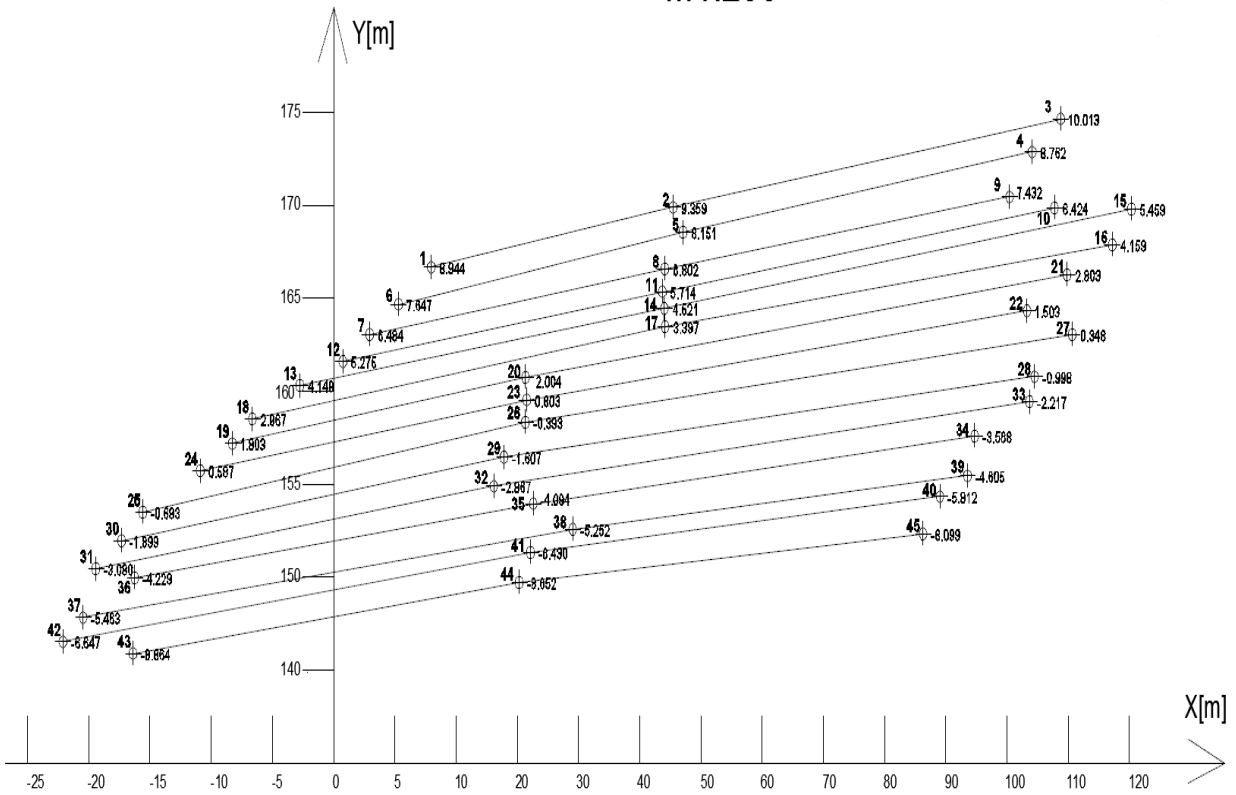


Фиг. 5.8. Диалогов панел с настройки, свързани с визуализация на точките

В диалоговия прозорец се въвежда входният файл с фотограметричните координати на всички измерени точки. Избира се специфичният формат на файла PENZ space delimited (Point Number, Easting, Northing, Point Elevation), тъй като фотограметричната координатна система е математическа. Избира се ок и в работното поле на AutoCAD Civil 3D 2014 се появяват всички точки с надписи за номерата им и с техните коти. След което, използвайки различни команди, като например Create Points-Miscellaneous от панела Points, те се свързват. Home → Line → Curves → Create Line → Create Line by Point # Range – свързва всички точки автоматично. Изчертава се координатната система, поставят се надписи и се оформя планът [27].

План на работните стъпала на кариера "Челюстница"

M1:250



Фиг. 5.9. План на работните стъпала на кариера „Челюстница”

ШЕСТА ГЛАВА

Извършване на земна фотограметрична снимка. Генериране на числен модел с текстура

Студентите се запознават с процесите, свързани с извършване на фотограметрично заснемане чрез цифрови апарати и/или мобилни устройства и моделиране на обекти. Представен е един от комерсиалните софтуери за обработка на изображения, базиран на принципа Structure from motion – 3DF Zephyr. Студентите извършват последователна обработка, която включва всички етапи от въвеждането на данните до създаването на мащабиран числен/цифров модел с текстура. Представени са последователни етапи от обработката, включващи основни функции и използвани параметри. Упражнението помага на студентите да придобият практически опит при заснемането и създаването на триизмерни числени модели на обекти, които намират приложение в различни направления от живота. Например археология, архитектура, геология, инженерни науки, пътнотранспортни произшествия и други. Освен това студентите създават и видео (анимация) на генерирания модел, който след това се представя (в интернет пространството, например в Youtube) и се оценява.

Извършване на земна фотограметрична снимка

В настоящото упражнение студентите за първи път се запознават със спецификата на фотограметрично заснемане (с цифрова камера или мобилно устройство), поради това е уместно да се избере обект с компактна форма, който да може да се заснеме с до 50 изображения. Например образците от различните находища, разположени в двора на университета, къщичката за обмен на учебни материали и книги или някакъв предмет от бита по техен избор.

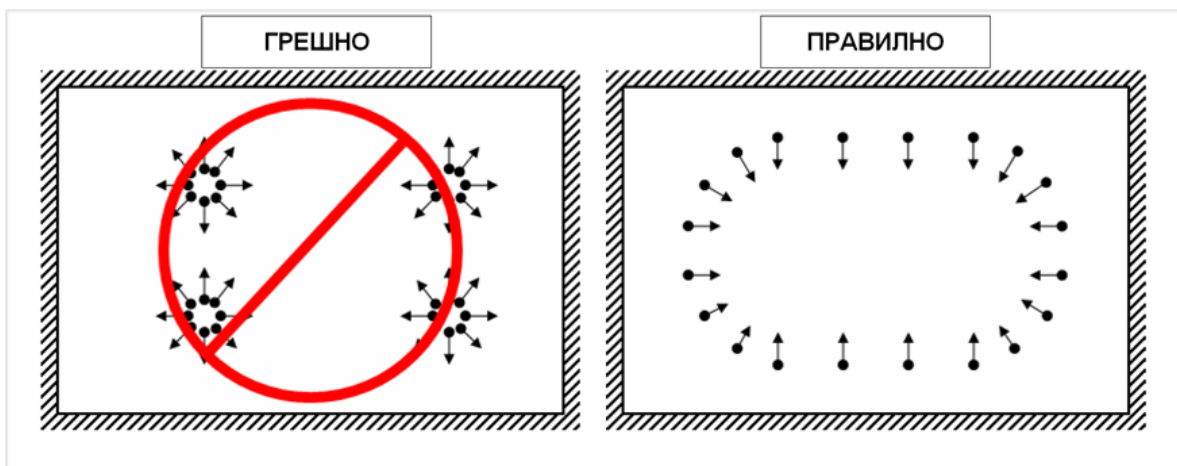
Начини на заснемане

За създаване на точни и детайлни триизмерни модели е нужна добре проектирана мрежа от камери, което изисква операторът да проектира подходящо разположение на камерите и оптимален брой заснети изображения. Това е приложимо и се изисква при земната блискообхватна фотограметрия. Добре конфигурираната мрежа от камери осигурява пълно покритие на обекта и висока точност на създадения триизмерен модел. Формата, размерите и големината на заснемания обект определят броя на използваните снимки и ъглите на заснемане. При изготвянето на проекта за заснемане е необходимо да се планира положението на камерите спрямо обекта, за да се получи оптимална конфигурация на заснемането. Това ще гарантира получаването на пълен триизмерен модел на обекта/сградата, без пропуски в модела [15]. Има някои основни правила и принципи, които трябва да се следват, за да се получи качествен и детайлен триизмерен модел. Преди всичко цифровата камера/мобилен телефон, която се използва, трябва да е със сравнително висока разделителна способност (5 MPix и нагоре), защото тя влияе върху качеството на резултата от обработката. Пътят на камерата трябва да е успореден на повърхността на обекта по време на заснемането, като се избягват големи наклони на камерата. Припокриването между снимките от всяка стереодвойка трябва да бъде по-голямо от средното припокриване, примерно 80%, което ще осигури по-голям брой свързващи точки. Това се отнася и за обекти, които имат ясно изразени отделни повърхнини, като например ъглите на сграда, за да се гарантира свързването на отделните фасади. Заснемането по-близо до обекта подобрява качеството на реконструираната повърхност и текстура. По-добрият вариант е да бъдат направени повече снимки от необходимото, отколкото те да се окажат недостатъчно и да не се получи пълно покриване на обекта. Изображенията, които не са необходими, може да

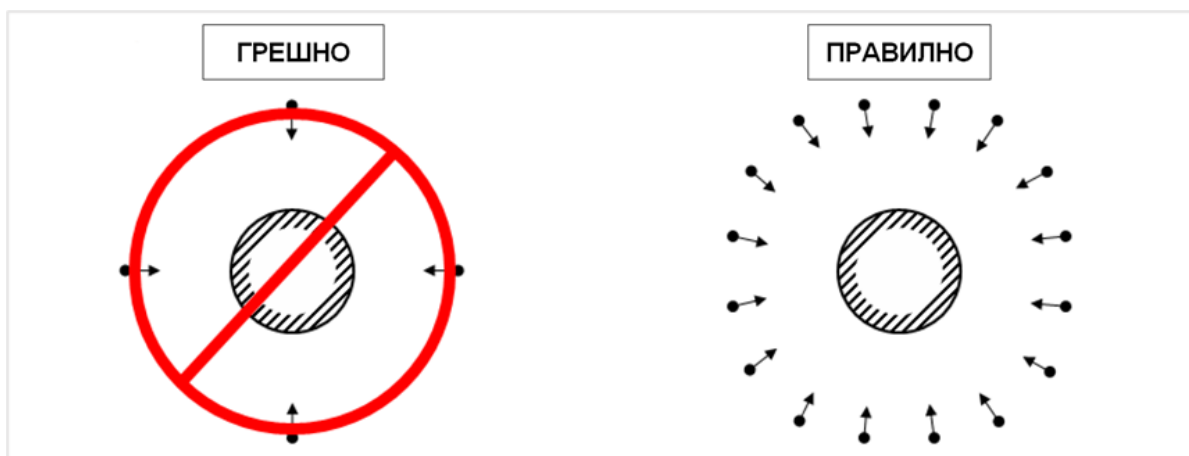
бъдат изключени по време на обработка. На фигури 6.1, 6.2 и 6.3 са показани основни начини за заснемане и разположение на камерата [18].



Фиг. 6.1. Разположение на камерата при заснемане на фасада



Фиг. 6.2. Разположение на камерата при интериорно заснемане



Фиг. 6.3. Разположение на камерата при заснемане на изолиран обект [18]

Съвременните фотограметрични методи за триизмерна реконструкция на обекти дават по-голяма свобода при избора на положението на камерата спрямо заснемания обект. Такъв е методът „структура от движение“ (Structure from motion – SfM), при който не е необходимо да се знаят елементите на външното ориентиране на камерите. С

помощта на измерени опорни точки (GCP) и/или измерени хоризонтални и вертикални разстояния върху обекта може да се генерира точен модел. Този метод е приложим за хоризонтални, вертикални и наклонени снимки, както и за снимки, заснети от различни камери и на различно разстояние.

Правила, които трябва да се спазват при заснемането:

- Добре е обектът на изследване да бъде в центъра на кадъра;
- Да се избягват директни източници на светлина, които могат да хвърлят сенки и да скриват части от повърхността;
- Да се избягват високи стойности за ISO, тъй като шумът може да повлияе неблагоприятно;
- Когато е възможно, да се използват високи стойности на блендата ($f/8 - f/16$), тъй като това помага да се постигне голяма дълбочина на рязкост в снимките;
- Да не се използват некачествени снимки, например такива, в които се наблюдава размазване. Уместно е да се използват качествена камера и добро осветление. При нужда да се използва статив;
- Да се осигури голямо припокриване между отделните снимки (70–80%). Всяка част от сцената трябва да присъства поне в три различни кадъра, заснети от различни позиции. Това е минимално изискване – използването на повече снимки обикновено води до по-добри крайни резултати;
- Да се ограничат ъглите между снимките. Когато операторът се движи около обекта, да се опита ъгълът между последователните снимки да е възможно най-малък;
- Да се снимат сцени с много детайли и текстура. Визуалната текстура в снимките е това, което ги „свързва“. 3DF Zephyr не работи добре с еднородни или силно повтарящи се текстури и изобщо не работи със спекуларни (лъскави) или прозрачни обекти. В някои случаи има възможност това да се избегне, като се маскират определени зони от изображенията;
- Не се опитвайте да коригирате дисторзията на обектива, тъй като тази грешка е важна по време на първоначалния етап на Structure from Motion;
- 3DF Zephyr може да работи с различни камери или обективи в един и същ набор от данни, но по-добри резултати се постигат, ако се използва една и съща камера с еднакво фокусно разстояние;
- Колкото по-голям е броят на снимките, толкова по-добри ще бъдат резултатите – наличието на повече информация е в помощ при софтуерната обработка [26].

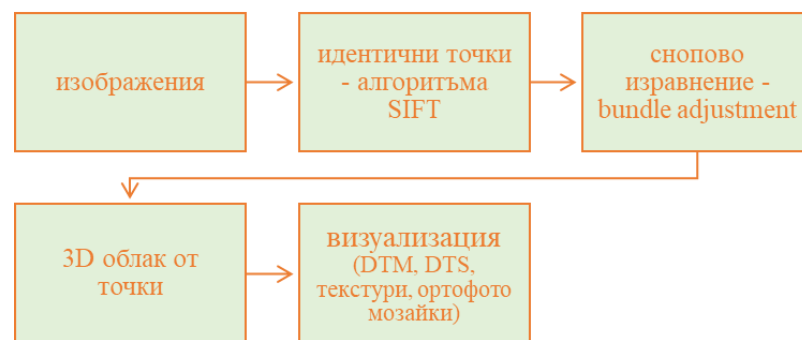
Генериране на числен модел с текстура

3DFZephyr е самостоятелен софтуерен продукт, който извършва фотограметрична обработка на цифрови изображения и генерира 3D пространствени данни. Разработен е от италианската фирма 3DFLOW и се предлага на пазара от януари 2014 г., като непрекъснато се актуализира. От 2017 г. на разположението на потребителите е и безплатна възможност за обработка на данни, включващи до 50 изображения. 3DF Zephyr е един от първите фотограметрични софтуери, пригодени както за специалисти, така и за любители, и е едно добро начало за обучаващи се [21].

Софтуерът се предлага в удобен за потребителя интерфейс. Той е изграден върху авангардна технология за автоматична реконструкция на 3D модели и предоставя пълен софтуерен пакет за фотограметрия, като включва и много инструменти за последваща обработка, измервания и създаване на съдържание. 3DF Zephyr автоматизира целия процес на 3D реконструкция – от зареждането на изображенията до създаването на финалния модел. Софтуерът поддържа широк спектър от файлови формати за импорт и експорт и предлага напреднали опции за текстуриране, което подобрява визуалния реализъм на моделите. Въпреки автоматизацията програмата разполага и с инструменти за ръчно редактиране и коригиране на моделите, което разширява възможностите на потребителя [26].

3DF Zephyr прилага технология за тримерна реконструкция, базирана на метода Structure from Motion (SfM). Той се базира на използването на множество припокриващи се изображения, заснети от различни позиции в пространството с цел създаването на цялостен триизмерен модел на изследвания обект. Изображенията не е задължително да са разположени в ивици; те могат да бъдат заснети при свободна конфигурация, при условие че между тях е осигурено достатъчно застъпване, така че точки от едно изображение да присъстват и в други. Това позволява едновременно да се определи геометрията на сцената, пространственото положение на камерата и нейната ориентация.

Методът Structure from Motion следва определен ред на обработка.



Фиг. 6.4. Етапи при фотограметрична обработка чрез метода „структура от движение“

Първият етап включва откриването на идентични точки във всички припокриващи се изображения, като се използва алгоритъмът SIFT. Този алгоритъм позволява да се свързват отделните изображения или характерни точки от тях, без да е необходимо снимките да са с един и същ мащаб, т.е. те могат да бъдат с различна резолюция. След което се извършва така нареченото снопово изравнение (bundle adjustment) – този алгоритъм се базира на многократни итеративни процедури. На този етап се изчисляват и параметрите на вътрешното и външното ориентиране, автоматично извлечени от припокриващите се изображения. Освен това се създава и рехав облак от точки (получават се триизмерните координати на обекта в произволна координатна система, базирани на хомоложните точки, открити в заснетите изображения). Благодарение на получената вече геометрия на обекта се пристъпва към създаване на пътен (гъст) облак от точки, който включва изчисляване на съответна 3D точка за почти всеки пиксел на изображението. След създаването на облак от точки могат да се генерират триизмерни текстурирани повърхнини, орторектифицирани изображения и други [1].

Сред предимствата на 3DF Zephyr са интуитивният интерфейс, високото качество на генерираните модели и широката гама от функционалности. Като недостатъци могат да се посочат относително високата цена за пълната версия и изисквания към хардуера за оптимална работа. Поради наличието на различни версии, включително безплатна, софтуерът може да бъде използван от студентите в учебния процес за създаване на триизмерни текстурирани модели на обекти, заснети с цифров фотоапарат или мобилно устройство.

От получените модели може да се извлича както качествена, така и количествена информация, приложима в различни приложни области. Например за документиране на културното наследство, за решаването на задачи в геодезията, промишленото строителство и маркшайдерството, геологията, ГИС, екологията, за създаването на визуални ефекти и други.

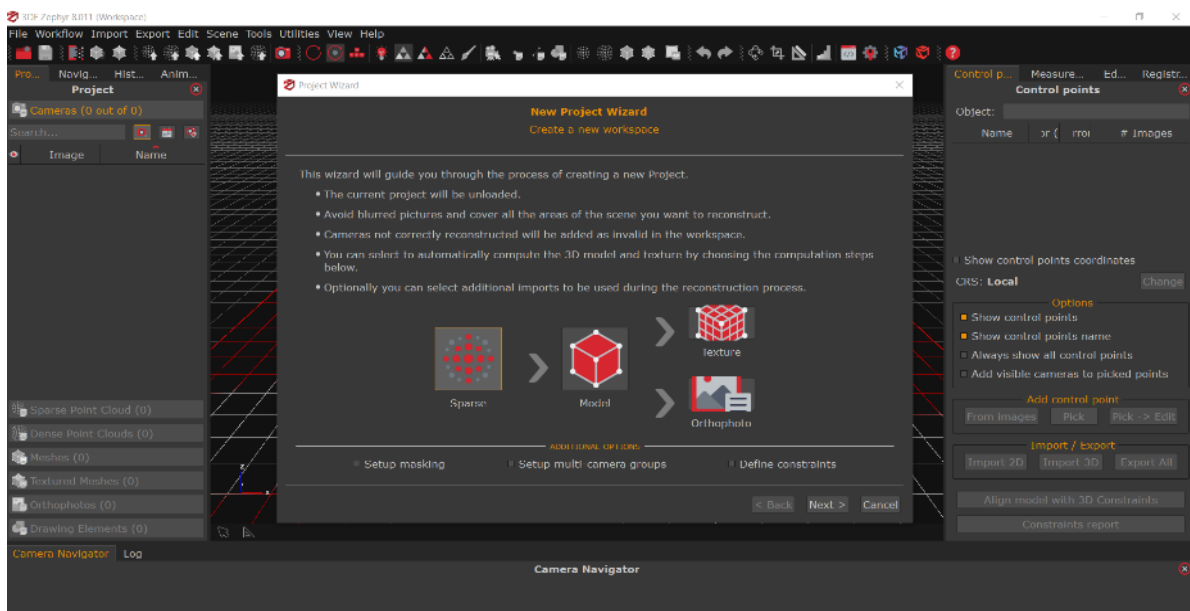
Работни етапи:

В софтуера 3DF Zephyr могат предварително да бъдат зададени всички етапи на обработка, както и съответните параметри, след което процесите, свързани с генерирането на триизмерния модел, се изпълняват автоматично.

Етапите на обработка и настройките на параметрите са представени последователно, както следва:

1. Създаване на проект

След стартиране на софтуера се избира панела Workflow → New Project. На екрана се появява работен прозорец, представен на фиг. 6.5.



Фиг. 6.5. Работен прозорец

Централната част на прозореца на програмата служи за визуализиране на данните, а панелът вляво (с обозначена като Project, Navigato, History, Animator) се използва за преглед и управление на отделните етапи от създаването на модела, за контрол върху заредените данни и начина им на визуализация, както и за създаване на анимация.

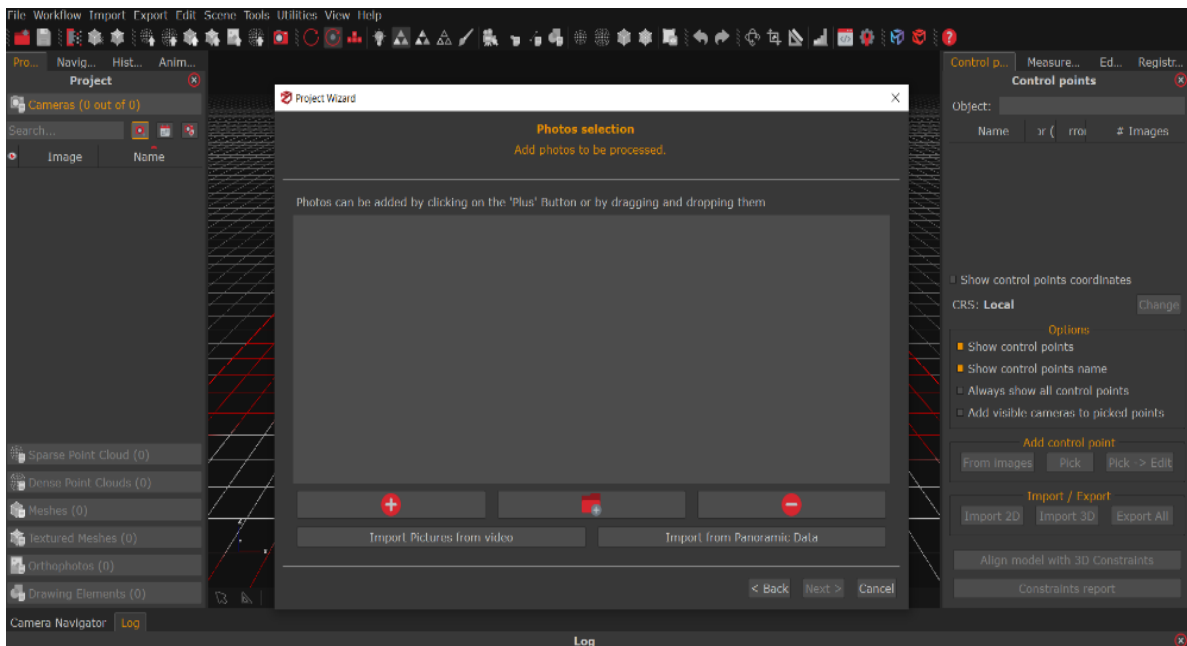
След което се дефинират стъпките за създаване на текстуриран модел, в случая

Sparse → Model → Texture, като накрая се избира Next.



Втората стъпка от обработката включва въвеждане (импортиране) на снимков материал.


2. Въвеждане (импортиране) на снимков материал (Add images) и оценка на изображенията

За да се стартира процесът на фотограметрична обработка, е необходимо да се изберат снимките, които ще се използват за триизмерно моделиране на даден обект. След което те се въвеждат в програмния софтуер.



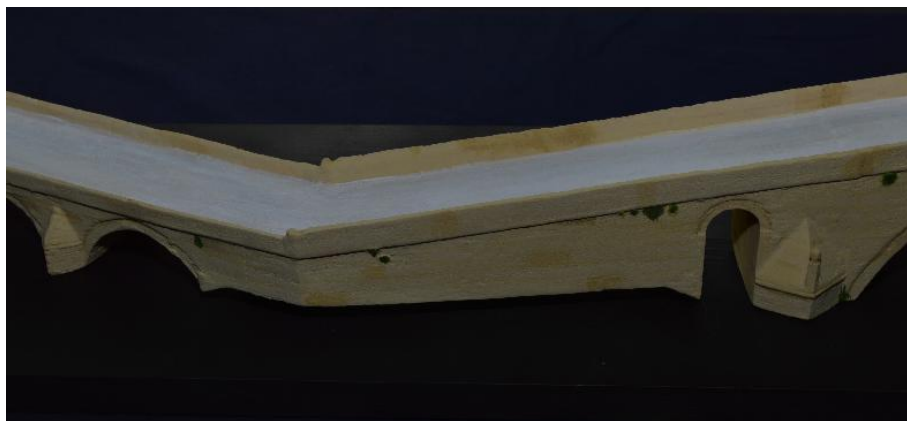
Фиг. 6.6. Въвеждане на снимковия материал

В диалоговия прозорец Photos Selection се избират всички снимки, които ще участват в обработката, чрез съответния бутон  или от папка , в която са съхранени. След това се натиска Next. Избраните снимки се показват в панела Photos selection на работното пространство (Workspace).

Ако случайно са заредени снимки, които не трябва да участват в обработката, те могат лесно да бъдат премахнати. В работното пространство се маркират снимките, които трябва да бъдат изключени, след което се щраква с десния бутон върху тях и се избира съответната команда за премахване . Избраните снимки се изтриват от проекта и вече не участват в обработката.

Забележка

3DF Zephyr работи със следните формати на изображения: JPG/JPEG, PNG, TIFF/TIF, BMP, както и със сурови файлови формати, като NEF, CR2/CR3, ARW2, DNG и други. Снимките във всеки друг формат няма да се инициализират в диалоговия прозорец „Добавяне на снимки“. За да се работи с такива изображения, те трябва да бъдат конвертирани в един от поддържаните формати от софтуера. Под текста е показано едно примерно изображение, получено при заснемане на макет на Гърбавия мост.



Фиг. 6.7. Примерно изображение, получено от заснемане на макет на Гърбавия мост

Image Quality Index (Проверка на качеството на изображенията)

Некачествените изображения (неясни или размазани) могат да повлияят негативно върху качеството на модела. За да бъдат премахнати, се използва функцията за автоматична оценка на качеството им. На база на стойността на параметъра за качество се определя кои снимки да се отстранят.

Първо от менюто Utilities се избира Images → Image Quality Index Utility. След което в панела Image Quality Index Utility се приплъзват всички снимки и софтуерът започва да оценява автоматично всяка снимка. След като процесът по анализ на изображенията приключи, на екрана в колонката „качество“ ще се инициализират различни стойности, показващи качеството на изображенията. Тази операция прави оценка кои области в изображението са добре фокусирани и потенциално с висока плътност на ключови точки. По-високите стойности са индикация за по-високо качество на изображенията. Трябва да се има предвид обаче, че стойности на снимки с висок резултат не са индикация, че снимката е заснета правилно. Но изображения с ниско качество трябва да се премахнат, при условие че останалите покриват цялата сцена, която трябва да бъде моделирана. За да се изтрие снимка, се използва опцията Delete, след като е била маркирана в панела Cameras.

Индексът за качество е един относителен инструмент и той трябва да се използва само за сравняване на изображения в един и същ набор от данни. Например стойност 0,6 в един набор от данни може да е много по-лош индикатор от стойност 0,2 в друг набор от данни. Всички оценки са относителни и това не означава, че ниската оценка е винаги индикатор за некачествено изображение.

Когато се обработва малък набор от изображения, този инструмент не е толкова полезен, тъй като изображенията може да се прегледат и тези, които са размазани, да се изтрият. Но когато се работи с голям набор от данни, този инструмент е полезен при идентифициране на евентуални проблеми.

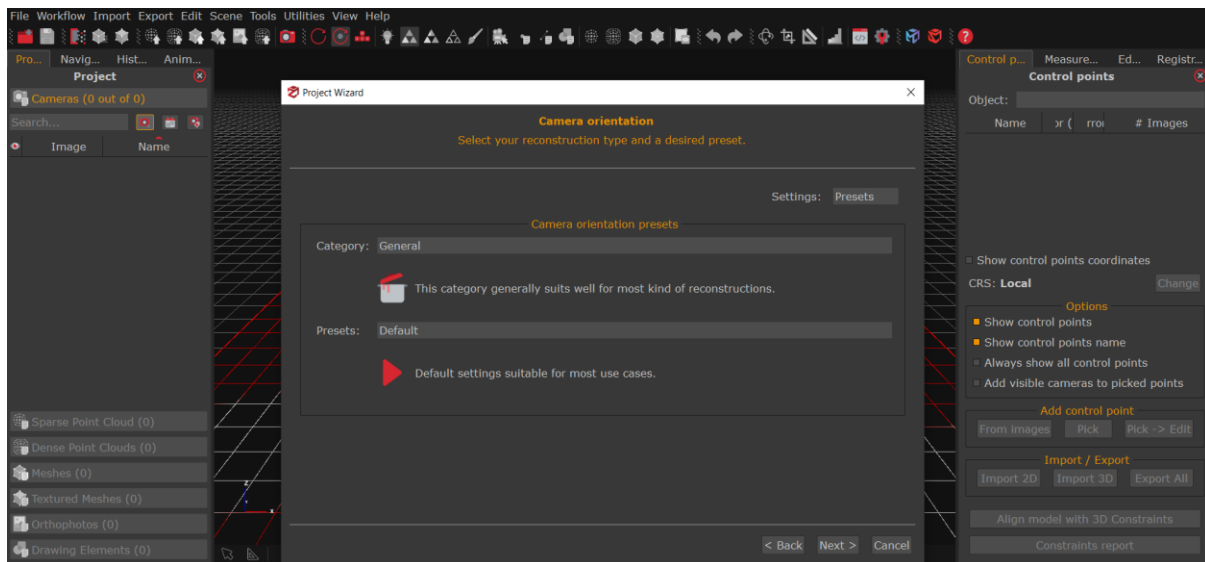
Прилагане на маски (Mask photo)

Когато се обработват земни снимки, е препоръчително да се маскират всички неподходящи елементи в снимките (различни фонове или обекти, които не са на фокус, и други). Маската представлява контур, ограничаващ определена област в изображението. Тя се дефинира като специфичен избор от едно (или повече) изображения, който позволява да се игнорира някаква част от изображението.

Програмата позволява прилагане на маски автоматично, ръчно или чрез инструмента 3DF Masquerade (включен във всички версии на 3DF Zephyr). За начинаещи не се препоръчва прилагане на маски, тъй като може да се стигне до изключване на някои изображения и създаване на модел с дупки. След като се овладее процесът на заснемане, може да се изпробва прилагането на маски. В описанието на софтуера подробно са изложени стъпките за обработка.

3. Генериране на рехав облак от точки

Следващата стъпка е свързана с изчисляване позицията и ориентацията на всяка снимка, заредена в 3DF Zephyr, в резултат на което се получава рехав облак от точки. След като се избере Next, се появява прозорецът Camera Calibration. Чрез тази опция автоматично се извличат параметрите на вътрешно ориентиране (извършва се автоматично калибриране), като има възможност за модифициране на параметрите или за избор на нови.



Фиг. 6.8. Настройки за генериране на рехав облак от точки

Операторът трябва да дефинира категорията в зависимост от вида на заснетия обект и да избере подходящите настройки според точността и нивото на качество, което се изисква, за да се генерира рехав облак от точки.

За да се реализира процесът по създаване на рехав облак от точки, се избират следните настройки:

3.1. Category (Избор на категория)

Софтуерът предлага следните категории:

➤ **General (Общи настройки)**

Категорията се използва в повечето стандартни случаи и се препоръчва при липса на яснота относно избора на конкретна категория. Подходяща е за общи сценарии на триизмерна реконструкция.

➤ **Aerial – Nadiral Images (Аерофотоснимки – надирни изображения)**

Категорията се прилага при реконструкция на сцени от въздушни изображения.

Типичен пример са данни, заснети с безпилотни летателни системи (UAS), използвани за картографиране и моделиране на терени;

- **Urban (Градска среда)**
Препоръчва се при обработка на изображения, заснети в градска среда или заснети от различни разстояния спрямо обекта или сцената, както и при комбинирани на различни типове изображения в един проект;
- **Human Body (Човешко тяло)**
Категорията е предназначена за сканиране и триизмерна реконструкция на части от човешкото тяло, включително и в по-едър план или тяло в цял ръст.
- **Surface Scan (Сканиране на повърхности)**
Използва се за реконструкция на равнинни или слабо нагънати релефни форми, заснети от близко разстояние;
- **Vertical Structure (Вертикални структури)**
Категорията е подходяща за реконструкция на тънки вертикални обекти, като базови станции, телекомуникационни кули и други подобни конструкции, заснети с БЛС.

3.2. Presets (Предварителни настройки)

- **Fast (Бърз режим):**
Използва по-ниска пространствена разделителна способност, по-малък брой итерации при сноповото изравнение (bundle adjustment) и ограничен брой ключови точки. Този режим осигурява по-бърза обработка в сравнение със стандартните настройки;
- **Default (Стандартен режим):**
Стандартни настройки, подходящи за общи сценарии на триизмерна реконструкция;
- **Deep (Разширен режим):**
Характеризира се с увеличен брой итерации при сноповото изравнение, по-голям брой ключови точки и повече съвпадения между камерите. В сравнение със стандартния режим обработката е по-бавна. Този режим се препоръчва в случаите, когато при използване на Default режим се наблюдава загуба на камери [26].

В случая студентите избират категория General и Default поради спецификата на заснетия обект.

Появява се диалоговият прозорец за напредъка, показващ настройките за следващата стъпка, а именно създаване на гъст облак от точки. Ако се допусне грешка в настройките, се щраква върху бутона Back, което позволява операторът да се върне на предходната стъпка от настройките на параметрите за обработка.

Когато обработката приключи, в работно поле се инициализират изчислените позиции на камерата и облакът от точки.

Настройки на ограничаващата кутия

След приключване на етапа на създаването на рехав облак от точки може да се прецизират позицията и ориентацията на ограничителната кутия, за да съответства на изследвания обект. Ограничителната кутия/рамка може да се преоразмерява и да се

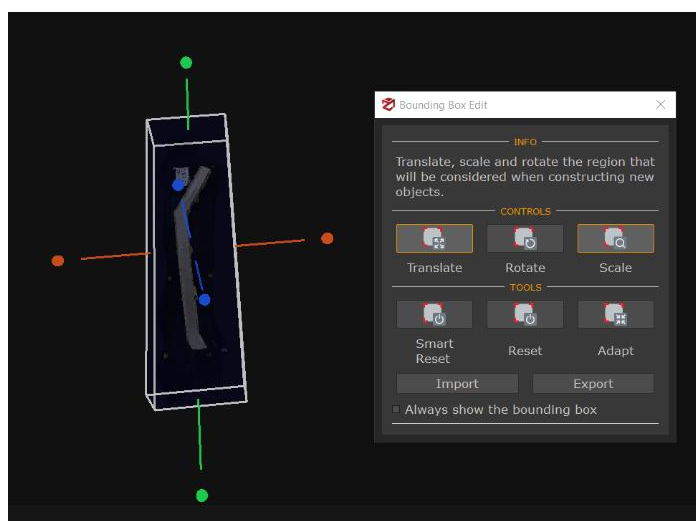
върти с помощта на инструментите за транслация, ротация, преоразмеряване и мащабиране на регион.

За по-голямо удобство преди това може да се скрие Grid мрежата така, че да не се инициализира в работното пространство, но при необходимост да се включи отново. Тази функция се активира от Scene → Rendering → Show/ Hide Grid.

За да се активира визуализация и редактиране на ограничаващата кутия, се избира менюто „Scene“ → Bounding Box → Edit Bounding Box, или се избира съответната икона



в горната лента с инструменти. След като бъде активирана, ограничаващата рамка ще се появи в прозореца за визуализиране на данните, а отстрани – панелът с функции за редактирането ѝ.



Фиг. 6.9. Изглед на ограничаващата рамка и на панела с функции за редактирането ѝ

За да се преоразмери ограничителното поле, се изтеглят кутиите по осите до желаните позиции; а за да се движи курсурът, полето се задръжва с левия бутон на мишката и се плъзва до новото място.

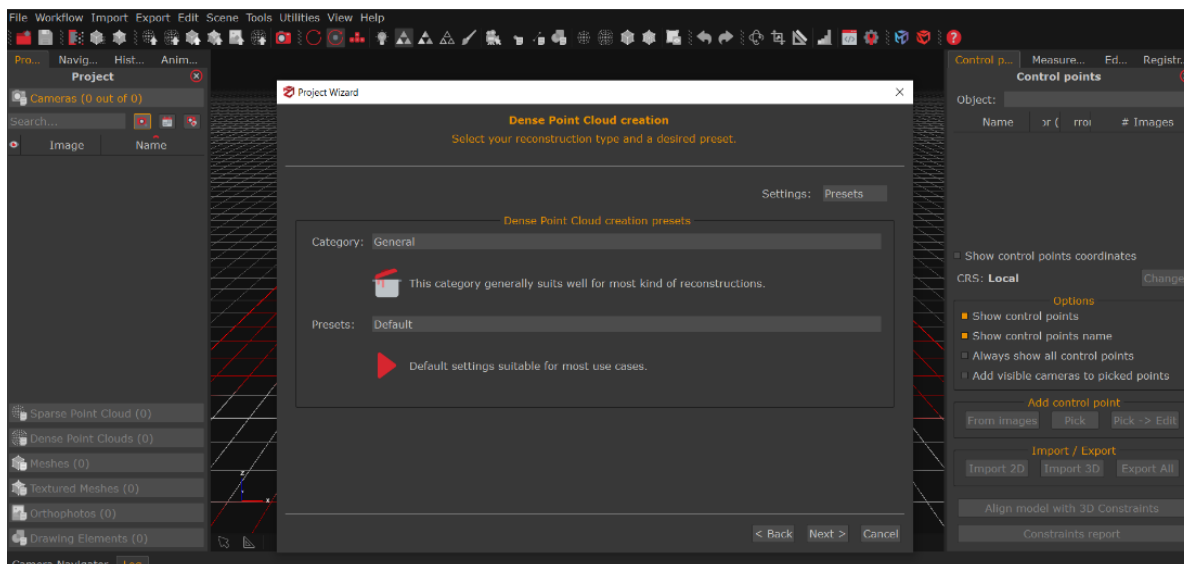
Тази настройка е добре да се направи преди мащабирането на модела, за да може след това лесно да се провери коректността на този процес. Трябва да се има предвид, че осите x и y трябва да са така ориентирани, както са измерени разстоянията в модела, за да може след това при проверката за мащабиране те да си съответстват.

Изтриване на нежелани точки от облака или впоследствие – елементи от модела

Понякога е необходимо да се редактира облакът от точки с цел да се премахнат паразитни точки или точки, които не са част от обекта на изследване. Това се извършва от менюто Editing. Първо, трябва да се изберат/селектират точките (елементите), които ще бъдат изтрети. Това се извършва с помощта на инструменти Select → By Hand, чрез който може да се избере начина за селектиране от лентата с инструменти. След което избраните зони се инициализират с червен цвят в модела и се изтриват с Edit → Delete. За да се премахне селекцията, се използва бутона изтриване на селекция от лентата с инструменти (Select → Clear).

4. Генериране на плътен облак от точки (Dense point cloud creation)

Софтуерът 3DF Zephyr дава възможност да се генерира и визуализира плътен пространствен облак от точки. Въз основа на оценените позиции на камерата програмата изчислява информация за дълбочината за всяка камера, за да създаде един плътен пространствен облак от точки.



Фиг. 6.10. Настройки за генериране на гъст облак от точки

За да се реализира процесът по създаване на гъст облак от точки, се избират следните настройки:

4.1. Category (Избор на категория)

Софтуерът предлага същите **категории** като описаните в **точка 3.1**.

4.2. Presets (Предварителни настройки)

- **Preview** – тази предварително зададена настройка пропуска етапа Stereo и използва разределения облак от точки като плътен облак от точки;
- **Default (Стандартен режим)** – стандартни настройки, подходящи за голяма част от приложенията;
- **High details (Висока детайлност)** – по-висока резолюция, по-бавен процес, по-плътен облак от точки;
- **Ultra** – много висока резолюция, много бавен процес, използва се само при строго специфични случаи [26].

За целите на обучението се избира категория **General** и предварителната настройка **Default**.

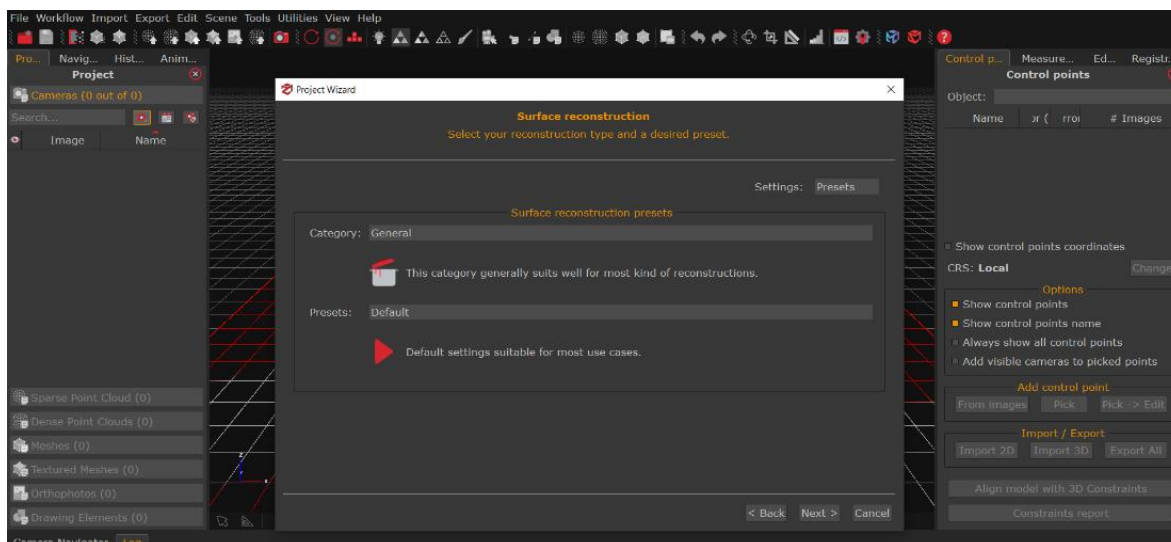
Точки от гъстия облак може да бъдат премахнати с помощта на инструменти за селектиране и изтриване, които се намират на лентата с инструменти на менюто **Editing**.

Облакът от точки може да бъде експортиран към друг софтуер за целите на последващ анализ от менюто **Export** → **Export Dense Point Cloud**.

5. Създаване на повърхнина/полигонален модел (Surface reconstruction / mesh)

След реконструиране на плътния облак от точки е възможно да се генерира полигонален модел, базиран на данните от плътния облак от точки.

Задават се следните препоръчителни стойности за параметрите в диалоговия прозорец **Surface reconstruction**:



Фиг. 6.11. Настройки за генериране на повърхнина/полигонален модел

5.1. Category (Избор на категория)

Софтуерът предлага същите категории като описаните в точка 3.1., а именно **General, Aerial – Nadiral images, Urban, Human Body, Surface Scan, Vertical Structure**. Освен това има и една допълнителна, а именно **Laser Scan** – тази категория се използва при създаване на полигонален модел от облаци от точки, получени чрез лазерно сканиране.

5.2. Presets

- **Preview:** използва настройки по подразбиране, без оптимизация за фотоконсистентност. Подходящо за бърз преглед на модела;
- **Default:** подходяща за голяма част от приложенията. Включва стандартна оптимизация по фотоконсистентност за по-точна реконструкция;
- **High details:** повишена резолюция по време на фотоконсистентност, по-бавен процес, но генерира мрежа с повече полигони и по-висок детайл. Оптимизира модела спрямо всички налични изображения, като проверява дали всеки елемент на повърхността е съгласуван с оригиналните снимки.

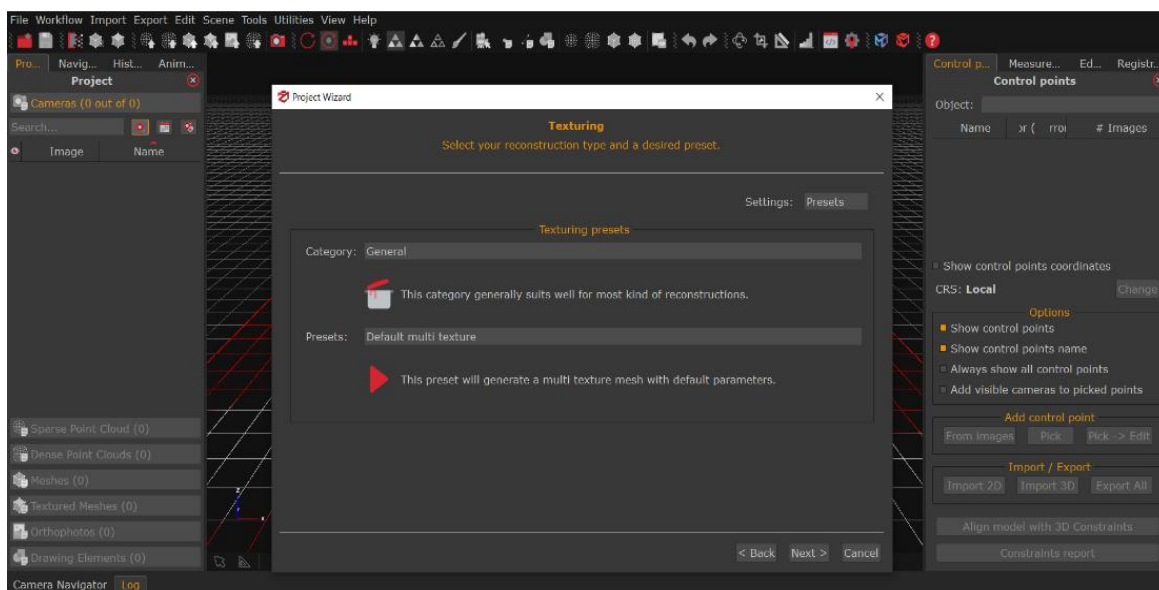
Фотоконсистентност (Photoconsistency) е термин от фотограметрията и компютърното зрение, използван при реконструкция на триизмерен (3D) модел от множество изображения. Фотоконсистентност е мярка дали дадена част от повърхността на модела се съгласува по външен вид (напр. цветове и форма) във всички изходни снимки, в които тази част се вижда. Чрез процес на минимизиране, повърхността се модифицира при всяка итерация. Софтуерът използва фотоконсистентност, за да оптимизира 3D

повърхността и да намали грешките на реконструкция спрямо оригиналните изображения, така, че да се получи по – голяма детайлност [25].

6. Създаване на текстуриран модел (Texturing)

Тази стъпка може да бъде пропусната, ако за конкретната задача, която се решава, не е необходимо генерирането на текстуриран модел. Ако задачата го изисква както е в конкретната задача, се избира следващата стъпка при обработката, а именно Texturing.

Задават се следните препоръчителни стойности за параметрите в диалоговия прозорец Texturing:



Фиг. 6.12. Настройки за генериране на текстуриран модел

6.1. Mesh generation Category (Избор на категория)

- **General** – тази категория се използва в повечето стандартни случаи;
- **Vertical structure** – категорията е подходяща за реконструкция на тънки вертикални обекти, като базови станции, телекомуникационни кули и други подобни вертикални конструкции, заснети с БЛС.

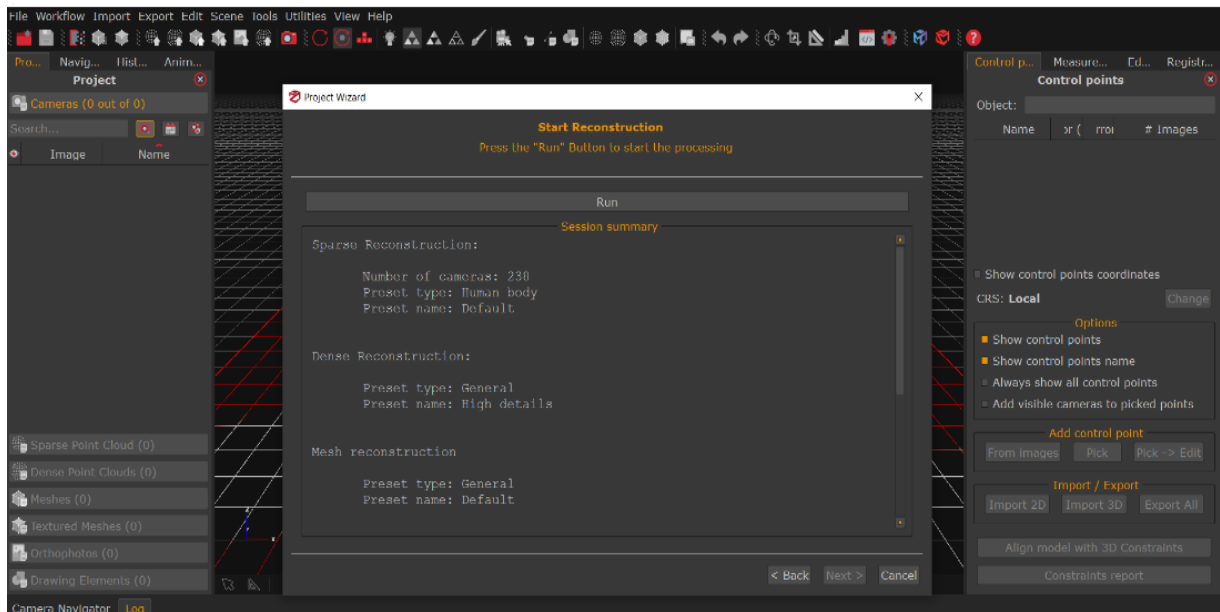
6.2. Mesh generation Presets (Предварителни настройки)

Textured mesh presets

- **Low Poly:** генерира една текстурирана мрежа с ниска полигоналност, т.е. създава текстурирана мрежа с малък брой полигони, оптимизирана за бърза визуализация и намален размер на файла за сметка на по-ниска геометрична детайлност;
- **Default Single Texture:** генерира една текстурирана мрежа с параметри по подразбиране;
- **Default Multi Texture:** генерира многотекстурирана мрежа с параметри по подразбиране;

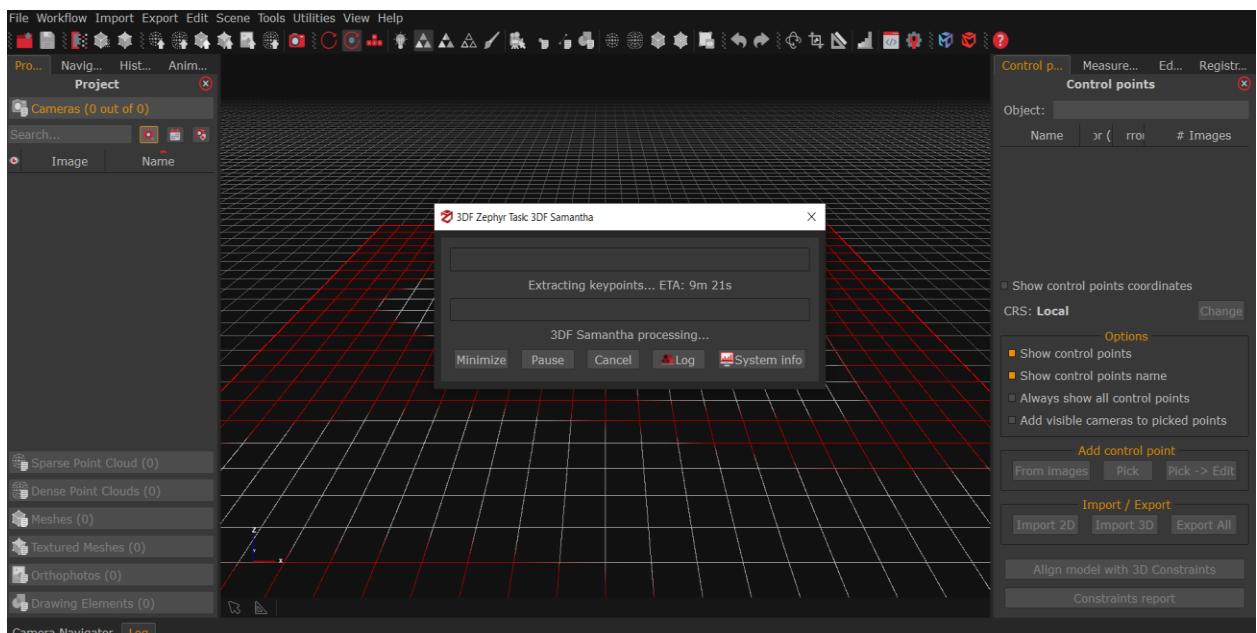
- **High details:** създава многотекстурирана мрежа с висока пространствена разделителна способност и детайлност.

След въвеждане на всички необходими параметри при последователните етапи на фотограметричната обработка се инициализира прозорецът за реконструкция на модела, представен на Фиг. 6.13.



Фиг. 6.13. Прозорец за реконструкция на модела

Стартира се Run и започва последователната обработка на данните.



Фиг. 6.14. Процес по обработка на данните

При интерес от страна на студенти с цел придобиване на опит и желание за развитие може да се изпробват и настройките за напреднали (Settings → Advanced).

7. Машабиране

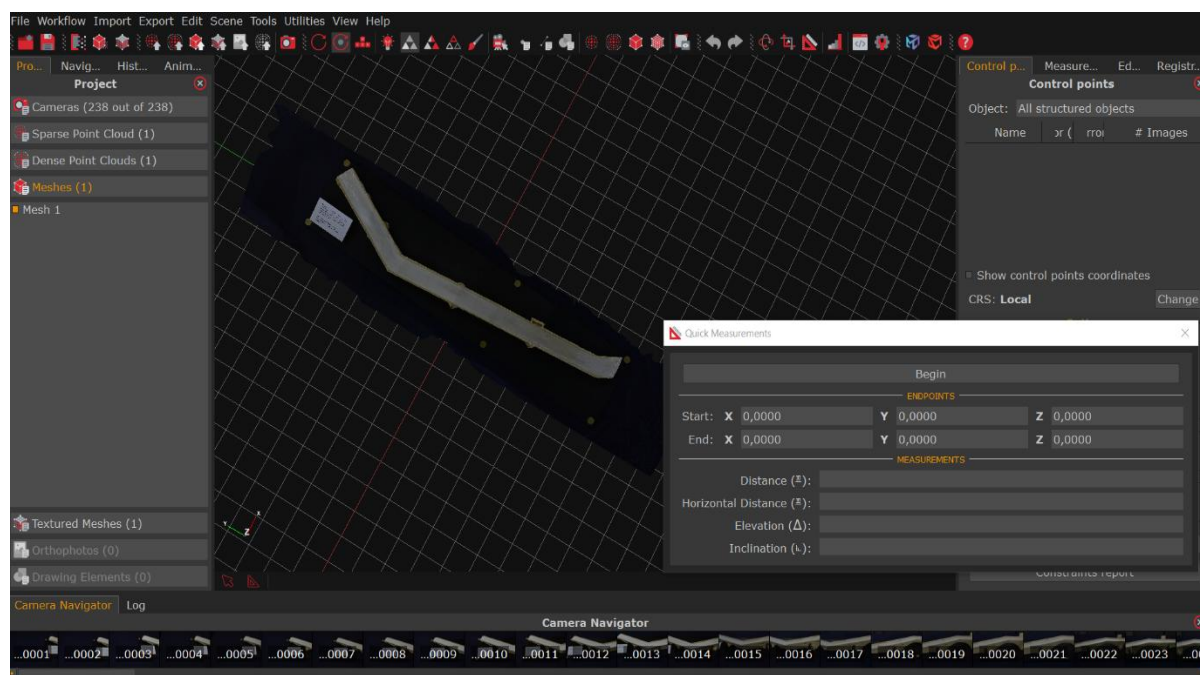
За да може заснетият обект да бъде машабиран, е необходимо да бъдат измерени разстояния. В таблица 6.1 са представени примерни разстояния, измерени от макет на Гърбавия мост, на който е създаден триизмерен текстуриран модел. Тези разстояния ще се използват в представения по-долу пример, за да се онагледят тази стъпка от обработката на модела.

Таблица 6.1. Измерени разстояния между точките от макета

От точка – до точка	Разстояние (cm)
т.19 – т.2	104.10
т. 2 – т. 3	20.50
т. 3 – т. 4	104.10
т. 4 – т. 1	20.50
т. 1 – т. 6	63.60
т. 4 – т. 5	64.40
т. 6 – т. 2	40.50
т. 3 – т. 5	39.70
т. 5 – т. 6	20.30

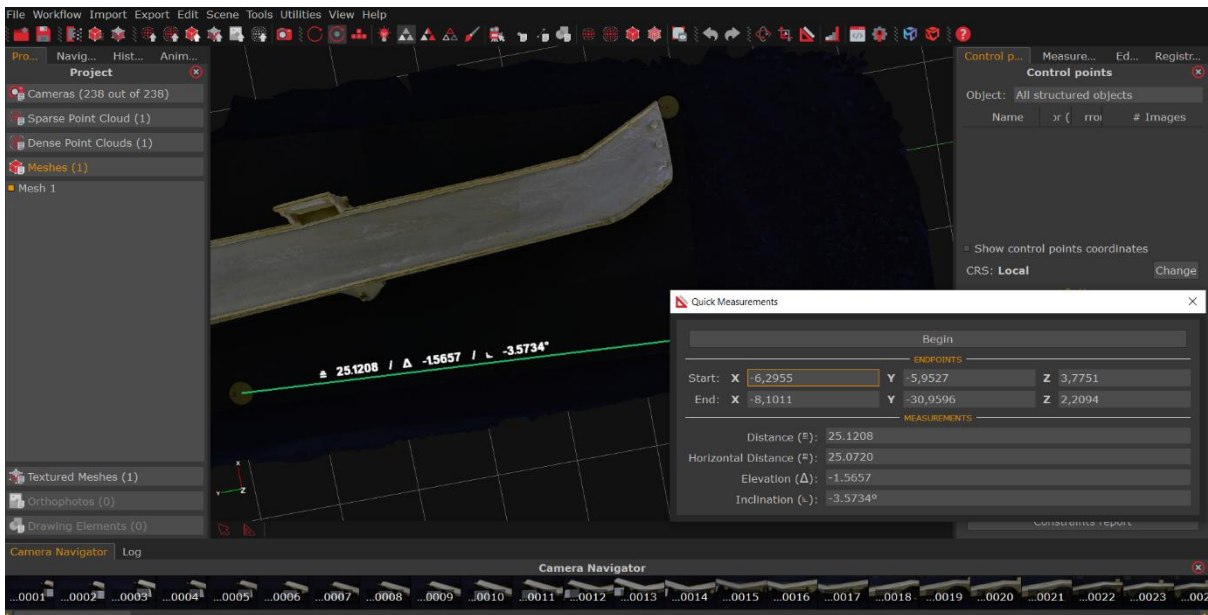
7.1. Измерване на разстоянието от модела.

За тази цел се избира Tools → Distance and measure → Quick measurements.



Фиг. 6.15. Изглед на прозореца Quick measurements

След което се измерва разстоянието между две от точките, които са маркирани в макета, например т. 5 и т. 3. В случая това разстояние, измерено в модела, е 25.07 m, а в макета – 39.70 cm.

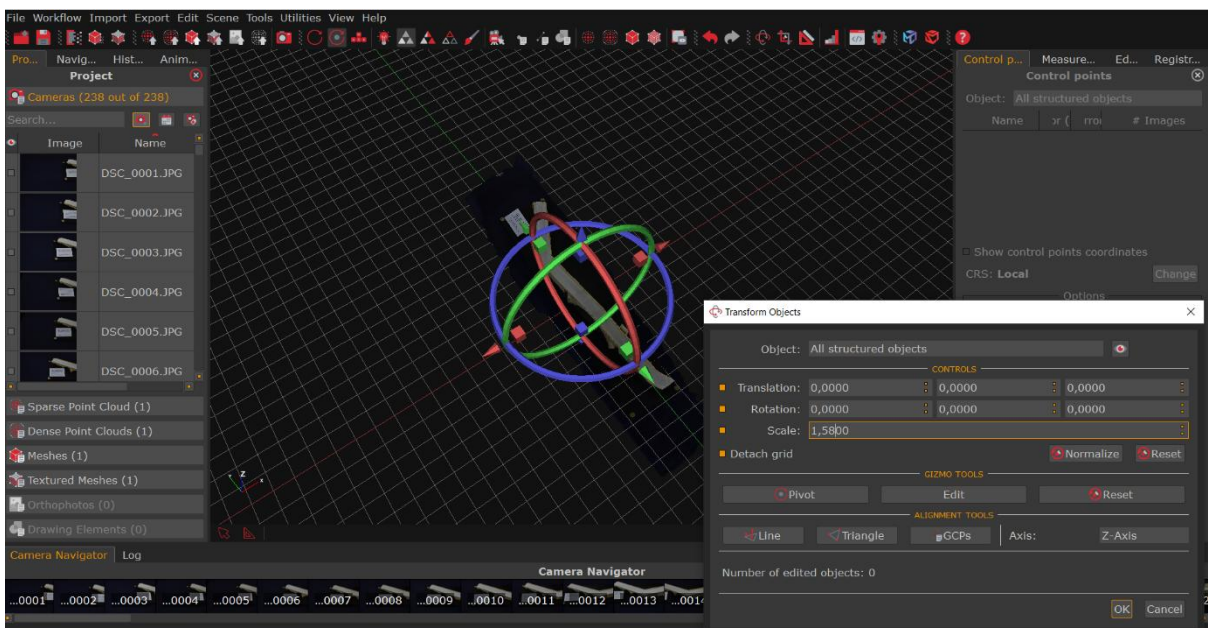


Фиг. 6.16. Процес на измерване на разстояние

Следователно мащабният коефициент, който трябва да се въведе, е 1.58.

7.2. Въвеждане на мащабния коефициент.

Избира се отново Tools → Workspace → Scale/Rotate/Translate objects и се въвежда коефициентът.



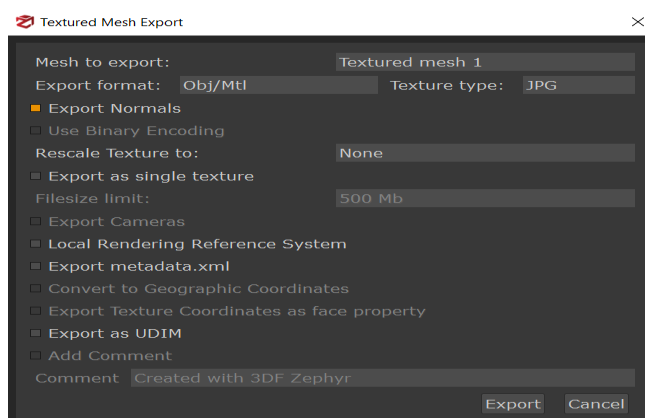
Фиг. 6.17. Въвеждане на коефициента

В полето Scale се въвежда стойността на мащабния коефициент. След което се проверява правилно ли е мащабираният моделът, като се повтаря процесът в т. 7.1.

8. Експортиране на текстуриран полигонален модел (Export textured mesh)

Когато е необходимо моделът да бъде експортиран във външен файлов формат, се използва командата Export → Export Textured Mesh... от главното меню на програмата. Функцията позволява създаденият модел да бъде експортиран за последващо използване в други софтуерни среди, включително CAD, ГИС и системи за 3D визуализация.

- Първата опция в диалоговия прозорец за експорт позволява **избор на желаната текстурирана мрежа**, тъй като в един workspace могат да съществуват **няколко текстурирани мрежи** едновременно;
- **3DF Zephyr Free** може да експортира текстурирани мрежи само в ограничен брой формати, както и за 3D визуализация в **Sketchfab**;
- **3DF Zephyr Lite** позволява експортиране на текстурирани мрежи в **.ply, .obj/mtl** и в уеб услугата за 3D визуализация **Sketchfab**. При избора на определени формати някои **разширени опции** могат да бъдат активирани или деактивирани;
- **3DF Zephyr** (пълната версия) позволява експортиране, освен форматите от Lite версията, и в **.fbx, PDF 3D, Universal3D, Collada** и **USD**.



Фиг. 6.18. Настройки за експортиране на текстурирания модел

Забележка: Експортираната текстура ще се съхранява в същата папка като 3D модела със същото име на файла (типът на файла се избира от потребителя).

Опции на диалоговия прозорец за експорт (ако е избран и форматът го поддържа)

- **Export normals** – позволява експортиране на нормалите;
- **Use binary encoding** – позволява експортиране в **бинарен режим** (ако не е избрана – в текстов режим);
- **Export cameras** – позволява **запазване на позициите на камерите**. Не е налична в 3DF Zephyr Lite и Free;
- **Add comment** – позволява добавяне на **текстов коментар** като метаданни към файла.

Настройки за текстура

- **Format** – Формат на текстурата, когато е налично: **PNG, JPG, EXR** или **TIFF32**, както и избор на **максимален размер на текстурата**;
- **Rescale** – Преоразмеряване на текстура, да се има предвид, че това е **просто преоразмеряване**, което **не добавя допълнителен детайл**. Може да се преоразмери до фиксиран размер, който е степен на две, или да се изчисли автоматично **най-близката стойност степен на две**.

В случая се избира формат obj и тип jpg. След което се изпълнява процесът (Export).

3DF Zephyr поддържа директно качване на моделите в платформи за публикуване, споделяне, откриване, купуване и продажба на триизмерни модели, виртуална и добавена реалност, като платформата Sketchfab.

9. Създаване на видеоанимация на генерирания триизмерен модел

За създаването на видео анимация се избира модулът Animator от панела вляво на работното поле, разположен на основния потребителски интерфейс на 3DF Zephyr. Чрез него потребителят може да създава видео анимации на 3D модели, като дефинира ключови кадри (keyframes) и параметри на камерата. Създадените анимации могат да бъдат експортирани в стандартни видео формати, като AVI, WMV и MP4, както и директно публикувани в YouTube чрез вградената функция за качване.

Има няколко възможности за създаване на анимация:

- ръчно – чрез бутона Add current position в панела Animator и премесване на камерата в работното пространство до желаната позиция или позиции. При активиране на опцията „Show keypoints“ всяка (ръчно зададена) ключова позиция ще бъде визуализирана в жълт цвят в работното пространство;
- автоматично – чрез бутона Create automatic plan в панела Animator и избор на един от четирите налични типа траектории за анимация: circular, spiral, panning или fly over.

За целите на упражнението се избира опцията за автоматично създаване на анимация, а именно: Animator → Create Automatic Plan. След което е необходимо да се избере набор от настройки. Една от тях е свързана с избора на вида на траекторията.

Траектории при автоматичната анимация:

- **Circular** – кръгова траектория около целевия обект. Могат да се дефинират радиусът, височината и оста на въртене;
- **Spiral** – множество орбити, разположени във формата на спирала около модела. Представлява разширение на кръговата траектория чрез наслагване на няколко кръга с намаляващ радиус;
- **Panning** – движение, паралелно на текущата равнина на изгледа; камерата се премества перпендикулярно на посоката на наблюдение;
- **Fly Over** – плавно движение над повърхнината на модела с адаптивни параметри за наклон и дължина на траекторията (подходящо за аероснимки, включително набори от изображения с надирни кадри).

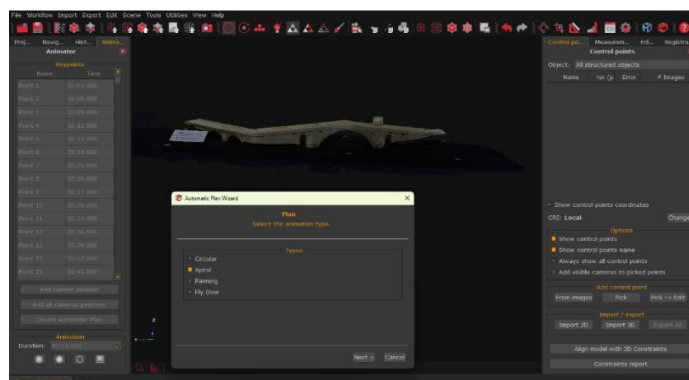
За всяка траектория независимо от нейния вид в работното пространство се визуализират ключовите ѝ позиции чрез последователност от светлосини фрустуми¹.

За целите на визуализацията се избира опцията Create Automatic Plan. Траекторията се генерира автоматично в зависимост от вида на заснетия обект и настройките или предпочитанията на оператора.

Софтуерът използва зададените параметри, за да определи оптимални позиции на камерата или сензора по протежението на траекторията, като се цели плавно и ефективно представяне на обекта от всички ключови гледни точки. Потребителят има възможност да коригира траекторията ръчно или да промени параметрите на автоматичното генериране, за да постигне желаната композиция и визуално представяне на модела.

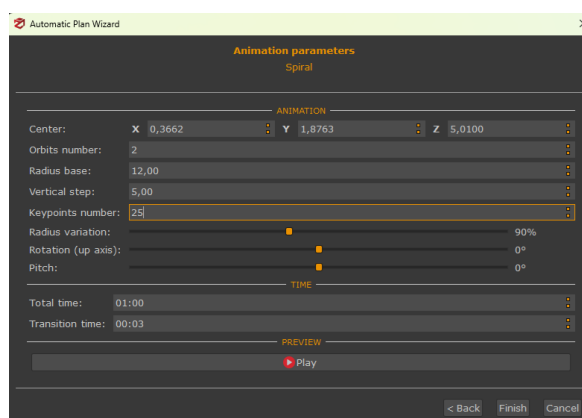
Ред на работа

След активиране на опцията Create Automatic Plan на екрана се появява нов панел, в който се избира видът на траекторията за текущата анимация. В конкретния случай се избира траектория Spiral. За да се премине към следващата стъпка от създаването на анимацията, се натиска бутонът Next.



Фиг. 6.19. Избор на вида на траекторията

Появява се следващият панел, в който трябва да се изберат параметрите за анимацията.



Фиг. 6.20. Избор на параметри за анимация

¹Фрустумът представлява геометрично изображение на видимото пространство на камера или сензор и позволява да се проследи позицията и ориентацията му във всяка точка от траекторията. Използва се ярък цвят за ясно разграничаване на отделните позиции и за по-лесно наблюдение на посоката на движение [20].

В случая са избрани следните параметри:

Таблица 6.2. Примерни параметри за анимация

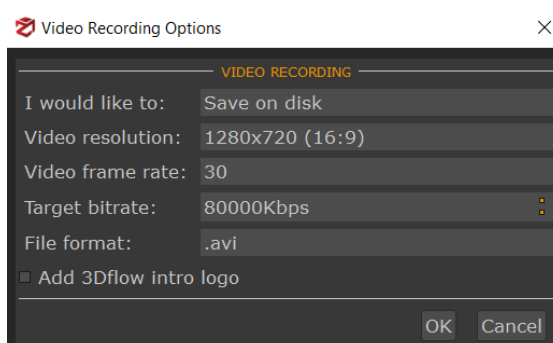
Center	Координати на центъра	X = 1 Y = 2 Z = 8
Orbit number	Брой орбити	3
Radius base	Радиус база	75
Vert step	Вертикална стъпка	3
Keypoint number	Брой на ключовите точки	25
Radius variation	Вариация на радиуса	90%

Тези параметри зависят изцяло от вида и формата на заснетия обект.

След като се зададат параметрите, може да се активира предварителен преглед на анимацията от бутона Play. Софтуерът позволява да се редактира отделна ключова позиция, като се щракне с десен бутон върху нейното име в панела Animator и се избере опцията Edit. Продължителността на цялата анимация се задава в полето Duration. Накрая се натиска бутонът Finish.

От Animation може да се стартира или спре анимацията (Play/Stop), да се стартира запис на видеото (Record), да се включи режим на възпроизвеждане, при който анимационната последователност се повтаря непрекъснато чрез автоматично връщане към началния ключов кадър (Loop), както и да се активира опция, която да показва ключовите точки (Show keypoints).

При натискане на бутона Record се отваря нов прозорец, който позволява конфигуриране на настройките за запис на анимацията.



Фиг. 6.21. Конфигуриране на настройките за запис на анимацията

Те включват опции за: съхраняване на файла, експортиране в Youtube или и двете. Други настройки са свързани с резолюцията на видеото, с вида на файловия формат, с кадровата честота (frame rate²), с целевия битрейт (target bitrate³).

Препоръчителни настройки: Frame rate: 25 или 30 fps
Target bitrate: 8–12 Mbps

Програмата позволява:

- да се променя общата продължителност на анимацията, както и времето за преход (т.е. за плавно смесване на новата траектория със съществуващите ключови позиции);

²Параметър, показващ броят на изображенията (кадрите), които се визуализират за една секунда. Обикновено се измерва в кадри в секунда (frames per second). Влияе на качеството и размера на видеоклипа [19].

³Параметър, определящ количеството данни за единица време при кодиране на видео. Колко данни (битове) се използват за 1 секунда видео. Определя качеството и размера на видеоклипа [22].

- автоматично редактиране чрез едновременно преместване на всички ключови позиции на анимацията;
- изтриване или редактиране на ключови позиции и части от анимацията. Ако резултатът не е удовлетворителен, може да бъде отменен (Undo);
- обединяване на няколко последователни анимации в една обща;
- увеличаване на параметъра Total time, за да се постигне по-плавна интерполация, в случай че траекторията на ключовите позиции съдържа резки скокове (пречупвания) в някои участъци.

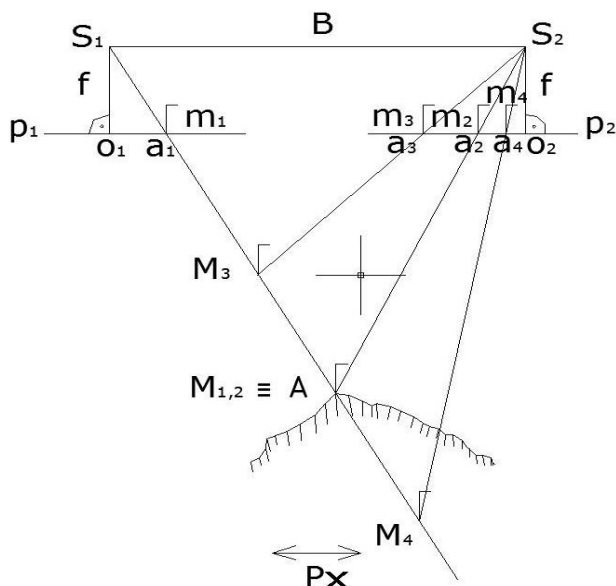
Така създадените триизмерни модели и анимации могат да се използват за визуализация в среда на виртуална реалност, което е един изключително обещаващ инструмент не само за образованието и науката, но и за много други сфери от живота, като архитектура, археология, геология, индустрия, медицина и други [10], [17].

СЕДМА ГЛАВА

Представяне на системи за стереокартиране и работа с тях. Запознаване с функционалните възможности за картиране в цифрова среда

➤ Целта на упражнението е студентите да придобият опит при работа с цифрови системи. Те изучават функционалните възможности на руския софтуер PHOTOMOD Lite, основните принципи при картиране в цифрова среда и работят по-конкретно с модула за стереокартиране. В края на упражнението изработват и оформят като краен продукт – топографска карта.

За да могат да усвоят принципите, на които се базира стереокартирането, студентите трябва много добре да разбират понятието „мерна марка“ и зависимостта, която съществува между хоризонталния паралакс и превишенията в релефа на наблюдаваната местност. В следващите редове са представени основни познания по темата.

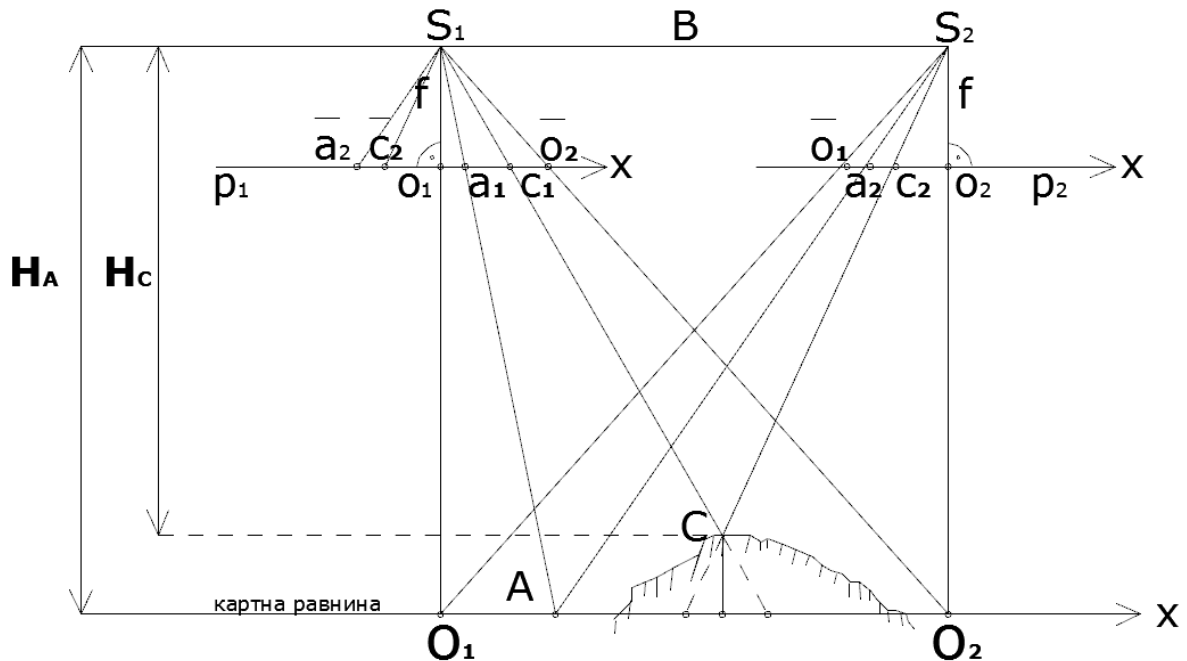


Фиг. 7.1. Принципна схема на мерната марка

Ако се постави лявата мерна марка върху образа на т. А от местността в лявата снимка (p_1), в случая т. a_1 , а дясната марка върху образа на същата точка А в дясната снимка (p_2), в случая т. a_2 , и се наблюдава стереоскопично, ще се види, че двата образа определят една т. А от пространствения модел и двете мерни марки се сливат в една мерна марка, която съвпада с т. А по положение и височина. Ако една от двете марки, например дясната, се премести в положение m_3 , стереоскопично това се възприема като издигане на пространствената марка във височина нагоре до M_3 . А ако същата марка се премести в положение m_4 , стереоскопично това се възприема като потъване надолу до положение M_4 и наблюдателят ще я вижда раздвоена по ос x . Следователно страничното изместване на двете мерни марки една спрямо друга (промяна на P_x) води до промяна във височината на пространствената мерна марка спрямо модела при въздушни изображения. Това позволява да се измерват точки, които се намират на различна височина в пространствения модел [3].

За да се намери зависимостта, която съществува между хоризонталния паралакс и превишенията в релефа на наблюдаваната местност, се изхожда от случая във

въздушната фотограмметрия, при който снимачната база и снимките са хоризонтални, а снимачните оси – вертикални.



Фиг. 7.2. Идеален случай на заснемане

Направени са две снимки (p_1 и p_2) от проекционни центрове S_1 и S_2 при височина на летене H_A спрямо картната равнина. Точка А, която лежи на равнината, е изобразена като a_1 в лявата фотоснимка и a_2 в дясната. Съответно абцисите на точки a_1 и a_2 са:

$$x_{a_1} = +o_1 a_1 \quad \text{и} \quad x_{a_2} = -o_2 a_2$$

Следователно хоризонталният паралакс в т. А е равен на

$$p_A = x_{a_1} - x_{a_2} = o_1 a_1 + o_2 a_2. \quad (7.1)$$

Прекарва се правата $S_1 \bar{a}_2 \parallel S_2 a_2$, от което следва, че $o_1 \bar{a}_2 = o_2 a_2$.

$\Delta S_1 a_1 \bar{a}_2 \sim \Delta S_1 A S_2$, (фиг. 7.2), следователно

$$\frac{H_A}{f} = \frac{B}{p_A} \quad (7.2)$$

$$H_A = \frac{B \cdot f}{p_A} \quad (7.3)$$

На чертежа е изобразена и точка С от местността, която има надморска височина различна от тази на точка А, т.е. има превишение спрямо картната равнина. Образите ѝ върху снимките са c_1 и c_2 , а абцисите:

$$x_{c_1} = +o_1 c_1 \\ x_{c_2} = -o_2 c_2$$

Хоризонталният паралакс в т. С е равен на $p_C = x_{c_1} - x_{c_2} = o_1 c_1 + o_2 c_2$.

През S_1 се прекарва правата $S_1 \bar{c}_2 \parallel S_2 c_2$, от което се получава, че $o_1 \bar{c}_2 = o_2 c_2$.

От подобните триъгълници $\Delta S_1 c_1 \bar{c}_2 \sim \Delta S_1 C S_2$ следва, че:

$$\frac{H_C}{f} = \frac{B}{p_C} \quad (7.4)$$

$$H_C = \frac{B \cdot f}{p_C} \quad (7.5)$$

За да се изчисли превишението между двете точки, от котата на т. А се изважда котата на т. С:

$$\Delta H = H_A - H_C = \frac{B \cdot f}{p_A} - \frac{B \cdot f}{p_C} = B \cdot f \cdot \frac{p_C - p_A}{p_A \cdot p_C} \quad (7.6)$$

$$\text{Нека } p_C - p_A = \Delta p \quad (7.7)$$

$$\Delta H = \frac{H_A \cdot \Delta p}{p_C} = \frac{H_A}{p_A + \Delta p} \Delta p \quad (7.8)$$

Тази формула показва зависимостта, която съществува между хоризонталния паралакс на коя да е измерена точка от снимката и превишенията в релефа на наблюдаваната местност, и в общ вид може да се представи:

$$\Delta h_i = H_A \frac{\Delta p_i}{p_A + \Delta p_i} \quad (7.9)$$

H_A – височина на летене в точката (т. А) с известна кота

p_A – измерен хоризонтален паралакс в т. А

p_i – измерен хоризонтален паралакс във всяка точка от снимката

Δp_i – разлика в хоризонталния паралакс, измерен от снимката, спрямо изходната точка А, $\Delta p_i = p_i - p_A$ [2].

Точността на определените превишения от фотоснимките зависи от точността на използваните апарати, формата на снимките, точността на измерванията по тях, както и от опитността и уменията на наблюдателя.

Ако точка А има надморска височина приблизително равна на главната точка на снимката т. О, то $H_A \approx H_O$, тогава от $\frac{H_A}{f} = \frac{B}{p_A}$ следва

$$p_A = B \frac{f}{H_A} \approx B \frac{f}{H_O} = \frac{B}{m} = b = O_1 O_2 \quad (7.10)$$

Практическа част

За да се наблюдава стереоскопично и да се извършват измервания, е необходима специална цифрова система. Стереоскопично наблюдение и измерване с цел стереокартиране се извършва на настолни компютри чрез анаглифен начин за стереонаблюдение, представен в упражнение 1. Студентите работят и със система тип PLANAR, която представлява съвкупност от два еднакви монитора, разположени един спрямо друг на ъгъл 135° . Между двата монитора, снабдени с поляризирани филтри, е поставено полупрозрачно огледало, което пропуска директно светлината от единия

монитор и отразява изображението от втория. За наблюдение се използват статични стереочила. Изображението не се комутира периодично, което намалява умората на очите и позволява по-продължителна работа.

Една надеждна система за цифрова фотограметрия е руският софтуер PHOTOMOD, който включва широка гама от продукти за дистанционно наблюдение и обработка на фотограметрични данни. Този софтуер позволява извличането на геометрично точна пространствена информация от почти всички видове изображения, независимо дали са получени от фотоапарати, системи за сканиране или от цифрови сензори. Предназначен е за извършване на фототриангулация, създаване на пространствени модели (цифрови модели на релефа, на повърхността) и извършване на пространствени измервания. Използва се за генериране на ортофотопланове, карти и мозайки. Неговата функционалност определя и областите на приложение: за фотограметрични цели, в кадастъра, минно дело, картографията и дистанционно наблюдение, архитектурата и строителството, образованието.


Високата точност, качеството на изходните данни, възможността за работа в мрежа и гъвкавата модулна структура правят PHOTOMOD надеждна система за обработка на фотограметрични данни и за дистанционно наблюдение.


Софтуерът PHOTOMOD Lite разполага с готови проекти, което позволява да се пристъпи директно към процеса на картиране. За тази цел се използва модулът **PHOTOMOD StereoDraw**.

Модулът PHOTOMOD StereoDraw служи за създаване и редактиране на 3D векторни обекти в стерео режим и за извършване на 3D измерения. Той съдържа набор от инструменти, които улесняват работата по обработката на данните. Някои от основните функции на модула са: автоматично преместване на курсора по земната повърхнина, векторизиране на линии под прав ъгъл, 2D и 3D свързване, копиране на векторни обекти, автоматично прокарване на линия покрай границата на съществуващ обект и други.

Модулът PHOTOMOD StereoDraw се използва за обработка на единични стереодвойки – за векторизиране на триизмерни обекти в стереоснимките, извличане на ситуационни елементи, както и елементи на релефа. Поддържането на топологична връзка между обектите и атрибутната база данни се осъществява с помощта на кодова таблица (фиг. 7.3), която се създава в модула и има възможност да се редактира и допълва. Разполага със следните векторни обекти – точка (point), линия, полилиния (line, polyline), полигон (polygon) и стандартни геометрични фигури (CAD objects). Всеки обект има свой собствен уникален код, който системата разпознава и с който оперира.

Избор на проект и първоначални настройки

Стартира се програмата PHOTOMOD Lite. Преди да започне картирането се настройва режимът за стереонаблюдение. От основния панел на програмата се избира Service → Settings → Stereo, за да се активира режим с поляризация или анаглифен. След което от главното меню се избира Project и се отваря проектът, в който ще се карта. Маркира се стереодвойката и като се използва командата Open new 2D-window for selected stereopair от основния панел или бутона , се отваря нов работен прозорец, в който се инициализира само стереодвойката, в която ще се чертае.


Чрез иконата  toggle stereo on/off или бързия бутон F9 се включва (изключва) стереонаблюдението, след което процесът на картиране може да започне, ако вече е създадена кодова таблица, в противен случай тя трябва да се създаде.

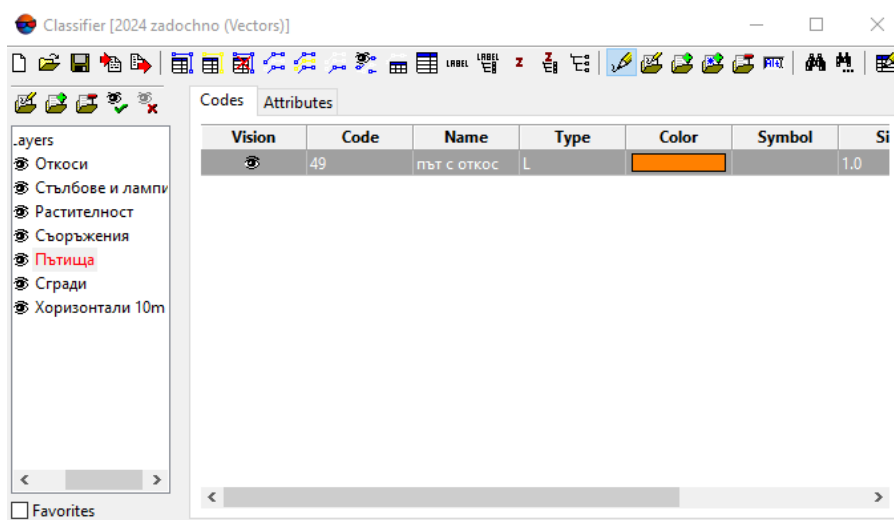
Създаване на кодова таблица

Преди започване на картирането е необходимо да се създаде кодова таблица, в която се съхраняват всички съществуващи слоеве и кодове. От главното меню се избира Vectors → Create layer with classifier. Ако има вече създадена кодова таблица, тя се отваря от менюто Windows → Classifier.

Създаване на слоеве и кодове в кодовата таблица


След създаване на таблицата се въвеждат различни слоеве на обекти (имената и характеристиките на отделните слоеве се определят в зависимост от обекта, който се

картира, и от изискванията в заданието на проекта). Използва се иконата  (Add layer...) от менюто Classifier (т.е. кодовата таблица). На фиг. 7.3 в лявата част на прозореца е представен списък на тематични слоеве от текущ проект. Дясната част на прозореца съдържа раздел с кодове на векторни обекти (Codes Tab) и атрибутите им (Attributes Tab).



Фиг. 7.3. Кодова таблица с въведени слоеве

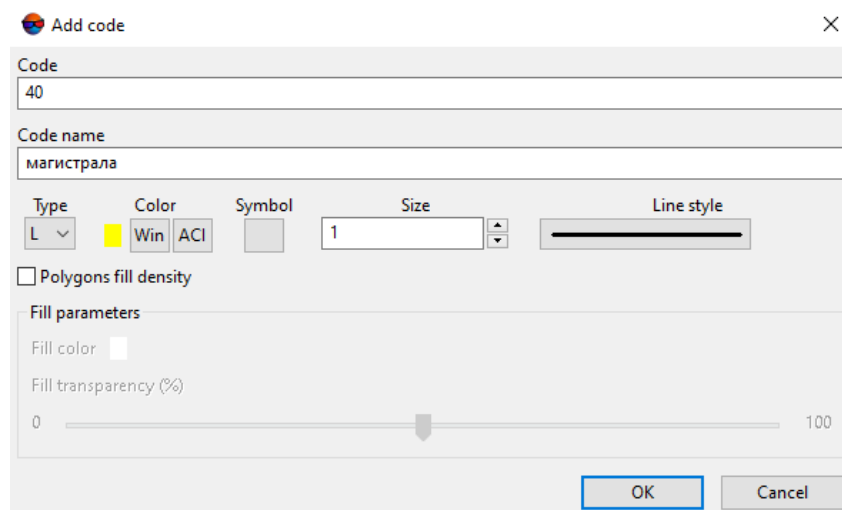
След създаване на списък от слоеве следва да се създаде списък на векторни обекти, включени към всеки слой, заедно с техните кодове и атрибути. За целта се използва

иконата  (Add code...) от кодовата таблица.

Разделът с кодове на вектори обекти (Codes Tab) съдържа следните колони:

- Vision – видимост на обект с даден код;
- Code – код на обекта;
- Name – уникално име с дължина до 64 символа, отнасящо се за векторен обект или група от векторни обекти, например – „неасфалтиран път”;
- Type – типът на обекта: точка (P), полилиния (L), полигон (C);
- Color – цветът, използван за инициализиране на обекта върху растерното изображение;
- Size – размерът на векторни обекти. Когато имаме точкови обекти, тази функция контролира размера на символа в растерни изображения;

- Symbol – ASCII символ, съответстващ/отговарящ на кода на обект (само за точкови обекти), може да бъде избран от стандартна библиотека със символи;
- Q-ty – количество на обекти от определен код;
- Attr. – опция за наличността и броя на атрибути на обектите.




Фиг. 7.4. Създаване на код в определен слой на кодова таблица

В полето Code се задава уникален код на обекта, а в полето Code name – име на обекта. Избира се типът на обекта: точков обект (P), линия, полилиния (L) или полигон (C) и цветът, в който да се изобрази. В зависимост от типа на обекта се задава форма, големина и вид на символа, тип на линия, дебелина, стил на штриховане или запълване. Избраният стил линия се запазва по време на експортирането на линейни обекти в DXF и DGN формати.

Когато са посочени всички необходими параметри, настройките се запазват и кодът на обекта се добавя към слоя, който е избран от списъка със слоеве, или в основната директория, ако обектите не са разделени на слоеве.

Може да се създават кодове за различните обекти, които да се добавят в кодовата таблица, това позволява класифицирането им в тематични слоеве.

След като се създадат необходимите слоеве и кодове, таблицата се съхранява, като се използва иконата  (Save as).

Създаване на векторни обекти

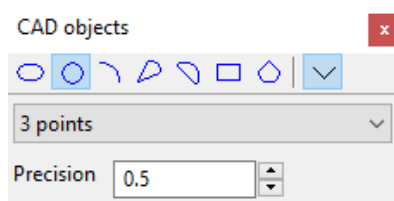
Изчертаване на точки в стереорежим

Стереокартиране на даден обект в стереорежим е възможно едва след като е извършено взаимното ориентиране. За да се стартира процесът на стереокартиране, се използва иконата toggle stereo on/off или бързият бутон F9.

Програмата PHOTOMOD дава възможност за изчертаване на 3D векторни обекти (точки, линии, полилинии, полигони и CAD-обекти). Изчертаването, се извършва с обикновена мишка, като „кацането“ (движението по Z координатата) се осъществява със скрола, а движението по X и Y се извършва, като се премества самата мишка. След поставяне на мерната марка на терена се вмъква точка (чрез бутона Insert) или започва

изчертаване на линия (поредица от вмъкнати точки) в зависимост от типа на обекта. Преди това е необходимо да се избере слой, в който обектът да се картира.

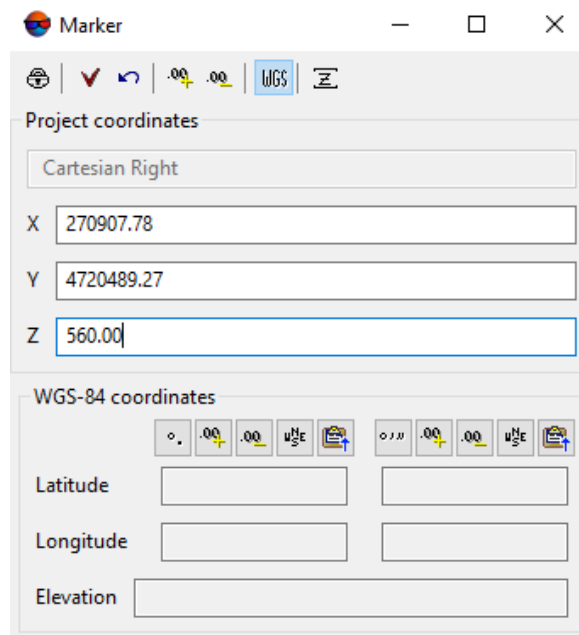
За създаването на векторни обекти със стандартни геометрични форми се използва менюто Edit, в което последователно се избират функциите *ectors create mode* → CAD objects. Появява се работният прозорец, в който се избират видът на фигурата и индивидуалните ѝ настройки (например ако се изчертава кръг, се избира изчертаване по 3 точки и точност 0.500). Точността представлява максималното разстояние от сегмент от начупената линия до кривата, измерено между два най-близки въртекса. Тя може да се променя за форми с извити сегменти (елипса, кръг, дъга, сектор, сегмент). Стойността по подразбиране на този параметър е 0,5 в единици, определени от потребителя за текущия проект.



Фиг. 7.5. Работният прозорец CAD objects

При изчертаването на хоризонтал мерната марка се фиксира на дадена кота и с движения по X и Y се приплъзва по терена. Започва да се чертае линия и се поставя въртекс, като се следи марката да се движи по терена. Има режим за изчертаване на хоризонтал, чрез който може да се настрои автоматично поставяне на въртекс (възел) през определено разстояние, но той не е особено подходящ за начинаещи оператори. След изчертаване на избрания хоризонтал се сменя котата и се започва изчертаването на следващия.

Преди да започне картирането на даден хоризонтал, се избира иконата от главното меню **Show marker window** или се използват бързите бутони (**Ctrl+Alt+C**), за да се фиксира мерната марка на дадена кота. В работното поле се появява прозорецът Marker, в който се въвежда избраната кота, в случая 560 m.



Фиг 7.6. Работният прозорец за настройки при изчертаване на хоризонтали

След това се избира последователно обновяване (Apply – червената отметка), фиксира се маркерът по кота (Fix marker Z – последната функция в края на първия ред) и се прилага заключване (Apply immediately – катинарчето). Работният прозорец се изключва, за да започне изчертаването на хоризонтала.

Типове свързване (snap)

Когато се работи в режим на свързване (snap), маркерът се движи само покрай съществуващи векторни обекти (точки, въртекс или сегменти). Тази функция е полезна, когато се създава обект, който съвпада в пространството с вече съществуващ обект. Например когато се векторизира електрическа мрежа, свързваща съществуващи стълбове (точкови обекти). Свързването може да бъде приложено върху векторни обекти, принадлежащи към всички слоеве, показани на екрана (не само върху активния). За да се избере режимът на свързване, се използва менюто Edit → Snapping или бързите бутони:

- Свързване/прихващане по положение и надморска височина във въртекс (**3D Snapping to vertex** или бърз бутон **V**) – при този режим мерната марка (маркерът) се придвижва от един въртекс на друг. Когато се позиционира някъде върху изображението, маркерът се придвижва до най-близкия въртекс или точка. Прилага се често, например когато има изчертан даден обект и започваме да изчертаваме друг (главен път и трябва да се свърже с второстепен).

- Свързване/прихващане по положение и надморска височина в линия (**3D Snapping to line** или бърз бутон **N**). В този режим маркерът се движи по съществуващите линейни векторни обекти, запазвайки всички X, Y и Z координати. Когато левият бутон на мишката се натисне два пъти някъде върху изображението, маркерът се придвижва до най-близкия векторен обект. Приложението е като в предходната точка, с тази разлика, че свързването става в линия, а не във въртекс.

➤ Свързване/прихващане само по положение във въртекс (**2D Snapping to vertex** или бърз бутон **V**). В този режим маркерът се придвижва от един връх в друг и **XY** координатите на маркера съвпадат с **XY** координатите на въртекса. Координатата **Z** на маркера ще бъде запазена. Прилага се, когато при картиране новосъздаваният обект трябва пространствено да съвпадне със съществуващ само в **XY** равнината. Например – трябва да се начертае сграда, която е застроена на калкан за друга сграда, но е по-ниска или по-висока от нея (т.е. става дума за сгради на различно ниво). Друг пример: къща, до която има застроен гараж с общ зид.

➤ Свързване/прихващане само по положение и надморска височина в линия (**2D Snapping to line** или бърз бутон **M**). В този режим маркерът се движи по съществуващите векторни линейни обекти само в **XY** равнина. Координатата **Z** на маркера ще бъде запазена. Използва се, когато дадена сграда е леко навътре от вече построена сграда и двете сгради са на различно ниво.

Бързите бутони, изброени по-горе, се използват за бърза настройка – когато се натиснат, са включени (snapping on), в противен случай са изключени (snapping off).

Редакция на точка

След като се избере точка (чрез кликуване на мишката), може:

- **да се изтрие** – използва се бутонът **Delete**;
- **да се премести** – натиска се и се задържа бутонът **Ctrl**, след което точката се движи с помощта на мишката или на бутоните със стрелки в **XY** положение, а посредством **PgUp**, **PgDn** бутоните или скрола (колелцето на мишката) точката се мести във височинно положение (по **Z**);
- **да се премести в позицията на маркера** – използва се бърз бутон **J** или от менюто **Vectors** се избира **Operations** → **Move point to marker**. Маркерът може да се премести ръчно или чрез въвеждане на координати в прозореца му.

Редакция на полилиния

Добавяне на въртекс

Понякога е необходимо да се добави въртекс към вече съществуваща полилиния или полигон, за целта мерната марка трябва да се постави в нужната позиция и да се натисне бутонът **Insert** от клавиатурата.

Продължаване на полилиния

За да се продължи избрана полилиния, трябва да е активен първи или последен въртекс и да се продължи процесът на векторизация по стандартния начин. Ако се избере въртекс от полилиния/полигон чрез бързите бутоните **Alt + S**, ще се въведе нов въртекс след избрания.

Местене на полилиния

За да се премести една полилиния, тя трябва първо да се избере (двойно кликуване на мишката) и да се премести с мишката заедно с натискането на бутон **Ctrl** и на левия бутон на мишката или с клавишите със стрелки и задържане натиснат на бутона **Ctrl**. За да се премести полилиния по координата **Z**, се използва комбинацията от бутони **Ctrl + PgUp**, **PgDn** или колелцето на мишката с натиснат бутон **Ctrl**. Не трябва да има избрани въртекси в полилинията.

Изтриване на полилиния

Избрана полилиния се изтрива, като се използва бутонът **Delete**. Ако полилинията съдържа избрани въртекси, при първото натискане на бутона Delete ще се изтрият само въртексите, а при второто – цялата полилиния.

Обединяване (сливане) на полилинии

За да се обединят две незатворени полилинии, трябва да се селектират от менюто и да се използват командите **Vectors** → **Topology** → **Merge two polylines** или бързите бутони **Shift – P**. Тези команди позволяват свързване на двата най-близки или крайни въртекси на полилинията. В случай че изходните линии имат приложени различни кодове, добавената линия ще получи код, избран на момента от прозореца на класификатора.

Обединяване (сливане) на полигони

За да се обединят два припокриващи се или с обща граница полигони, трябва да се селектират от менюто и да се използват командите **Vectors** → **Operations** → **Polygons merging** или бързите бутони **Shift – G**. Ако тези полигони имат различен код, новополученият полигон ще има код, съответстващ на избория от кодовата таблица; ако от кодовата таблица не е избран код, новият полигон ще запомни кода на изходните полигони.

Разделяне на полилиния

За да се раздели една полилиния на две отделни, маркерът трябва да се постави върху избраната позиция за разделяне и да се избере командата от менюто **Vectors** → **Topology** → **Split polyline** или да се използват бързите бутони **Shift + X**.

Затваряне и отваряне на полилиния

За да се затвори селектирана полилиния, се използва командата от менюто **Use Vectors** → **Topology** → **Close polyline** или бързи бутони **Shift + C**. Между първия и последния въртекс ще се изчертае сегмент. За да се отвори полилиния, се избира командата **Use Vectors** → **Topology** → **Unclose polyline** или **Shift + B**. В резултат сегментът, свързващ първия и последния въртекс, ще бъде изтрит.

Изтриване на част (сегмент) от линия, полилиния или полигон

За да се изтрие част от линия или полилиния между два въртекса, тя трябва да се маркира. След което мерната марка се поставя върху сегмента, който ще се изтрива, и се избира **Vectors** → **Topology** → **Delete segment** или се използват бързите бутони **Shift + D**. В резултат това се получават две полилинии.

За да се изтрие сегмент от полигон, той трябва да се трансформира в полилиния. Тази операция е възможна само за слоеве с класификатор (кодовата таблица). Поради това преди да се изтрие сегментът от полигона, трябва да се избере код от тип полилиния в кодовата таблица.

Връзка с точка

За да се свърже новосъздавана полилиния към върха на съществуваща, се използват командата от менюто **Vectors** → **Topology** → **Connect to point** или бързите бутони **Shift + V**. Като краен резултат двете линии имат общ връх и редакцията им води до едновременно модифициране на двата обекта.


Свързване с полилиния

За да се свърже полилиния, която се създава в момента, с вече създадена, в произволна точка от сегмента се използват командата от менюто **Vectors** → **Topology** → **Connect to polyline** или бързите бутони **Shift + L**. Новият въртекс се получава при пресичането на съществуващия сегмент от линията и продължението на новата линия. Като краен резултат двете линии имат общ въртекс и редакцията им води до едновременно модифициране на двата обекта.



Копиране на точков обект, линия (полилиния), полигон

Често когато се картира път в праволинеен участък, може да се използва функцията за копиране на линия, ако едната част на пътя вече е изчертана. Линията се маркира, чрез бутоните **Ctrl + C** обектът се копира, а чрез **Ctrl + Shift + V** се поставя в позицията на маркера.

Промяна на код

Понякога се налага да се промени кодът на създаден обект. За целта обектът се маркира и от кодовата таблица се избира новият код. След което обектът се променя чрез иконата  (assign code to selected objects).

Редакции на група от точки, полилинии или полигони (изтриване, добавяне, преместване)

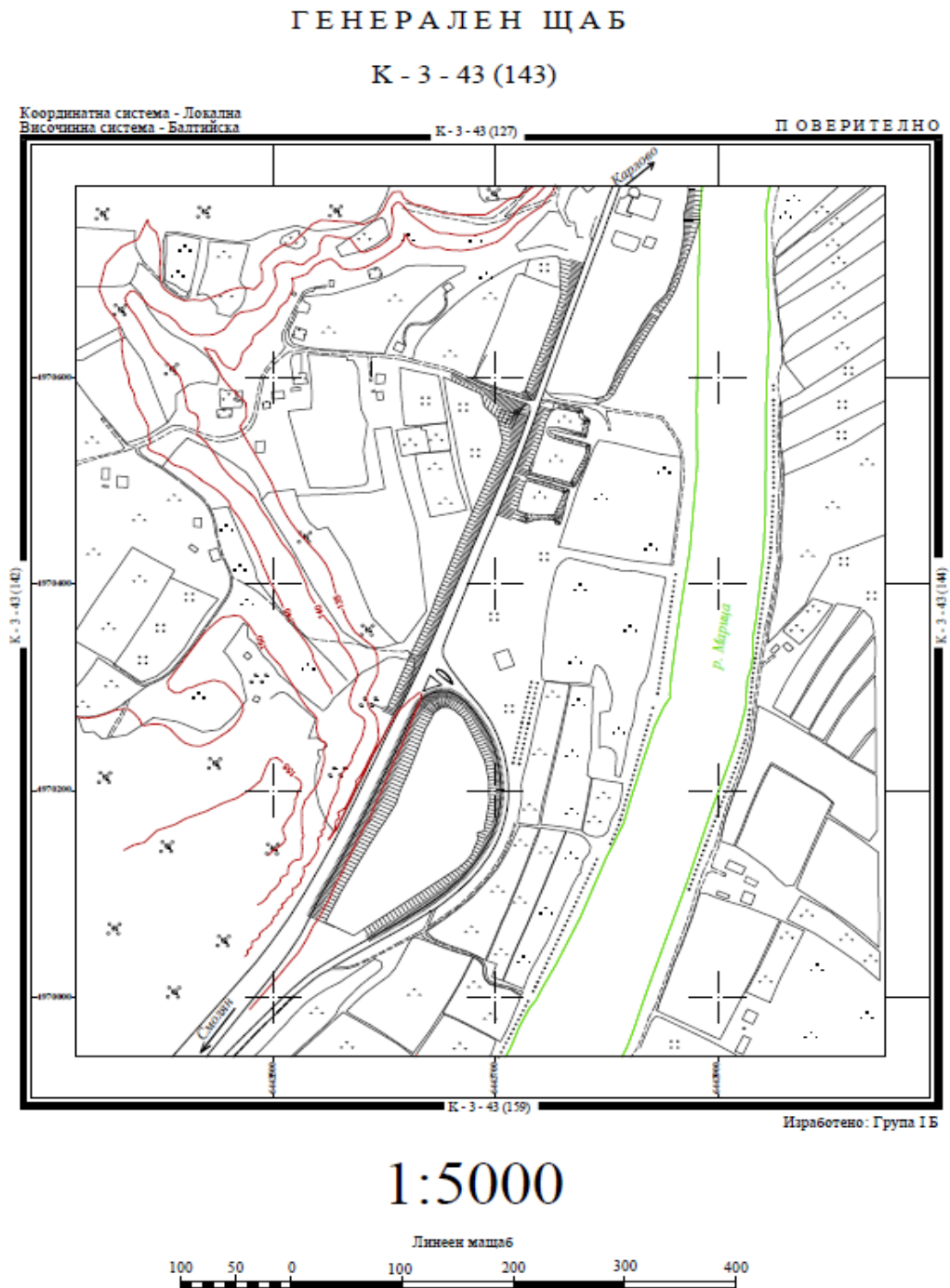
Програмата позволява да се използват и операции, свързани с група от обекти от един и същ слой или код (например масивни сгради). За целта те трябва да бъдат предварително избрани/селектирани. Това може да се извърши ръчно чрез двоен клик върху избрания обект или чрез заявка по слой, код и др. За да се маркират всички обекти от един слой, се използва иконата  (select all group objects) от кодовата таблица. А когато се избират обекти с един и същ код, се използва иконата  (select all objects with current code). Когато обектите са избрани, с тях могат да се извършват различни видове операции: изтриване, местене, промяна на код и др., описани в предходните точки. Точките са векторни обекти, поради това може да се прилагат всички операции на векторното редактиране.

Съхраняването на векторните данни се извършва от основния модул **Vectors** → **Save as** или **Save**.

Конвертиране на изчертаните данни от модула StereoDraw към други програмни продукти

След като приключи процесът по изчертаване на всички елементи, обект на топографски план, се налага данните да се конвертират, за да може да се използват в други програми и да се извърши картографска обработка на проекта. Системата разполага с големи възможности за конвертиране, осъществява вход или изход от и към широко разпространени формати – dxf, dgn, shp, asc, csv и др. Обработката на събраната информация може да се извърши в AutoCAD Civil 3D, тъй като програмата позволява експортиране на файла в *dxf или *dgn формат, като се използва командата от менюто **Vectors** → **Export** → **DXF** [28].

На фиг. 7.7 е представена Топографска карта в М 1:5000, създадена в програмната среда на Photomod Lite и оформена в среда на Auto Cad, за която са използвани „Условни знаци за едромасщабни топографски карти в мащаб 1:10 000, 1:5000 и 1:2000“ [24].



Фиг. 7.7. Топографски план в М 1:5000

Литература

- [1] Господинова, В., Р. Нейчева. Безпилотно въздушно заснемане на стадион „Национална спортна академия” и последващи сравнения между два от най-често използваните софтуери. – В: – *Геодезия, картография, земеустройство*, 2021, кн. 5–6, с. 12–17. ISSN 0324-1610.
- [2] Желязков, Й., Ю. Тепелиев. Фотограмметрия и дистанционни методи. София: Мартилен, 1992.
- [3] Кацарски, И. Основи на фотограмметрията (записки). ГИС София ООД, 2002.
- [4] Кацарски, И., И. Иванов, П. Павлова, П. Симеонов. Фотография и фотограмметрия. София: Държавно издателство „Техника“, 1989.
- [5] Лобанов, А. Н., М. И. Буров, Б. В. Краснопевцев. Фотограмметрия. Москва: Недра, 1987.
- [6] Маринов, Б. Цифрова фотограмметрия (лекционен курс). София: УАСГ.
- [7] Милев, Г., И. Милев. Приложна геодезия. Част 1: Инженерна геодезия. Книга 1 – Основи, системи и технологии в инженерната геодезия. София: Съюз на геодезистите и земеустроителите в България, 2017, 495 с. ISBN 978-619-90732-2-3. Printed edition 978-619-90732-3--0 pdf.
- [8] Наков, Н. Учебник по фотограмметрия (в две части). София: Полиграфическа база при Висшия инженерно-строителен институт, 1971.
- [9] Райков, А. Фотограмметрия. София: Държавно издателство „Техника“, 1964.
- [10] Славова, Т. Визуализирай света: пътеводител в геопространствените технологии. София: ИК „Св. Иван Рилски“ към МГУ, 2025. ISBN 978-954-353-502-6.
- [11] Тепелиев, Ю., Р. Колева, М. Асенова. Ръководство за упражнения по фотограмметрия и дистанционни изследвания, София: ИК при ЛТУ, 2013.
- [12] Тепелиев, Ю., Р. Колева, М. Асенова. Фотограмметрия и дистанционни методи. София: ИК при ЛТУ, 2018.
- [13] Хайдушки, И., П. Зафиров. Ръководство за упражнения по фотограмметрия. София: Държавно издателство „Техника“, 1976.
- [14] Хайдушки, И. Фотограмметрия. София: Държавно издателство „Техника“. 1978.
- [15] Alsadik, B. S. A. Guided close range photogrammetry for 3D modeling of cultural heritage sites, Printed by ITC Printing Department, 2014, ISBN 978-90-365, с. 35.
- [16] Moffitt, F., E. Mikhail. Photogrammetry, Third edition, Harper & Row Inc., 1980, ISBN 0-700-22517-X.
- [17] Slavova, T., D. Sosserov, A. Kamburov, Kr. Gachevska, N. Kostalov, V. Stoyankova. VR Technologies in Geospatial Education. XXIX International Symposium on Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields, 05–60, November 2019, Istanbul, Turkey, p.310–323.
- [18] <https://agisoft.freshdesk.com/support/solutions/articles/31000149339-terrestrial-shooting-scenario>
- [19] https://en.wikipedia.org/wiki/Frame_rate?utm_source
- [20] https://en.wikipedia.org/wiki/Viewing_frustum?utm_source

- [21] https://en.wikipedia.org/wiki/3DF_Zephyr
- [22] https://landingpage.tella.com/definition/bitrate?utm_source
- [23] <https://www.cadastre.bg/podzakonovi-normativni-aktove/naredba-N-rd-02-20-16-ot-5-avgust-2011-g-aerozasneman>
- [24] <https://www.cadastre.bg/uslovni-znaci-za-edromashtabni-topografski-karti-mashtabi-110-000-15000-i-12000>
- [25] https://www.3dflow.net/tutorial-point-cloud-and-mesh-filters/?utm_source
- [26] <https://3d-eu.fra1.digitaloceanspaces.com/zephyr-doc/3DF%20Zephyr%20Manual%208.000%20English.pdf>
- [27] AUTODESK. AutoCAD Civil 3D 2014 [софтуер]. San Rafael (CA): Autodesk, 2014.
- [28] RACURS. PHOTOMOD Lite 7 [софтуер]. Москва: Racurs, 2022.



Веселина Господинова. Завършила УАСГ специалност „Геодезия “ през 2004г. Защитила образователна и научна степен „Доктор“ по научна специалност „Фотограмметрия и дистанционни методи“ през 2013г. Преподавател към катедра „Маркшайдерство и геодезия“ при Минно-технологичен факултет на Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, гр. София. Автор на две монографии и над 40 публикации в български и международни списания, в сферата на фотограмметрията, дистанционните изследвания и ГИС, приложението на цифровата обработка и анализа на изображенията във фотограмметрията и дистанционните методи. Основни научни и професионални интереси в областта на цифровата фотограмметрия, дистанционните изследвания и ГИС.
