



UOT: 629.7.04

<https://doi.org/10.59849/2409-4838.2024.2.5>

## FOTOQRAMMETRİK ŞƏKİLÇƏKMƏ SİSTEMLƏRİ VƏ AEROFOTOAPARATLARIN DAXİLİ ORİENTASIYASI, ALETİN KOLLİBRASIYASI VƏ OBYEKTİVİN DİSTORSIYASI

Cəvahir Musa qızı Tunca 

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, Bakı, Azərbaycan

\*cevahir.oa@gmail.com

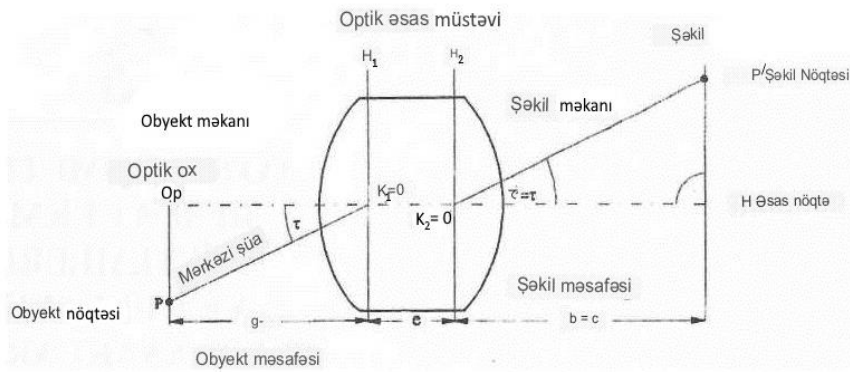
*Aero fotoqrammetriya etibarlı, həndəsi cəhətdən dəqiq, yüksək rezolyusiyaya malik coğrafi məlumatların istehsalı üçün əsas texnikadır. Passiv və aktiv rəqəmsal görüntüləmə fotoqrammetrik məlumatların çəkilişində film təsvirlərini sürətlə əvəz etməkdədir. Rəqəmsal fotoqrammetrik havadan görüntüləmə sistemlərinin kalibrləmə prosesləri inkişaf mərhələsindədir. Kalibrləmənin inkişafında əsas problemlər rəqəmsal sistemlərdə geniş dəyişiklik, radiometrik kalibrləmə ehtiyacı və dəqiq sistemin kalibrlənməsinin zəruriliyidir. Test sahəsinin kalibrlənməsi sistemin kalibrlənməsini təyin etmək üçün potensial yanaşmadır. Bu tədqiqatın fərziyyəsi ondan ibarətdir ki, sınaq sahəsində sistemin kalibrlənməsi rəqəmsal fotoqrammetrik aeroçəkiliş sistemləri üçün zəruridir və kalibrləmə həndəsi, məkan ayırma və radiometriyanı əhatə etməlidir. Eyni zamanda məqalədə aerofotoaparatlarda haqqında və onların iç quruluşu haqqında geniş məlumat verilib. AFA-nın daxili cəhətlənməsinin təsviri verilib. Burada həm də obyektivin quruluşu, diafraqmanın yerləşməsi də göstərilir. Distorsiyanın yaranma səbəbləri və bu səbəblərin bilinməsi sayəsində distorsiyanın minimuma endirilməsi və AFA-nın kalibrlənməsi üçün gərək olan şərtlər göstərilmişdir. Bu məqalədə eyni zamanda assimetrik, simmetrik və radial distorsiya prosesi də qeyd edilmişdir.*

**Açar sözlər:** Aerofotoaparatlarda obyektivin yerləşməsi, diafraqmanın yerləşməsi, distorsiyanın aradan qaldırılması.

### GİRİŞ

Ölçmə şəkilləri Aerofotoaparatlarda vasitəsi ilə əldə edilir. Fotonlar ölçmə kamerasının təsvir müstəvisində kimyəvi sensor tərəfindən tutulursa, analoq ölçmə şəklində alınır. Ölçmə AFA-nın təsvir müstəvisindəki fotonlar elektrik sensoru tərəfindən saxlanılırsa, rəqəmsal ölçmə şəklində bəhs edilir. Tədqiqat şəklində indiyədək dəqiq mərkəzi proyeksiya kimi müəyyən edilmişdir, burada proyeksiya mərkəzi təsvirin əsas nöqtəsindən  $c$  - məsafəsindədir. Bu riyaziyyat sayəsində həndəsi modelin parametrləri, yəni  $c$  sabiti və təsvirin əsas  $H$  nöqtəsinin  $\xi_0$ ,  $\eta_0$  təsvir koordinatları daxili oriyentasiya elementləri kimi müəyyən edilir [1]. Bu vəziyyət ideal sayılır və fiziki reallaşmaya tam uyğun gəlmir. Yüksək dəqiqlik tələb edən işlərdə AFA mexanikasının, optikanın və digər xətə mənbələrinin təsirləri nəzərə alınmalıdır.

Eyni zamanda xromatik aberasiya və ya rəng saçaqlığı fotoqrafiyada baş verən ümumi bir problemdir. Burada əsas problem rənglərin yanlış sıralanması, onların obyektin kənarlarında saçaq və ya parıltı kimi görünməsinə səbəb olur. Buna linzanın dizaynı, fokus uzunluğu və diafraqma da daxil olmaqla müxtəlif amillər səbəb ola bilər. Xromatik aberrasiya yüksək kontrastlı yerlərdə daha çox nəzərə çarpır və çəkiliş zamanı problem yarada bilər [8].

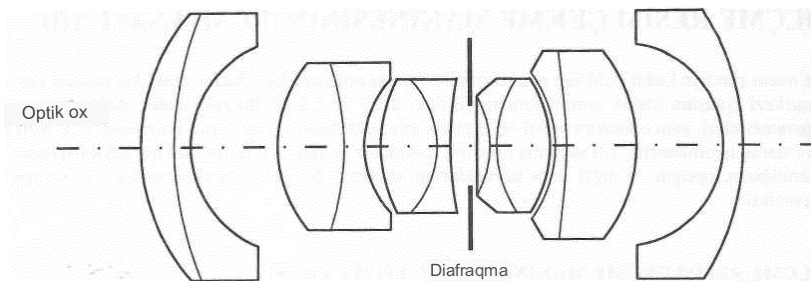


Şəkil 1. İdeal radial optik proyeksiya [2]

İdeal halda, obyektin  $K_1$  tərəfindəki proyeksiya mərkəzi  $O$ ,  $K_2$  təsvir tərəfindəki müvafiq proyeksiya mərkəzi isə  $K_2 = O'$  olacaqdır. İdeal radial optik proyeksiya şəkil 1-də təsvir edilmişdir. Şəkil 1-ə əsasən AFA sabit  $c$ -də təsvir məsafəsi  $b$ -yə bərabər olacaqdır.  $b$  - təsvir məsafəsidir və  $g$  - həmişə obyekt məsafəsidir. Onlar təyyarələrdən ölçülür. AFA-da sıfır kimi ölçülən şəkil müstəvisindəki obyekt həvəskar şəkil çəkmə maşınlarında  $E=(g+c+b)$  məsafəsini təyin etmək üçün istifadə olunur [2].

## MATERIAL VƏ METODLAR

Fotoqrammetrik optik sistemlər qalın və çox vaxt asimmetrik linzalardır. Proyeksiya xətalərini optik olaraq düzəltmək üçün linzalar müxtəlif növ şüslərdən ibarət olur. Diafraqma ümumiyyətlə optik sistemin ortasında yerləşmir. Buna görə fiziki proyeksiya mərkəzinin harada olduğu sualı bilinməlidir.



Şəkil 2. Tipik təsvir ölçmə obyektivinin en kəsiyi [2]

Obyekt nöqtəsindən gələn və optik sistemdən keçən bütün işıqlar da diafraqma bölməsindən keçməlidir. Obyekt nöqtəsindən qəbul edildiyi kimi, diafraqmanın görünən təsviri bütün obyekt nöqtələrinin təsirli şüalarını təsvirdə məhdudlaşdırır. Diafraqmanın bu görünən görüntüsünə Giriş Nöqtəsi (GN) deyilir (Şəkil 2). Onun orta nöqtəsi obyekt tərəfindəki proyeksiya mərkəzi  $O$  dur. Çıxış Nöqtəsi (ÇN) eyni şəkildə linzanın digər tərəfində baş verir [3, 4].

Real fotoqrammetrik optika və əvvəllər qeyd olunan ideal optika bir-birindən əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir.

1. Fotoqrammetriyanın etalon oxu optik ox deyil, bunun əvəzinə giriş nöqtəsinin ortasından keçən və obyekt tərəfindən təsvir müstəvisinə perpendikulyar olan kalibrlənmiş əsas şüa  $HS_A$  alınır. Onun fiziki uzadılması  $H_A$  nöqtəsində şəkil müstəvisini kəsir ki, bu da avtomatik kollimasiyanın əsas nöqtəsi adlanır.

2.  $\tau$  - bucaqları qovşaqlarda deyil,  $EP$  giriş nöqtəsinin ortasında müəyyən edilir.  $EP$  giriş nöqtəsi adətən  $H_1$  əsas müstəvisində olmadığı üçün  $\bar{\tau} \neq \tau$  bərabərsizliyi olur



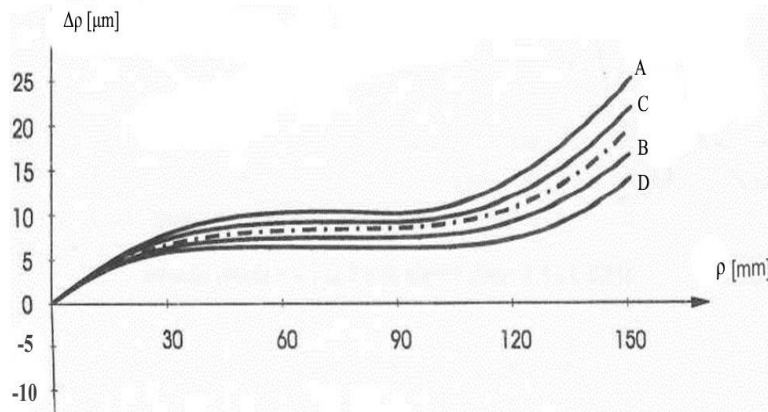
3. AFA-nın strukturundan asılı olaraq, mexaniki şəkildə əldə edilən təsvir məsafəsi -  $b$  ən yaxşı təsvir aydınlığının əldə edildiyi optik təsvir məsafəsindən bir qədər kənara çıxır.

4. Şəkil müstəviləri optik oxla tam olaraq perpendikulyar deyil.

Ən əsası, yuxarıda qeyd olunan səbəblərə görə görüntü tərəfindəki  $\tau'$  bucağı obyekt tərəfindəki  $\tau$  bucağı ilə eyni deyil. Bu səbəbdən, kamera sabiti  $l$  adlanan  $c$  dəyəri qədər  $H_A$  avtokollimasiya əsas nöqtəsindən perpendikulyar məsafədə olan  $O'_M$  adlı riyazi proyeksiya mərkəzi müəyyən edilir və  $\tau$  bucağı mümkün qədər şəkil tərəfində yaxşı reallaşdırılır. Optik təhrif  $\Delta\rho$  qalıq xətalardan baş verir.

Nəticə çox vaxt simmetrik olmur. Döngələr iç-içə deyil. Təhrif yamaqlarının asimetriyası fərdi linzaların mərkəzləşdirmə səhvlərinin nəticəsidir. Avtokollimasiya əsas nöqtədən bir qədər fərqli olan başqa bir nöqtəni etalon kimi seçməklə böyük ölçüdə aradan qaldırılabilir [4]. Ən yaxşı simmetriyanı verən bu meyar nöqtəsi  $H_S$  simmetriyasının əsas nöqtəsi adlanır.  $H_A$  avtokollimasiya əsas nöqtəsi ilə  $H_S$  simmetriya əsas nöqtəsinin yan-yanı qoyulması aşağıdakı praktik nəticələrə malikdir:

1. Təhrif yenidən hesablanmalı və simmetriyanın əsas nöqtəsi  $H_S$  ilə əlaqəli olaraq verilməlidir.
2.  $H_S$  simmetriya əsas nöqtəsi təhrifin düzəldilməsi üçün etalon kimi istifadə olunur.
3. Riyazi proyeksiya mərkəzi  $c$  dəyəri ilə  $H_A$  avtokollimasiya nöqtəsinin qarşısında yerləşməlidir;  $\xi_0$  və  $\eta_0$  mərkəzi proyeksiya tənliklərindəki qiymətlər və  $H_A$  avtokollimasiyasının əsas nöqtəsinin koordinatlarıdır.
4. Mərkəzi proyeksiya tənliklərinin və  $r_{ik}$  matris elementlərindəki fırlanmalar  $H_S$  oxu ilə əlaqədardır. (Obyekt tərəfində avtokollimasiyanın köməyi ilə həyata keçirilən hissə şəkil müstəvisinə perpendikulyardır - mərkəzi proyeksiyada istədiyiniz kimi.)



Şəkil 3. Tipik bir təsvir ölçmə linzasının kəsiyi [2]

AFA sabitinə gətiriləcək  $A_c$  korreksiyası orta əyrinin  $p$ -oxundan (balanslaşdırılmış radial təhrif) mümkün qədər az kənara çıxmasını təmin etməklə müəyyən edilir (Şəkil 3) [2, 3].

Kamera istehsalçıları bir optik simmetrik distorsiyaya sahib alətlər istehsal etməyə çalışırlar. Distorsiyanın iki əsas növü mövcuddur:

Radial təhrif: Simmetrikdir, ideal görüntü nöqtələri təhrif mərkəzindən radial istiqamətlər boyunca təhrif olunur. Bu, qüsuruz lens formasından qaynaqlanır.

Mərkəzdənqaçma təhrifi: Bu, adətən linzaların düzgün yığılmaması nəticəsində baş verir; ideal təsvir nöqtələri həm radial, həm də tangensial istiqamətdə təhrif olunur [10].

Daha yüksək dəqiqlik tələbləri üçün radial təhrif dörd yarım diaqonalda ayrıca müəyyən edilir, yəni radial asimetrik distorsiya üçün məlumatlar əldə edilir. Radial distorsiyadan başqa, tangensial distorsiya da var. Bu cür təhrif linzaların mərkəzləşdirmə səhvlərindən qaynaqlanır. Bu həmişə asimetrik distorsiyadır və radial təhrifdən kiçikdir. Müasir fotoqrammetrik məqsədlərdə radial təhrif  $\pm 5 \mu m$  daxilində qalır. Film əsaslı hava görüntüləmə maşınlarında radial təhrif  $\pm 3$



$\mu\text{m}$ -dən azdır. Köhnə tip AFA-larla əldə edilən ölçmə şəkillərində  $30 \mu\text{m}$ -ə qədər radiasiya distorsiyaya baş verə bilər. Ölçmə məqsədləri üçün istifadə ediləcək AFA-lardan ayrı AFA-lar üçün xüsusi olaraq istehsal edilən linzalarda bu dəyər  $100 \mu\text{m}$ -ə çatır [5].

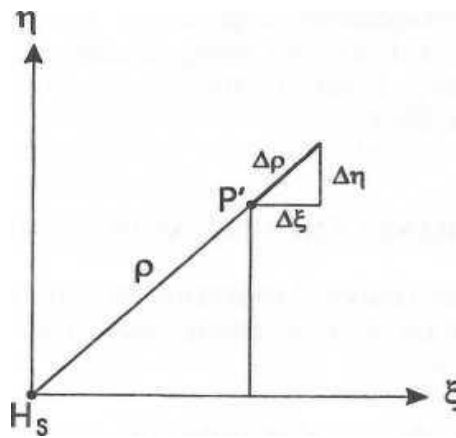
Böyük optik təhriflər, analitik və rəqəmsal fotoqrammetriya baxımından dəqiq məlum olduqda, əhəmiyyətli bir çatışmazlıq təşkil etmir. Təhlükəli olanlar təhrif dəyərlərində aşkar edilə bilməyən dəyişikliklərdir. Bu cür dəyişikliklər qeyri-sabit AFA-larda fərqli fokuslanma, vibrasiya və s. olaraq meydana çıxır.

Ölçmə məqsədləri üçün istifadə edilən AFA, təsvirin əsas nöqtəsinin təyin olunduğu koordinat sisteminə malik olmalıdır. Bu görüntü koordinat sistemi analoq və rəqəmsal AFA-lardan fərqlidir.

Bəzi fotoqrammetrik tədqiqatlarda layihənin icrası zamanı AFA kalibrənməsinin həyata keçirilməsi gözlənilir. Bu halda, özünü kalibrəlmə və ya iş yerində kalibrəlmə qeyd olunur. Riyazi olaraq, özünü kalibrəlmə test sahəsində kalibrəlmə ilə oxşar şəkildə baş verir. Özünü kalibrəlmə zamanı kalibrəlmə və obyektin yenidən qurulması eyni vaxtda baş verir. Öz-özünə kalibrəlmə zamanı yalnız XYZ koordinatları olan nəzarət nöqtələri deyil - test sahəsindəki kalibrəlmədə olduğu kimi - həm də bir çox şəkillərdə müəyyən edilmiş yeni (naməlum) nöqtələr iştirak edir [6]. Yaxın məsafələrdə özünü kalibrəlmə zamanı süni obyektlərdə ortoqonallıq və müstəvi şərait nəzərə alınır.

Obyektivin distorsiyasının düzəldilməsi laboratoriyada goniometr tərəfindən həyata keçirilir və ya sınaq sahəsində kalibrəlmə ilə əldə edilən obyektivin təhrif dəyəri ölçülür; yəni lokallaşdırılmış nöqtələrə düzəliş kimi gətirilməlidir.

Şəkil koordinatları  $\xi$  və  $\eta$  hər bir təsvir nöqtəsi üçün hesablama prosesi  $P'$  aşağıdakı kimi (Şəkil 4) müəyyən edilir. Burada koordinat sistemi müvəqqəti olaraq  $H_s$  simmetriyasının əsas nöqtəsində yerləşdiriləcək [2, 7].



Şəkil 4. Radial simmetrik təhrifin korreksiyası [1]

Burada radial uzunluğun hesablanması

$$\rho = \sqrt{\xi^2 + \eta^2}$$

düsturu ilə həll edilir [2].

### NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

Şəkil 4-də  $\Delta\rho$  radial simmetrik təhrif korreksiyasının  $\xi$  və  $\eta$  şəkil koordinatları üçün  $\Delta\xi$  və  $\Delta\eta$  korreksiya qiymətlərinə ayrılması aşağıdakı şəkildə aparılır:

$$\Delta\xi = \frac{\xi}{\rho} \Delta\rho \quad \Delta\eta = \frac{\eta}{\rho} \Delta\rho$$



Rəqəmsal şəkil ölçmə üçün linza təhrifini düzəldərkən, pikselin sonlu genişlənməsinə diqqət yetirilməlidir.  $\Delta\xi$  və  $\Delta\eta$  düzəliş böyüklükləri, bir qayda olaraq, orijinal pikselin tam qarşılığını vermir. Bu səbəbdən, orijinal təsvir matrisi yeni bir ortoqonal rasterə çevrilməlidir. Hər bir yenidən çəkiliş prosesində az və ya çox məlumat itirildiyi üçün təhrifin korreksiyası üçün bu tip təkrar çəkiliş yerinə, bütün təsvirlə əlaqəli korreksiyalar yığılır və nəhayət, təkrar çəkiliş həyata keçirilir [8, 9].

Sferik və xromatik aberasiya nəticəsində yaranan bulanıqlıq ayırdetmə qabiliyyətinə təsir edən amillərdən biridir. Optik aberasiya və digər çatışmazlıqlar diyaframı daha da daraltmaqla, yəni optik kənar şüalanmanı dayandırmaqla azaldıla bilər, lakin bu halda əyilmə səbəbindən bulanıqlıq da artır.

Optik ayırdetmə qabiliyyəti aşağı kontrastla müqayisədə yüksək obyekt kontrastında iki dəfə yüksək ola bilər. Digər tərəfdən, təsvirin ortasından kənarına doğru hərəkət etdikcə optik ayırdetmə qabiliyyəti pisləşir. Bunun səbəbi təsvirin kənarına doğru kontrastı azaldan işığın azalması və şəklın ortasından təsvirin kənarına qədər artan sferik və xromatik aberasiya nəticəsində yaranan bulanıqlıqdır.

Xromatik aberrasiya, təsvirlər daxilində sərhədlər boyunca arzuolunmaz rəng saçaqları yaranan rəngli optik cihazlarda aberasiya formasıdır. Rəqəmsal kameralar kiçildikcə, şəkil elementlərinin sayı artdıqca, bu çatışmazlıq daha kritik problemə çevrilir [10].

Bunan üçün artıq problemin həlli üçün fərqli həll yolları təklif olunub. Əvvəlcə xromatik aberasiyanı göstərməyən kənarlardakı rəng davranışı təhlil edilir və rəng fərqi siqnalları üçün diapazon məhdudiyəti təklif edilir. Piksellər əvvəlki şərti pozduqda, onlar xromatik aberasiya nəticəsində yaranan rəng saçaqları kimi qəbul edilir. Xromatik aberrasiyaları aradan qaldırmaq üçün düzəldilmiş piksel dəyərləri yaradılır. Təklif olunan alqoritm təsvirdə həm eninə, həm də uzununa aberasiya düzəldilir və onun effektivliyi nümayiş etdirilir.

## YEKUN NƏTİCƏ

AFA-ların daxili quruluşunun dəqiq bilinməsi çəkiliş zamanı baş verəcək xətalara qabaqcadan bilməyə və xətalara əngəl olmağa imkan verir. Bu sayədə müasir standartlara uyğun gələn fotoçəkiliş məhsulu əldə etmək olur.

Bildiyimiz kimi hər bir ölçmə aləti tez-tez kalibrlənməlidir. Bu proses mütləq şəkildə mütəxəssis tərəfindən həyata keçirilir. Müasir cihazlarda kolibrəmə avtomatik olaraq öz-özünə həyata keçirilir. Bu cür AFA-ların öz-özünə kolibrənməsi AFA-nın işini sürətləndirir.

Xromatik aberasiyanı azaltmaq üçün post-prosesdə linza korreksiyalarından istifadə edilə bilər, proqram təminatı üçün xromatik aberasiyanı minimuma endirmək üçün xüsusi olaraq hazırlanmış linzaları seçilməlidir.

## ƏDƏBİYYAT

1. Karl, Krauss. Fotoqrammetriya / Krauss, Karl. Nobel Akademik nəşr, – 2007, 1, – 462 s.
2. Orhan Altan, S. Fotoqrammetriya / S.Orhan Altan, G.Külür, H.Toz [et al.] – 2007.
3. Edward M. Mikhail /Modern Photogrammetry. /Wiley India/ 26.03.2001.
4. Paul R. Wolf / Elements of Photogrammetry/ The Ronald Press Company/ 01.01.1994.
5. Wilfried Linder / Digital Photogrammetry/ Springer / 06.20.2016
6. Karl, Kraus. Photogrammetry // Fundamentals and Standard Processes, – 1993.
7. Charles D. Ghilani // Elementary Surveying, – 2017.
8. Woo-Jin, Song. Removing chromatic aberration by digital image processing // Optical Engineering, – 2010.
9. Mainetti, G., Sala, R. The Importance of Camera Calibration and Distortion Correction to Obtain Measurements with Video Surveillance Systems // Journal of Physics Conference Series, – 2015.
10. Oleksandr, Semeiuta. Analysis of Camera Calibration with Respect to Measurement Accuracy // Procedia CIRP, – 2016, 41, – p. 765-770.



## INTERNAL ORIENTATION, INSTRUMENT CALIBRATION AND LENS DISTORTION OF PHOTOGRAMMETRIC IMAGING SYSTEMS AND AERIAL CAMERAS

J.M. Tunja

Aero photogrammetry is a key technique for producing reliable, geometrically accurate, high-resolution geographic data. Passive and active digital imaging is rapidly replacing film imaging in capturing photogrammetric data. Calibration processes of digital photogrammetric aerial imaging systems are under development. The main challenges in the development of calibration are the wide variation in digital systems, the need for radiometric calibration, and the need for accurate system calibration. Test field calibration is a potential approach to determine system calibration. The hypothesis of this study is that field test system calibration is necessary for digital photogrammetric aerial surveying systems and should include calibration geometry, spatial resolution and radiometry. At the same time, the article provided extensive information about aerial cameras and their internal structure. A description of the internal aspect of AFA was given. It also shows the structure of the lens and the location of the diaphragm. The causes of distortion and the conditions necessary for the minimization of the distortion and the calibration of the AFA due to the knowledge of these causes are indicated. This article also mentions asymmetric, symmetric and radial distortion processes.

**Keywords:** *Lens of aerial cameras, placement of diaphragm, elimination of distortion.*

## ВНУТРЕННЯЯ ОРИЕНТАЦИЯ, КАЛИБРОВКА ИНСТРУМЕНТОВ И ИСКАЖЕНИЕ ОБЪЕКТИВА СИСТЕМ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И АЭРОФОТОКАМЕР.

Дж.М. Тунджа

Аэрофотограмметрия - ключевой метод получения надежных, геометрически точных географических данных высокого разрешения. Пассивное и активное цифровое изображение быстро заменяет пленочное изображение при сборе фотограмметрических данных. Процессы калибровки цифровых фотограмметрических систем аэрофотосъемки находятся в стадии разработки. Основными проблемами при разработке калибровки являются большие различия в цифровых системах, необходимость радиометрической калибровки и необходимость точной калибровки системы. Калибровка в испытательных условиях — это потенциальный подход к определению калибровки системы. Гипотеза данного исследования заключается в том, что калибровка системы полевых испытаний необходима для цифровых фотограмметрических систем аэрофотосъемки и должна включать калибровочную геометрию, пространственное разрешение и радиометрию. В то же время в статье предоставлена обширная информация об аэрофотокамерах и их внутреннем устройстве. Дано описание внутреннего аспекта АФА. Здесь также показано строение хрусталика и расположение диафрагмы. Указаны причины искажений и условия, необходимые для минимизации искажений и калибровки АФА за счет знания этих причин. В этой статье также упоминаются процессы асимметричного, симметричного и радиального искажения.

**Ключевые слова:** *Объектив аэрофотоаппаратов, размещение диафрагмы, устранение дисторсии.*