

УДК 629.7.01

М.В. Андрушко, С.В. Ратушний, К.В. Андреев, С.В. Рудніченко

Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України, Чернігів

ПОГЛЯДИ НА ПРАКТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ БОРТОВИХ ОПТИЧНИХ ЗАСОБІВ РЕЄСТРАЦІЇ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Роздільна здатність бортових оптичних засобів реєстрації літальних апаратів в умовах експлуатації залежить від різних чинників. Дуже часто постає питання оцінки роздільної здатності бортових оптичних засобів реєстрації літальних апаратів при проведенні різномірних випробувань, не маючи в своєму арсеналі необхідних приладів та пристроїв. Використання запропонованого макета для оцінки роздільної здатності дозволить випробувальній бригаді в найкоротший термін та при мінімумі обладнання визначити відповідність роздільної здатності оптичних засобів реєстрації літальних апаратів заявленим вимогам в умовах проведення польотних експериментів.

Ключові слова: роздільна здатність, дистанція, фокусна відстань, міра деталізації.

Постановка проблеми

Формування зображень високої якості є найважливішим завданням бортових оптичних систем літальних апаратів. Якість цифрового зображення характеризується в першу чергу його роздільною здатністю, яка в свою чергу визначається кількістю пікселів, з яких воно складається, проте не завжди висока роздільна здатність сформованого цифрового зображення свідчить про його високу якість. Пов'язано це з тим, що роздільна здатність цифрового зображення – це кількість точок (пікселів) на одиницю площі, і ця кількість не несе в собі інформації про якість передачі зображення об'єкта оптичною системою пристрою формування. Тому якість сформованого цифрового зображення слід розглядати та оцінювати як роздільну здатність оптичної системи в комбінації з формувачем зображення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Один із способів контролю якості зображення, що створюється об'єктивом аерофотознімальних оптичних систем літальних апаратів, базується на аналізі зображення двох точкових світних об'єктів і полягає в тому, що на екрані проекційного дисплею формують два точкових світних об'єкта з заданим за напрямком вимірювання інтервалом між ними. Спосіб дозволяє оцінювати якість зображення, що створюється об'єктивом та забезпечує вимірювання розрізненості при заданому контрасті [2,4].

Роздільна здатність бортової оптичної апаратури літальних апаратів в умовах експлуатації залежить від різних чинників [1,6]. Дуже часто постає питання оцінки роздільної здатності бортової оптичної апаратури літальних апаратів при проведенні

різномірних випробувань, не маючи в своєму арсеналі необхідних приладів і пристроїв.

Метою даної статті є розгляд напрацювань для практичного удосконалення простоти визначення та оцінки роздільної здатності бортової оптичної апаратури літальних апаратів за допомогою розробленого макета-пристрою (далі – Міра) та запропонованої методики оцінки роздільної здатності.

Викладення основного матеріалу

В даний час для оцінки якості зображень використовують два критерії: граничну роздільну здатність – критерій Релея і оптичну передавальну функцію – критерій Фуко [3].

Критерій Релея свідчить, що при провалі в розподілі інтенсивності в зображенні двох близьких точок в 20 % точки сприймаються як роздільні. Для цього необхідно, щоб центральний максимум у зображенні однієї точки припадав на перший мінімум у зображенні іншої.

Критерій Релея характеризує якість зображення астрономічних телескопів, спектральних приборів і інших оптичних систем, для яких предметами є точки чи лінії.

Критерій Фуко використовується для оцінки якості зображення оптичних систем, які передають зображення об'єктів складної структури. Роздільна здатність визначається як максимальна просторова частота періодичного тест-об'єкта, що складається з чорно-білих штрихів (мір Фуко), в зображенні якого ще помітні штрихи.

Роздільну здатність зазвичай визначають для мір одиничного (абсолютного) контрасту за графіком контрастно-частотної характеристики оптичної системи. Просторова роздільна здатність

визначається для заданого контрасту як кількість ліній на міліметр. Тобто на даному етапі під просторовою роздільною здатністю розуміємо величину, яка відповідає кількості ліній на один мм, які може розрізнити система.

Роздільна здатність або роздільність – міра спроможності оптичного приладу розрізнити дрібні деталі на місцевості.

Лінійна роздільна здатність визначається як мінімальна відстань між двома окремими точковими об'єктами, при яких вони сприймаються як окремі об'єкти, а не зливаються до купи.

Кутова роздільна здатність – мінімальний кут між точковими об'єктами, коли вони ще сприймаються як окремі об'єкти.

Роздільна здатність оптичної апаратури обмежена як фундаментальними фізичними законами (дифракцією світла), так і недосконалістю застосованої оптичної апаратури.

Іншими словами, роздільна здатність визначає міру деталізації зображення, що формується відеокамерою бортової системи оптичної апаратури, причому цей параметр визначається декількома чинниками:

- характеристиками матриці камери;
- об'єктивом (його якістю, фокусною відстанню);
- дистанцією до спостережуваного об'єкта.

Роздільна здатність ІР камер визначається як множення кількості пікселів по горизонталі і вертикалі матриці (рис.1) та вимірюється в мегапикселях. Для того, щоб окремо визначити роздільну здатність по горизонталі і вертикалі, слід врахувати, що співвідношення сторін матриці складає 3:4.

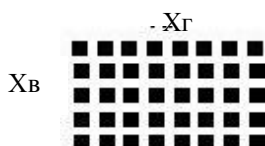


Рис. 1. Зовнішній вигляд матриці ІР камери

Якщо позначити роздільну здатність по горизонталі, вертикалі, а також камери в цілому відповідно як X_g , X_v , X_k , то отримаємо:

$$X_g = \sqrt{X_k} / 0,75$$

$$X_v = 0,75 X_g$$

Наступний момент, що впливає на деталізацію зображення, це відстань до об'єкта відеоспостереження (рис. 2).

Об'єкти H_1 і H_2 відображаються на матриці однаковим розміром H_m попри те, що їх реальні розміри різні. Тобто, на кожного з них доводиться однакова кількість елементів матриці. Відповідно, міра деталізації об'єкта H_1 буде вища (рис. 3).

З даного рисунка видно, що мінімально помітний розмір об'єкта визначається $E_1 < E_2$.

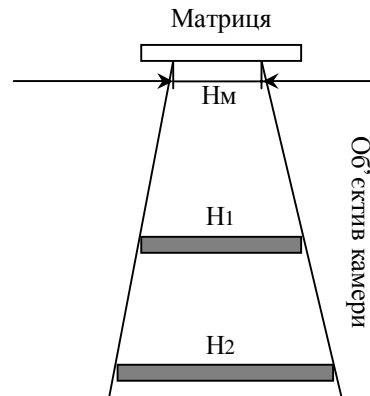
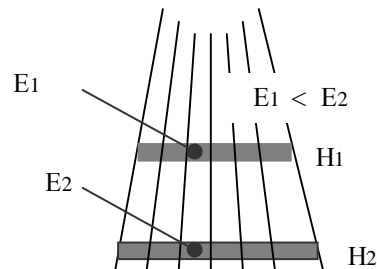


Рис. 2. Зовнішній вигляд проєкції на матрицю камери об'єктів, що знаходяться на різних відстанях



E – мінімально помітний розмір об'єкта

Рис. 3. Ступінь деталізації об'єктів

Варто відмітити, що при організації відеореєстрації практичний інтерес являє саме деталізація об'єктів, яка, як було показано, залежить не лише від розподільної здатності камери.

Змінюючи кут огляду камери відеореєстрації, який, до речі, залежить від фокусної відстані об'єктива, можна отримувати потрібну міру деталізації об'єктів, що знаходяться на різному віддаленні від відеокамери.

Кут огляду є одним з основних критеріїв при виборі камери відеореєстрації, оскільки визначає контрольовану нею зону спостереження. Для реальних оптичних систем, що мають великий кут поля огляду, роздільна здатність змінюється до країв знімка в порівнянні з роздільною здатністю в центрі. Діаметр кола нечіткості визначають за допомогою критерію Релея. Кут огляду залежить від фокусної відстані об'єктива камери і формату (розміру) її матриці [4].

При однаковій фокусній відстані більший кут огляду матиме відеокамера з матрицею більшого розміру (рис.4 а). При однакових форматах матриць він обернено пропорційний до фокусної відстані (рис.4 б).

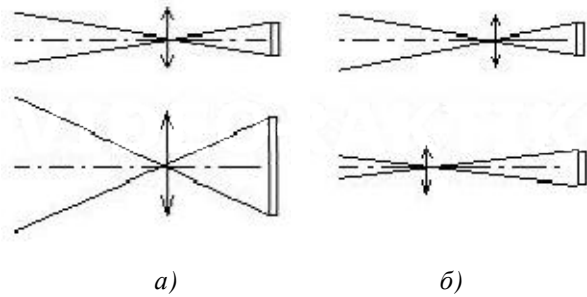


Рис. 4. Залежність кута огляду від розміру матриці камери та фокусної відстані

У таблиці 1 наведені дані, що дозволяють оцінити залежності розміру матриці камери та фокусної відстані для огляду в горизонтальній площині.

У вертикальній площині кут огляду буде менше за рахунок співвідношення сторін матриці 3:4.

Це слід враховувати при визначенні зони ефективного огляду камери, тобто формування повно-розмірного зображення об'єкта спостереження [2,5].

Вибравши відповідні значення кутів, однією камерою можна організувати спостереження практично за будь-якою зоною, проте тут є важливий обмежувачий чинник – міра деталізації зображення.

Таблиця 1

Залежності розміру матриці камери та фокусної відстані

Формат матриці	Фокусна відстань (мм)						
	2,8	4	6	8	12	16	50
Кут огляду (град)							
1/4"	64	48	33	25	17	13	4
1/3"	78	59	42	32	22	16	5
1/2"	94	74	54	42	28	21	6

Чим більшу площу контролює відеокамера, тим меншу міру деталізації може забезпечити її матриця (рис. 5).

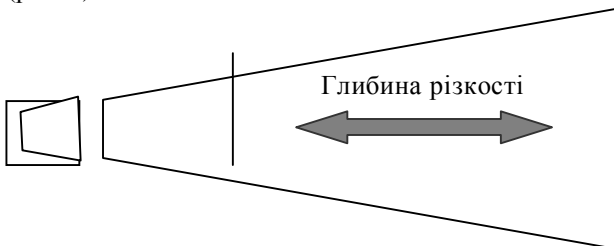


Рис. 5. Залежність деталізації об'єктів спостереження від глибини різкості

Але перед випробувачами стоїть задача не визначення якості формування зображень чи вимог до бортових оптичних систем, а яким чином, просто та наглядно перевірити чи оцінити роздільну здатність бортових оптичних систем ЛА.

Існують формули відповідні до зведеної таблиці, що дозволяють провести необхідні розрахунки для визначення конкретних значень вказаних чинників для досягнення заданих параметрів, проте для максимальної зручності пропонується схема-макет (далі – Міра) (рис. 6), що надає можливість визначити роздільну здатність встановленого фото-, відео-обладнання на літальних апаратах шляхом виміру відстані між двома контрастними об'єктами на Мірі, де камера починає їх розрізняти як окремі кольори.

Таким чином, Міра, призначена для оцінки під час випробувань роздільної здатності фото-, відео-апаратури (засобів об'єктивного контролю) літальних

апаратів, може мати наступний зовнішній вигляд (рис. 6).

Міра виконується на полотні чорного кольору квадратної форми. На полотні рисується вписане в квадрат коло з центром в центрі квадрата. Коло розбивається на рівні сегменти, які через один зафарбовуються білим кольором. Визначення відстані між двома контрастними об'єктами виконується в точках перетину окружності з суміжними сегментами одного кольору.

Максимальна відстань між сегментами (рівновіддаленими від центру точками на них) визначає максимальну роздільну здатність оптичних засобів, яку можливо оцінити.

В залежності від геометричних розмірів полотна та кількості сегментів вибирається фізичне значення максимально допустимої відстані між двома контрастними об'єктами

На рисунках 7 та 8 показані Міри для оцінки максимальної роздільної здатності 1165 мм та 2276 мм.

Міра призначена для оцінки під час випробувань роздільної здатності фото-, відеоапаратури літальних апаратів.

Вимірювання виконуються шляхом аналізу відео (фото) зображення Міри, отриманого з певної відстані. Аналізується видима частина Міри, на якій розрізняється два контрастні кольори. Отримане зображення Міри порівнюється з реальним її виглядом, і таким чином, визначається реальна роздільна здатність (відстань між двома видимими сегментами).

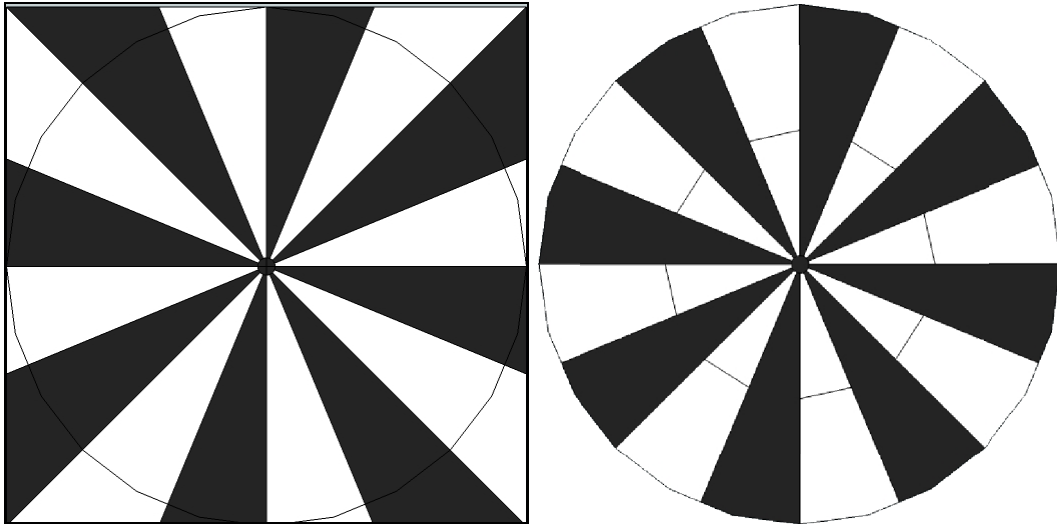


Рис. 6. Зовнішній вигляд Міри оцінки роздільної здатності фото-, відеоапаратури літальних апаратів

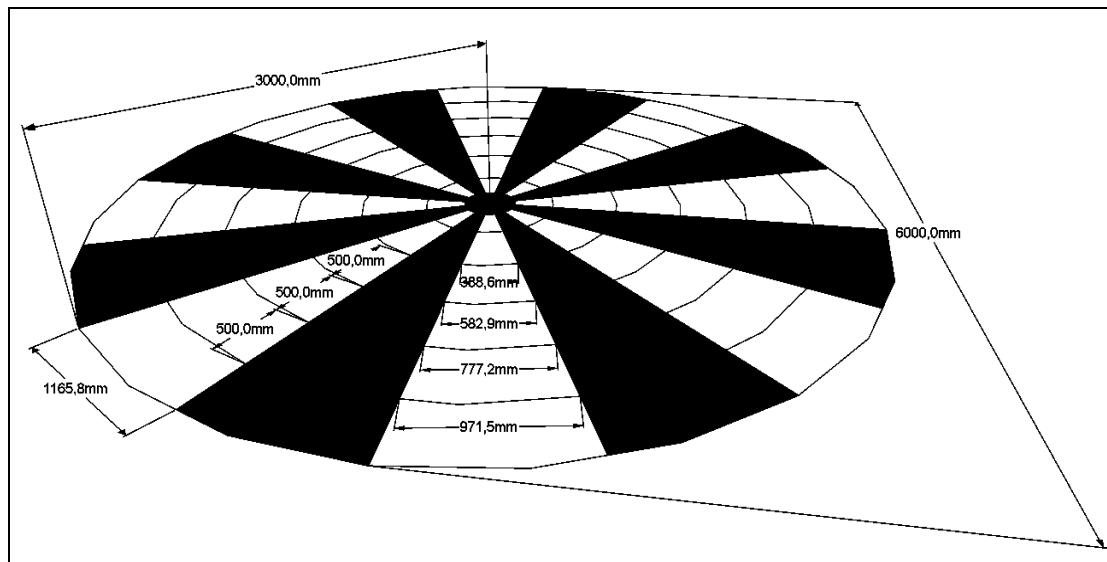


Рис. 7. Міра 16-сегментна розміром 6х6 м для визначення роздільної здатності засобів фото- та відеореєстрації літальних апаратів до 1165 мм

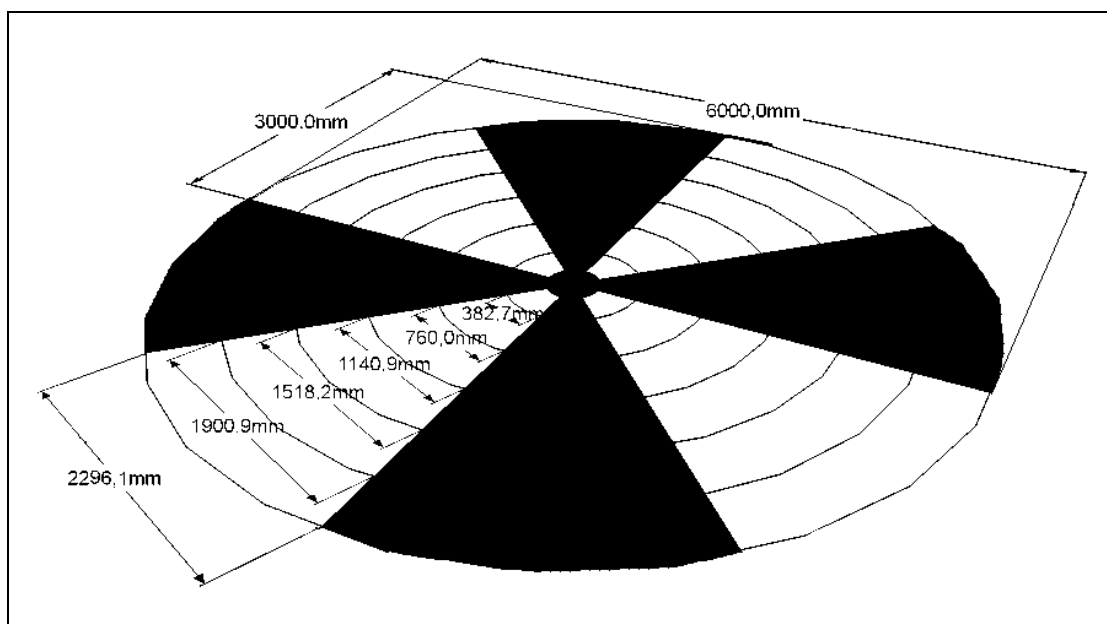


Рис. 8. Міра 8-сегментна розміром 6х6 м для визначення роздільної здатності засобів фото- та відеореєстрації літальних апаратів до 2296 мм

Розглянемо методику оцінки роздільної здатності бортової оптичної системи. Для визначення роздільної здатності бортової оптичної апаратури реєстрації літальних апаратів по зображенню сегментної Міри необхідно:

1. Отримане фото-, відеозображення Міри збільшити до розміру, зручного для опрацювання (рис. 9).

2. На збільшеному зображенні виміряти відстань від центру Міри до її краю " r_1 " та до початку видимої сегментної частини " r_2 " (рис. 9).

3. Знаючи радіус " R " Міри, визначити фактичну відстань " l " від центру Міри до видимої сегментної частини із формули співвідношень:

$$\frac{R}{r_1} = \frac{l}{r_2} \quad (1)$$

$$l = \frac{R}{r_1} r_2, \text{ де} \quad (2)$$

де l – фактична відстань від центру до видимої сегментної частини Міри; R – радіус Міри; r_1, r_2 – виміряні відстані на збільшеному зображенні Міри.

4. Знаючи фактичну відстань " l " від центру Міри до її видимої сегментної частини, виміряти відстань між сегментами " X_k ", яка і є роздільною здатністю оптичної апаратури реєстрації літальних апаратів (рис. 10).

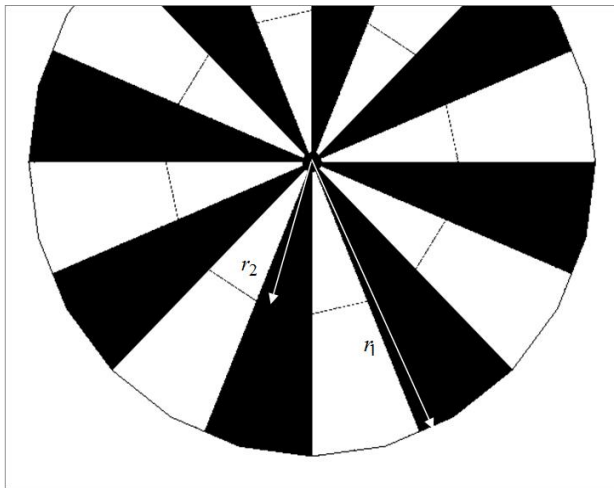


Рис. 9. Збільшене зображення Міри, отримане з борту ЛА

Виміряну роздільну здатність на Міри експериментатори (випробувачі) порівнюють з заданими в тактико-технічному завданні (технічних умовах) для оцінки відповідності заявленої роздільної здатності бортової оптичної системи літальних апаратів.

Висновок

Розглянута методика дозволить під час проведення випробувань відійти від теоретичної частини проведення розрахунків для оцінки роздільної здатності оптичних засобів реєстрації літальних апаратів. Запропонована Міра надає можливість визначити роздільну здатність встановленого оптичного обладнання шляхом виміру відстані на Міри, де камера починає розрізняти два контрастних кольори. Крім того, її виготовлення не потребує значних матеріальних затрат, а в разі виготовлення на тканині або поліетиленовій плівці, дозволяє її компактне транспортування та зберігання.

Використання Міри під час випробувань зразків ОВТ дозволить випробувальній бригаді в найкоротші

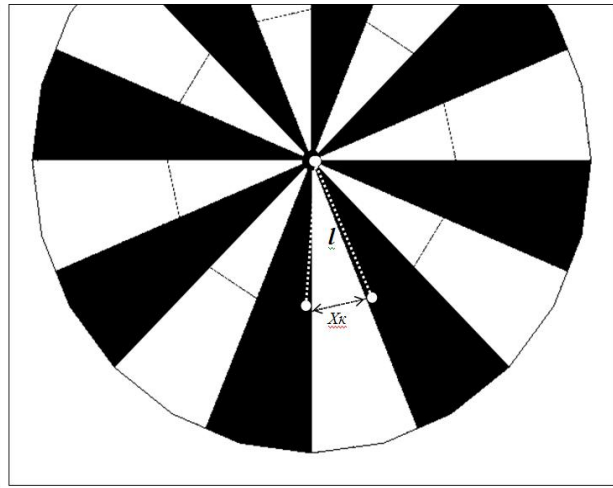


Рис. 10. Вимірювання роздільної здатності на Міри

терміни та при мінімумі обладнання визначити відповідність роздільної здатності бортової оптичної апаратури реєстрації літальних апаратів заявленим вимогам в умовах проведення льотних експериментів.

Список літератури

1. Шредер Г., Трайбер Х. *Техническая оптика*. М.: Техносфера, 2007. – 424 с.
2. Кирилловский В. К. *Оптические измерения. Инновационные направления в оптических измерениях и исследованиях оптических систем. Часть 6.* – Санкт-Петербург: ГУ ИТМО, 2008. – 131 с.
3. Лаврова Н.П. *Аэрофотосъемка. Аэрофотосъемочное оборудование: Учебник для вузов / Н.П. Лаврова, А.Ф. Стеценко.* – М.: Надра, 1981. – 296 с.
4. Веселов Ю. Г. *Выбор тест-объекта для оценки разрешающей способности цифровых оптико-электронных систем мониторинга земной поверхности [Электронный ресурс] / Ю. Г. Веселов, А. А. Данилин, В.В. Тихоньчев. Наука и образование, 2012.* – Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/file/out/505246>. – Заголовок з екрану.
5. Заказов Н.П. *Прикладная оптика* – М.: Машиностроение, 1988. – 312 с.

6. Бегунов Б.Н., Заказнов Н.П. и др. Теория оптических систем. М.: Машиностроение, 1984.

Рецензент: д.т.н., проф. О.І.Денисов, Державний науково-випробувальний центр ЗС України, Чернігів.

Взгляды на практическое определение разрешающей способности бортовых оптических способов регистрации летательных аппаратов

Н.В. Андрушко, С.В. Ратушный, К.В. Андреев, С.В. Рудниченко

Разрешение бортовых оптических средств регистрации летательных аппаратов в условиях эксплуатации зависит от различных факторов. Очень часто возникает вопрос оценки разрешения бортовых оптических средств регистрации летательных аппаратов при проведении разнородных испытаний, не имея в своем арсенале необходимых приборов и устройств. Использование предложенного макета для оценки разрешения позволит испытательной бригаде в кратчайшие сроки и при минимуме оборудования определять соответствие разрешения оптических средств регистрации летательных аппаратов заявленным требованиям в условиях проведения летных экспериментов.

Ключевые слова: разрешение, дистанция, фокусное расстояние, степень детализации.

Views on the practical determination of sustainability sittings of optical vehicles of literal apparatus registration

N. Andrushko, S. Ratushny, K. Andreev, S. Rudnichenko

The resolution of on-board optical means of registration of aircraft under operating conditions depends on various factors. Very often a question arises about the assessment of the resolution of on-board optical means of registration of aircraft in conducting heterogeneous tests without having the necessary devices and devices in its arsenal. But before the testers there is no problem determining the quality of imaging or the requirements for on-board optical systems, and the task of how to simply and visually test or evaluate the resolution of on-board optical systems of aircraft. There are formulas, corresponding summary tables that allow you to make the necessary calculations to determine the specific values of these factors to achieve the specified parameters, however, for maximum convenience, a scheme - a layout (hereinafter - Measure) is proposed that allows determining the resolution of the installed photo and video equipment on aircraft by measuring the distance between two contrasting objects in Measure, where the camera begins to distinguish them as separate colors. Measurements are performed by analyzing the video (photo) of the image of the measure obtained from a certain distance. The visible part of Miri is analyzed, which distinguishes two contrasting colors. The resulting image is compared to its actual appearance, and thus the real resolution (the distance between the two visible segments) is determined. Thus, the Measure is intended for evaluation during testing of resolution of photo, video equipment (means of objective control) of aircraft. The considered technique will allow during the tests to move away from the theoretical part of calculations to assess the resolution of optical means of registration of aircraft. In addition, its production does not require significant material costs, and in the case of fabric or plastic film, it allows for its compact transportation and storage. The use of the proposed layout for the assessment of resolution will allow the test team, in the shortest possible time and with minimum equipment, to determine the compliance of the resolution of the optical means of registration of aircraft with the declared requirements in the conditions of flight experiments.

Keywords: resolution, distance, focal length, measure of detail.
