

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра \_\_\_\_\_ авіоніки \_\_\_\_\_

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ ПАВЛОВА С.В.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

## ДИПЛОМНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСНИКА ОСВІТНЬОГО РІВНЯ СТУПЕНЯ

«МАГІСТР»

Тема: «Лабораторний стенд випробування цифрового аерофотоапарату»

Виконавець: ШАРУДИЛО Олександр Петрович

Керівник: доцент Белінський Валерій Миколайович

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

Охорона праці: асистент Козлітін Олексій Олександрович

Охорона навколишнього

Середовища: доцент Бовсуновський Євгеній Олексійович

Нормоконтролер: Левківський Василь Васильович

Київ 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра авіоніки

Спеціальність 173 «Авіоніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

С.В. Павлова

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р

**ЗАВДАННЯ**

ШАРУДИЛО Олександр Петрович

**1. Тема дипломної роботи:** «Лабораторний стенд випробування цифрового аерофотоапарату»

затверджена наказом ректора від «22» вересня 2021 р. №1945/ст.

**2. Термін виконання роботи:** з 18.10. 2021 по 31.12.2021 р.

**3. Вихідні дані до роботи:** цифровий аерофотоапарат літака відеоспостереження

**4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):**  
Цифрові аерофотоапарати літаків повітряного спостереження. Дослідження методик та технологій вимірювання характеристик аерофотоапарату. Розрахунок роздільної здатності цифрового аерофотоапарату. Розробка експериментальної установки для дослідження цифрового аерофотоапарату. Охорона праці. Охорона навколишнього середовища

**5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:**

Тестові таблиці, схема лабораторної установки, макет цифрового аерофотоапарату літаків повітряного спостереження, оптична схема експериментальної установки, міри для тестування ЦФА

## 6. Календарний план-графік

№ п/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Цифрові аерофотоапарати літаків повітряного спостереження.	05.10-20.10 2021	
2.	Дослідження методик та технологій вимірювання характеристик аерофотоапарату.	21.10-02.11 2021	
3	Розрахунок роздільної здатності цифрового аерофотоапарату.	03.11-15.11 2021	
4.	Розробка експериментальної установки для дослідження цифрового аерофотоапарату.	16.11-28.11 2021	
5.	Охорона праці.	29.11-03.12 2021	
6.	Охорона навколишнього середовища	04.12-07.12 2021	
7.	Підготовка графічного матеріалу	08.12-10.12 2021	
8.	Оформлення пояснювальної записки	11.12-12.12 2021	
9.	Представлення на кафедрі. Усунення недоліків, оформлення пояснювальної записки	13.12-15.12 2021	
10.	Підготовка до рецензування	16.12-18.12 2021	

### 7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Розділ 1–4	доцент Белінський В.М.		
Охорона праці	асистент Козлітін О. О.		
Охорона навколишнього середовища	доцент Бовсуновський Є. О.		

8. Дата видачі завдання: « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Керівник дипломної роботи \_\_\_\_\_ Белінський В.М.  
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Шарудило О.П.  
(підпис випускника) (П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту «Лабораторний стенд випробування цифрового аерофотоапарату»:

100 сторінки, 33 рисунки, 6 таблиць, 19 використаних джерел.

ЛІТАК ПОВІТРЯНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ, ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ФОТОЗЙОМКИ, БЛОК СХЕМА ЦИФРОВОГО ФОТОАПАРАТУ, ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА, ФІЛЬТР НИЖНІХ ЧАСТОТ.

Об'єкт дослідження – цифровий фотоапарат, предмет дослідження – характеристики цифрових аерофотоапаратів і їх вплив на якість фотографічного зображення .

Мета дипломного проекту – розробка та дослідження технології тестування цифрового аерофотоапарату

Матеріали дипломного проекту рекомендується використовувати при у початковому процесі та в практичній діяльності фахівців з технічної експлуатації.

## ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ЦИФРОВІ АЕРОФОТОАПАРАТИ ЛІТАКІВ ПОВІТРЯНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ.....	10
1.1. Льотно-технічні характеристики літаків повітряного спостереження, патрульних літаків та літаків-розвідників.....	10
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИК ТА ТЕХНОЛОГІЙ ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АЕРОФОТОАПАРАТУ.....	32
2.1. Характеристики аерофотоапарату що впливають на якість фотографічного зображення.....	32
2.2. Взаємозв'язок характеристик якості зображень з параметрами аерофотоапарата та режимами польоту літального апарату.....	42
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ЦИФРОВОГО АЕРОФОТОАПАРАТУ.....	48
3.1. Розрахунок частотно-контрастної характеристики.....	48
3.2. Розрахунок порогової характеристики.....	57
3.3. Розрахунок роздільної здатності.....	63
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВОГО АЕРОФОТОАПАРАТУ.....	67
4.1. Методика визначення роздільної здатності цифрового аерофотоапарату.....	67
4.2. Технологія випробування цифрового аерофотоапарату в лабораторних умовах.....	74
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	79
5.1. Шкідливі і небезпечні виробничі чинники при виробництві цифрового аерофотоапарату.....	80
5.2. Організація та технічні заходи щодо виключення або зменшення впливу шкідливих та небезпечних виробничих факторів.....	81
5.3. Забезпечення пожежної і вибухової безпеки.....	82

5.4. Інструкція з техніки безпеки при те цифрового аерофотоапарату.....	85
5.5. Розрахункова частина.....	86
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	88
6.1. Актуальність цифрового аерофотоапарата з питання охорони навколишнього середовища.....	88
6.2. Вплив на організм людини електромагнітного випромінювання.....	89
6.3. Вплив електростатичного поля на людину.....	95
6.4. Висновки.....	96
ВИСНОВКИ.....	98
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	99

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ:

АФА – аерофотоапарат

АФК – аерофотокамера

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

БФІ – багатофункціональний індикатор

ЕМП – електромагнітне поле

ЕОМ – електронна обчислювальна машина

КЧХ – комплексні частотні характеристики

ЛЕП – лінії електропередачі

НВЧ – надвисоки частоти

ОККД – об'ємний коефіцієнт корисної дії

ПКВ Подвійна корельована вибірка

ПС – повітряне судно;

РЛС – радіолокаційних станцій

ФПМ – фотоприймач

ФРТ – функцію розсіювання точки

ЦАФА – цифровий аерофотоапарат

ЧКХ – частотно-контрастні характеристики

E/WD – Engine/WarningDisplay

EIS – Electronic Instrument System

ICAO – Международная организация гражданской авиации

ND – NavigationDisplay

PFD – PrimaryFlightDisplay

RMVA – RightMark Video Analyzer



## ВСТУП

Аерофотознімання під час патрулювання та повітряного спостереження здійснюється із застосуванням літаків спостереження, обладнаних топографічними або розвідувальними аерофотоапаратами. Більшість спостережних польотів виконуються з використанням топографічних аерофотоапаратів, тоді як розвідувальні аерофотоапарати використовуються для отримання більш повної інформації зі значних висот спостережних польотів.

На поточний момент на українських літаках спостереження АН-74П та АН-30 встановлені топографічні та розвідувальні плівкові аерофотоапарати: А-84, УА-47 з блоком піропатронів, АЗ9, АФА-41/20, АФА-41/10, АФА-41/7,5, АФА-42/20, АФА-54/50-ФК, які розроблені в 60- 70-ті роки минулого століття і вже є морально застарілими. На повітряних суднах іноземного виробництва вже встановлюються цифрові аерофотоапарати різних виробників.

Одним зі шляхів підвищення ефективності аерофотознімання в повітряному спостереженні є вдосконалення аерофотоапаратів, які встановлюються на літаках спостереження, шляхом оснащення їх точними цифровими аерофотосистемами.

Метою дипломного проекту є аналіз льотно-технічних характеристик літака спостереження та цифрового аерофотоапарата та оцінка впливу їх характеристик на якість фотографічного зображення.

**РОЗДІЛ 1**  
**ЦИФРОВІ АЕРОФОТОАПАРАТИ ЛІТАКІВ ПОВІТРЯНОГО**  
**СПОСТЕРЕЖЕННЯ**

**1.1. Льотно-технічні характеристики літаків повітряного спостереження, патрульних літаків та літаків-розвідників**

Під аерофотозйомкою розуміють фотографування територій з висоти від сотень метрів до десятків кілометрів за допомогою аерофотоапаратів, якими обладнані літальні апарати наприклад літаки, вертольоти, літаки-розвідники, безпілотні літальні апарати.

Повітряне фотографування характеризується наступними особливостями:

1. Повітряне фотографування здійснюється з нежорсткої основи, що виконує не складні рухи під дією неперервних аеродинамічних збурень та вібрацій.
2. Між об'єктом фотографування та фотоапаратом завжди знаходиться прошарок атмосфери, який спектрально вибірково розсіює і поглинає світло.
3. Освітлення об'єктів аероландшафту та їх контраст змінюється в досить великому діапазоні, що пред'являє підвищені вимоги до АФА-обладнання та оптичної системи.
4. Швидкість фотозйомки досягає таких значень, що відбувається зсув фотографічного зображення і необхідно здійснювати спеціальні заходи для його компенсації.

Кафедра авіоніки				НАУ 21 07 35 000 ПЗ			
Виконав	Шарудило О.П.			ЦИФРОВІ АЕРОФОТОАПАРАТИ ЛІТАКІВ ПОВІТРЯНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ	Літера	Аркуш	Аркуші
Керівник	Белінський В.М.						
Консульт.	Белінський В.М.						
Н-контр.	Левківський В.В.						
Зав. каф.	Павлова С.В.						
					173 «Авіоніка»		

Умови польоту, які змінюються, – температура, тиск – впливають на параметри АФА, що потребує заходів компенсації цього впливу на якість зображення.

5. Малі розміри зображення об'єктів фотографування потребують підвищеної роздільної здатності системи та збільшення добротності фотографічної системи.

Літак АН-30, зображений на рис. 1.1, використовується для широкого кола задач, які відносяться до фотограмметрії та аерофотозйомки. Літак було розроблено в 1967 році на базі пасажирського літака АН-24. АН-30 відрізняється від оригіналу повністю зміненою носовою частиною фюзеляжу [35-37].



Рис. 1.1. Зображення літака АН-30

Майже всю носову частину фюзеляжу займає кабіна штурмана і спеціальне обладнання. Зображення фото люків на літаку спостереження показано на рис. 1.2 В підлозі цієї кабіни влаштовано п'ять люків, які використовуються наступним чином:

– над фото люком 1 можуть бути встановлені п'ять типів топографічних аерофотоапаратів на жорстких горизонтальних опорах та два типи апаратів на гіростабілізованих опорах;

– над фото люком 2 розташовано автоматичний електронний командний апарат, за допомогою якого витримується необхідний темп зйомки;

– над фото люком 3 можуть бути встановлені п'ять типів топографічних допоміжних аерофотоапаратів. Крім того, тут, як і над фото люками 4 та 5, можуть бути встановлені аерофотоапарати для фотозйомки в трьох напрямках. Всі аерофотоапарати керуються дистанційно за допомогою командних апаратів. Встановлений на АН-30 комплекс навігаційного і топографічного обладнання дозволяє складати високоякісні топографічні карти в масштабі від 1:10 000 до 1: 150 000.

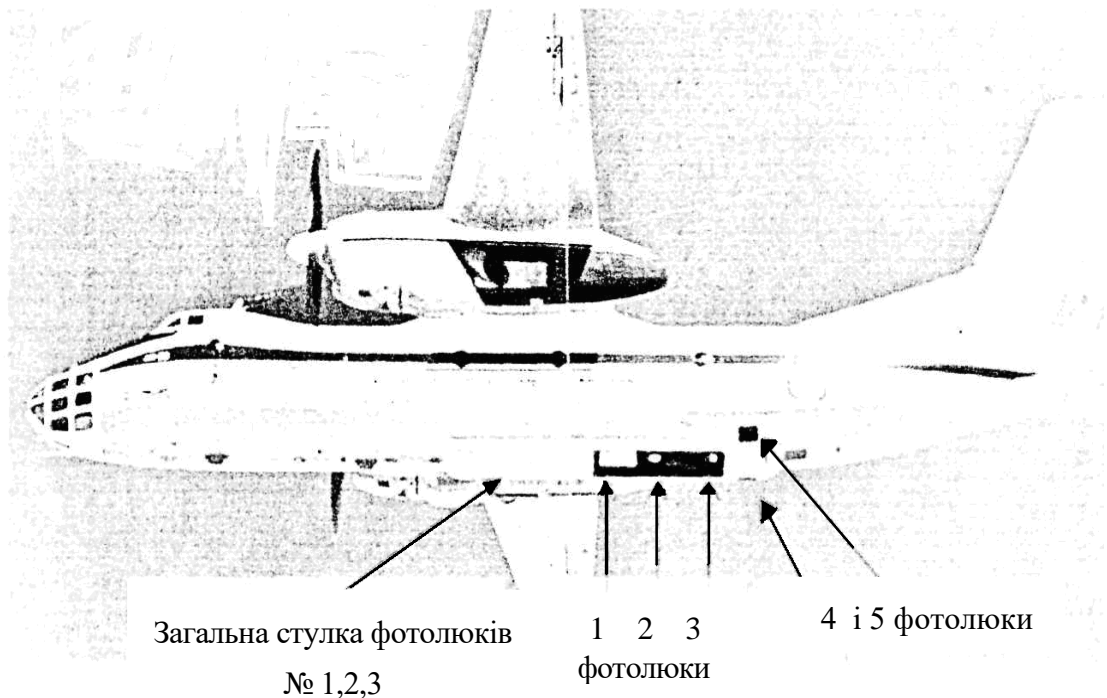


Рис. 1.2. Зображення розташування фото люків літака спостереження АН-30

Так як для аерофотозйомки дальність польоту має особливо важливе значення, в центроплані встановлено шість додаткових м'яких паливних баків загальною ємністю 1600 кг палива, що дозволило збільшити практичну дальність польоту на висоті 6000м при швидкості 440км/час до 2880 км. При необхідності спеціальне обладнання може бути демонтовано і АН-30 може використовуватися як звичайний транспортний літак.

Основні характеристики:

- Екіпаж: 7 чоловік
- Довжина: 24,26 м

- Розмах крила: 29,20 м
- Висота: 8,32 м
- Площа крила: 74,98 м<sup>2</sup>
- Профіль крила: трапецієвидне
- Маса пустого: 15590 кг
- Нормальна злітна маса: 20300 кг
- Максимальна злітна маса: 23000 кг
- Маса палива у внутрішніх баках: 4820 кг
- Силова установка: 2 × Турбогвинтовий АІ-24ВТ
- Потужність двигунів: 2 × 2820 к.с. (2 × 2074 кВт)
- Повітряний гвинт: АВ-72
- Діаметр гвинта: 3,9 м
- Допоміжна силова установка: 1 × турбореактивний РУ19А-300
- Тяга допоміжної силової установки 1×800 кгс.

Льотні характеристики:

- Максимальна швидкість: 540 км/год
- Крейсерська швидкість: 430 км/год
- Практична дальність: 1240 км
- Перегінна дальність: 2600 км
- Практична висота польоту: 8300 м
- Довжина розгону: 710 м
- Довжина пробігу: 525 – 670 м.

Літак АН-72П, зображено на рис.1.3, призначений для ведення патрульної служби в прилеглий до узбережжя 200-мильної морської зони. Прицільно-навігаційне і пілотажне устаткування забезпечує автоматичне літаководіння на всіх етапах польоту, виведення літака в задану точку, апаратурний пошук, визначення координат надводних суден, їх швидкостей і курсів руху[36].



Рис.1.3. Літак АН-72П

Для припинення дій суден-порушників АН-72П озброєний гарматою ГШ-23Л з 250 патронами, двома блоками некерованих ракет і чотирма бомбами калібром 100 кг. Обладнання, встановлене на літаку, забезпечує аерофотозйомку цілей в денний час і з допомогою освітлювальних патронів СФП-2А - у нічний час.

Льотно-тактичні дані:

- Екіпаж: 3 чол;
- Розмах крила: 31.89 м;
- Довжина: 28.07 м;
- Висота: 8.65 м;
- Площа крила: 98.62 кв.м;
- Маса порожнього літака: 19050 кг;
- Маса нормальна злітна: 34500 кг;
- Тяга не форсажна: 73.62 кгс;
- Маса палива нормальна: 12950 кг;
- Максимальна швидкість: 705 км / год;
- Крейсерська швидкість: 550 км / год;
- Практична дальність: 4800 км;
- Бойовий радіус дії у землі: 800 км;
- Бойове навантаження, кг 7500

Літак АН-74П (рис1.4) призначений для патрулювання територіальних вод та 200-мильної економічної зони вдень та вночі, в простих та складних умовах. Створений на базі літака АН-72П для виконання патрульних завдань у складі авіації прикордонних військ. Крім того, літак може застосовуватись для перевезення людей та вантажів у санітарному варіанті. Переобладнання вантажної кабіни для вирішення зазначених задач виконується в умовах експлуатації. Літак АН-74П відрізняється пониженою максимальною злітною масою та масою вантажу при транспортних перевезеннях.



Рис. 1.4. Літак АН-74П

На літаку АН-74П встановлені два турбовентиляторних двигуна Д-36 серії 3А виробництва ВАТ «Мотор Січ» (Запоріжжя), котрі відповідають вимогам ІСАО щодо низького рівня шуму та викиду забруднюючих речовин в атмосферу. Двигун Д-36 та його модифікації є надійними та економічними. До основних своїх переваг відносять низький питомий розхід палива на усіх експлуатаційних ресурсах, простота та технологічність обслуговування, висока ремонтпридатність, забезпечення модульності конструкції, можливість застосування при зльоті надзвичайного режиму в умовах

високогір'я та високих температур. Основні технічні дані фотокамери нічного типу, яка використовується на літаку АН-74, наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2.

Основні технічні данні нічного аерофотоапарата УА-47  
встановленого на літаку АН-74

Найменування технічних даних	Аерофотоапарат УА-47
Захват місцевості на частку висоти	700...3650
Засіб підсвіту місцевості	Фотопатрони СФП-2А
Тип аерофотооб'єктиву	УРАН-27
Тип аерофотозатвору	Центральний
Тип аерофотоплівки	Тип 24 та 29
Розмір аерофотоплівки, см х см	8 х 2850
Розмір кадру, см х см	7 х 8
Кількість кадрів	400
Перфорація плівки	так
Витримка що визначається аерофотозатвором, с	0,27...0,43
Фокусна межа, см	10
Кути зору АФА, град.	44 х 39
Наявність САКЗЗ, мм/с	Лінійна 17...92
Центр	33
Край	8

## 1.2. Основні типи цифрових аерофотоапаратів

### 1.2.1. Серія АІС:



Рис. 1.5. Цифровий аерофотоапарат Modular LS 39 MPix



Тип АФА	AIC Modular LS 22MPix	AIC Modular LS 39 MPix ProLens	AIC Modular LS 39 MPix	AIC Pro 60 MPix
Тип задника	PhaseOne H25	PhaseOne P45	PhaseOne P45	PhaseOne P65+
Розмір матриці	22 Мпікс (5440x4080 пікс)	39 Мпікс (5412x7216 пікс)	39 Мпікс (5412x7216 пікс)	60,5 Мпікс (6732x8984 пікс)
Розмір CCD матриці	36,9x48,7 мм	36,8x49,1 мм	36,8x49,1 мм	53,9x40,4 мм
Розмір пікселя	9 мкм	6,8 мкм	6,8 мкм	6 мкм
чутливість	ISO 50 – ISO 400	ISO 50 – ISO 400	ISO 50 – ISO 400	ISO 50 – ISO 800 (до 3200 в режимі “Sensor+”)
Динамічний діапазон сенсора	13 біт	13 біт	13 біт	13 біт
Формат первинних даних	RAW, 48-бітне кодування кольору	RAW, 48-бітне кодування кольору	RAW, 48-бітне кодування кольору	RAW, 48-бітне кодування кольору
Розмір RAW-файла	46 Мбайт	Від 26 Мбайт, використовується зжимання без втрат	Від 26 Мбайт, використовується зжимання без втрат	Від 40 Мбайт, використовується зжимання без втрат
Формат вихідних даних	JPEG, TIFF 8біт, 16 біт	JPEG, TIFF 8біт, 16 біт	JPEG, TIFF 8біт, 16 біт	JPEG, TIFF 8біт, 16 біт
Інтервал знімання на комп'ютер	Від 2,5 сек (залежить від комп'ютеру, що застосовується), встановлюється оператором	Від 2,5 сек (залежить від комп'ютеру, що застосовується), встановлюється оператором	Від 2,5 сек (залежить від комп'ютеру, що застосовується), встановлюється оператором	Від 2,5 сек (залежить від комп'ютеру, що застосовується), встановлюється оператором
Мінімальний інтервал знімання	2 сек	1,7 сек	1,7 сек	1,2 сек
Об'єктиви	Змінні, виробництва Schneider-KREUZNACH	Змінні, виробництва Schneider-KREUZNACH, серія Professional Lens	Змінні, виробництва Schneider-KREUZNACH	Змінні, виробництва Schneider-KREUZNACH, серія Professional Lens
	“Super-Angulon 3,5/40мм”	“Apodigitar 5,6/35 мм”	“Super-Angulon 3,5/40 мм”	“Apodigitar 5,6/35 мм”
	“Super-Angulon 2,8/50 мм”	“Digitar 5,6/72 мм”	“Super-Angulon 2,8/50 мм”	“Digitar 5,6/47 мм”
	“Xenotar 2,8/80 мм”	“Aposironar 4,0/60 мм”	“Xenotar 2,8/80 мм”	“Aposironar Digitar 4,0/60 мм”

	Інші з фокусними відстанями 90-300 мм	“Apodigitar 5,6/72 мм”	Інші з фокусною відстанню 90-300 мм	“Apodigitar 5,6/72 мм” “Apodigitar 5,6/100 мм”
Затвор	Виробництва Rollei, центральний пелюстковий, розташований в об’єктиві	Виробництва Rollei, центральний пелюстковий, розташований в об’єктиві	Виробництва Rollei, центральний пелюстковий, розташований в об’єктиві	Центральний пелюстковий, розташований в об’єктиві
Витримка	30 сек – 1/1000 сек	30 сек – 1/1000 сек	30 сек – 1/1000 сек	30 сек – 1/1000 сек
Діапазон апертури	Залежить від об’єктиву	Залежить від об’єктиву	Залежить від об’єктиву	Залежить від об’єктиву
Додаткова фіксація об’єктиву	Присутня, двома фіксуючими гвинтами	Присутня, двома фіксуючими гвинтами	Присутня, двома фіксуючими гвинтами	Присутня, двома фіксуючими гвинтами
Типова наробка для відмови об’єктиву	150 000 спрацювань затвору, при впливі жорстких вібрацій 50 000. Сама камера не має рухливих частин	500 000 спрацювань затвору по результатам лабораторних випробовувань, при впливі жорстких вібрацій 50 000. Сама камера не має рухливих частин	150 000 спрацювань затвору, при впливі жорстких вібрацій 50 000. Сама камера не має рухливих частин	500 000 спрацювань затвору по результатам лабораторних випробовувань, при впливі жорстких вібрацій 50 000. Сама камера не має рухливих частин
Знімання в інфрачервоному діапазоні (до 1,1 мкм)	Можливе (потрібне доопрацювання АФА)	Можливе (потрібне доопрацювання АФА)	Можливе (потрібне доопрацювання АФА)	Неможливе
Живлення камери	Напруга – 18В-35В, сила струму – сер 250 мА	Напруга – 18В-35В, сила струму – сер 250 мА	Напруга – 18В-35В, сила струму – сер 250 мА	Напруга – 18В-35В, сила струму – сер 250 мА
Живлення задника	Тільки по FireWire, 8-33 В постійного струму	по FireWire, 8-33 В постійного струму або від акумулятора ”7,2 V Lithium Ion 2500 mAh” (приблизно на 250 знімків або 4 години роботи)	по FireWire, 8-33 В постійного струму або від акумулятора ”7,2 V Lithium Ion 2500 mAh” (приблизно на 250 знімків або 4 години роботи)	по FireWire, 8-33 В постійного струму або від акумулятора ”7,2 V Lithium Ion 2500 mAh” (приблизно на 2000 знімків або 4 години)
Габаритні розміри камери з об’єктивом (ДхШхВ), мм	Залежить від об’єктива, з об’єктивом 2,8/50 230x140x130	Залежить від об’єктива, з об’єктивом 5,6/47 мм 160x140x130	Залежить від об’єктива, з об’єктивом 2,8/50 230x140x130	Залежить від об’єктива, з об’єктивом “Digitae 5,6/47мм” 160x140x130

Вага камери без кабелів та елементів живлення	Залежить від об'єктива, з об'єктивом 2,8/50 вага складає 2,5кг, вага об'єктиву 2,8/50 – 0,9кг	Залежить від об'єктива, з об'єктивом 5,6/47 мм вага складає 2 кг, вага об'єктиву – 0,5 кг	Залежить від об'єктива, з об'єктивом 2,8/50 вага складає 2,5кг, вага об'єктиву 2,8/50 – 0,9кг	Залежить від об'єктива, з об'єктивом “Digitae 5,6/47мм” вага складає 2кг, включаючи вагу об'єктива – 0,5кг
Умови експлуатації	Температура - 10..+40°C Відносна вологість 0-95% без утворення конденсату	Температура - 10..+40°C Відносна вологість 0-95% без утворення конденсату	Температура +10..+40°C Відносна вологість 0-95% без утворення конденсату	Температура +10..+40°C Відносна вологість 15-80% без утворення конденсату
Умови зберігання	Температура - 10..+50°C Відносна вологість 0-95% без утворення конденсату	Температура - 10..+50°C Відносна вологість 0-95% без утворення конденсату	Температура - 10..+50°C Відносна вологість 0-95% без утворення конденсату	Температура - 10..+50°C Відносна вологість 0-95% без утворення конденсату
Під'єднання кабелів	Екранізовані роз'єми з різьбовою фіксацією, ступінь захисту IP67	Екранізовані роз'єми з різьбовою фіксацією, ступінь захисту IP67	Екранізовані роз'єми з різьбовою фіксацією, ступінь захисту IP67	Екранізовані роз'єми з різьбовою фіксацією, ступінь захисту IP67
Кріплення камери	За допомогою 4х анкерних гайок, можлива блок-рама	За допомогою 4х анкерних гайок, можлива блок-рама	За допомогою 4х анкерних гайок, можлива блок-рама	За допомогою 4х анкерних гайок, можлива блок-рама
Можливість роботи без комп'ютера	ні	Можливо, запис знімків на карту пам'яті CF, управління затвором – від системи FMS, управління експозицією – автоматичне з пріоритетом діафрагми	Можливо, запис знімків на карту пам'яті CF, управління затвором – від системи FMS, управління експозицією – автоматичне з пріоритетом діафрагми	Можливо, запис знімків на карту пам'яті CF, управління затвором – від системи FMS, управління експозицією – автоматичне з пріоритетом діафрагми
Калібровка	Всі об'єктиви, що надані у комплекті, мають сертифікати фотограмметричної калібровки	Всі об'єктиви, що надані у комплекті, мають сертифікати фотограмметричної калібровки	Всі об'єктиви, що надані у комплекті, мають сертифікати фотограмметричної калібровки	Всі об'єктиви, що надані у комплекті, мають сертифікати фотограмметричної калібровки
ПЗ управління камерою	ControlOne, дозволяє проводити знімання, задавати параметри	Control 6008, дозволяє проводити знімання, задавати параметри експозиції,	Control 6008, дозволяє проводити знімання, задавати	Control 6008, дозволяє проводити знімання, задавати

	експозиції, проводити одиночне та серійне знімання. Управління експозицією: пріоритет діафрагми, ручний режим. Ведеться запис протоколу роботи	проводити одиночне та серійне знімання. Управління експозицією: пріоритет діафрагми, ручний режим. Ведеться запис протоколу роботи	параметри експозиції, проводити одиночне та серійне знімання. Управління експозицією: пріоритет діафрагми, ручний режим. Ведеться запис протоколу роботи	параметри експозиції, проводити одиночне та серійне знімання. Управління експозицією: пріоритет діафрагми, ручний режим. Ведеться запис протоколу роботи
ПЗ для первинної обробки знімків	CaptureOne, можлива пакетна обробка знімків, корекція яскравості, кольорового балансу	CaptureOne, можлива пакетна обробка знімків, корекція яскравості, кольорового балансу	CaptureOne, можлива пакетна обробка знімків, корекція яскравості, кольорового балансу	CaptureOne, можлива пакетна обробка знімків, корекція яскравості, кольорового балансу
SDK для розробки власних програм управління камерою	можливо	можливо	можливо	можливо

### Сфери застосування АФА серії АІС :

1. Традиційна аерофотозйомка різноманітного призначення (оглядово-топографічна під масштаби 1:500 і дрібніше тощо).
2. Екологічні дослідження.
3. Оперативна аерофотозйомка надзвичайних ситуацій (природні і техногенні катастрофи).
4. Аерофотознімальні проекти з обмеженим часом для отримання кінцевого результату.
5. Спільно з авіаційним лазерним сканером – великомасштабне топографічне картографування площинних і лінійних об'єктів (в масштабах 1:1000; 1:2000 і дрібніше) в інтересах нафтогазової промисловості, енергетичного комплексу, дорожнього і лісового господарств, інженерних та геологічних досліджень.
6. Аерофотознімання з легких і надлегких літальних апаратів (крім АІС Modular LS 22MPix).

## **Переваги використання АФА серії АІС :**

1. Висока роздільна здатність сенсора 22 МПікс.
2. Високошвидкісний інтерфейс отримання цифрових знімків IEEE 1394
3. Інтерфейс RS-232 для управління камери зі стандартного комп'ютера або КПК(PDA).
4. Метрична камера.
5. Корпус виготовлений з товстого профілю – камера має жорстку конструкцію та стабільні елементи внутрішнього орієнтування.
6. Камера готова до інтеграції з GPS-приймачами, системами управління FMS (типу IGI CCNS4), системами геопозиціонування (Applanix і IGI).
7. Невелика вага.
8. Камера може бути встановлена на гіростабілізовану платформу.
9. Низький рівень дисторсії (для AIC Modular LS 39 MPix ProLens, AIC Pro 60 MPix).
10. Низький рівень шумів матриці навіть на максимальній чутливості 400 ISO (для AIC Modular LS 39 MPix ProLens, AIC Modular LS 39 MPix).
11. Компактний розмір файлів RAW 26-28 Мбайт (для AIC Modular LS 39 MPix, AIC Modular LS 39 MPix ProLens ).
12. Можливість автономної роботи без комп'ютера (для AIC Modular LS 39 MPix, AIC Modular LS 39 MPix ProLens ).
13. Підвищений ресурс затвора (для AIC Modular LS 39 MPix ProLens, AIC Pro 60 MPix).
14. Покращена оптична якість з об'єктивами серії Professional Lens (для AIC Modular LS 39 MPix ProLens, AIC Pro 60 MPix).
15. Висока світосила об'єктива (для AIC Modular LS 39 MPix).
16. Підвищена оптична роздільна здатність по краях знімка (для AIC Modular LS 39 MPix).

## 1.2.2. Серія Vexcel



Рис. 1.6. Цифровий аерофотоапарат Vexcel Ultra CamLp

Тип АФА	Vexcel UltraCamD	Vexcel UltraCamL	Vexcel Ultra CamLp	Vexcel Ultra CamX	Vexcel UltraCamXp
<b>Характеристики зображення</b>					
Об'єм інформації	Еквівалент скановано з 20-ти мкм кольорового знімку 23x15 см	Еквівалент сканованого з 20-ти мкм кольорового знімку 20x16 см	Еквівалент сканованого з 20-ти мкм кольорового знімку 23x16 см	Еквівалент сканованого з 20-ти мкм кольорового знімку 23x16 см	Еквівалент сканованого з 20-ти мкм кольорового знімку 23x16 см
Формати файлів	TIFF, JPEG, Tiled TIFF	TIFF, JPEG 8 або 16 біт	TIFF, JPEG 8 або 16 біт	TIFF, JPEG 8 або 16 біт	TIFF, JPEG 8 або 16 біт
Геометрична точність зображення	2 мкм	2 мкм	2 мкм	2 мкм	2 мкм
<b>Характеристики сенсорів</b>					
Розмір панхроматичного зображення	86 Мпікс (11500x7500 точок)	64 Мпікс (9735x6588 точок)	92 Мпікс (11704x7902 точок)	136 Мпікс (14430x9420 точок)	196 Мпікс (17310x11310 точок)
Розмір пікселя всіх матриць	9 мкм	7,2 мкм	6 мкм	7,2 мкм	7,2 мкм

Розмір панхроматичної матриці, еквівалент	103,5x67,5 мм	70,2x47,5 мм	70,2x47,5 мм	104x68,4 мм	104x68,4 мм
Максимальна величина компенсації лінійного “змазу”	50 пікселів	50 пікселів	50 пікселів	50 пікселів	50 пікселів
Фокусна відстань об’єктиву панхроматичного сенсора	100 мм	70 мм	70 мм	100 мм	100 мм
Максимальна діафрагма	1/5,6	1/5,6	1/5,6	1/5,6	1/5,6
Поле зору поперек (вздовж) маршруту	55° (37°)	52° (37°)	52° (37°)	55° (37°)	55° (37°)
Роздільна здатність на місцевості при висоті польоту 500м (300м)	При висоті польоту 500 м – 4,5 см 300 м – 2,7 см	При висоті польоту 972 м – 10 см 486 м – 5 см	При висоті польоту 1750 м – 15 см 583 м – 5 см	При висоті польоту 500 м – 3,6 см 300 м – 2,2 см	При висоті польоту 500 м – 2,9 см 300 м – 1,8 см
Число спектральних каналів	4 (червоний, зелений, синій, інфрачервоний)	2 (RGB, NIR)	2 (RGB, NIR)	4 (червоний, зелений, синій, інфрачервоний)	4 (червоний, зелений, синій, інфрачервоний)
Розмір мультиспектральних зображень	11 Мпікс (4008x2672 точок)	19 Мпікс (5320x3600 точок)	19 Мпікс (5320x3600 точок)	17 Мпікс (4992x3328 точок)	22 Мпікс (17310x11310 точок)
Фокусна відстань об’єктиву мультиспектрального сенсора	33 мм	33 мм	33 мм	33 мм	33 мм

Діапазон витримок	1/500 – 1/32	1/500 – 1/32	1/500 – 1/32	1/500 – 1/32	1/500 – 1/32
Мінімальний інтервал фотографування	1 кадр/0,75 сек	1 кадр/2,5 сек	1 кадр/2,5 сек	1 кадр/1,25 сек	1 кадр/1,25 сек
Розрядність	14 біт	14 біт	14 біт	14 біт	14 біт
Радіометрична роздільність	>12 біт	>12 біт	>12 біт	>12 біт	>12 біт
<b>Характеристика бортового обчислювача/накопичувача</b>					
Об'єм постійного блоку пам'яті	1,5 Терабайт	1 Терабайт	1 Терабайт	1,7 Терабайт	4,2 Терабайт
Кількість незжатих кадрів у блоці пам'яті	>2692	3600	>2500	3900	6600
<b>Вагогабаритні характеристики</b>					
Розміри сенсорного блоку	45x45x60 см	45x45x80 см	45x45x80 см	45x45x60 см	45x45x60 см
Розміри обчислювального блоку	40x55x65 см			36x50x65 см	36x50x65 см
Вага сенсорного блоку	<45 кг	55 кг	55 кг	<45 кг	55 кг
Вага обчислювального блоку	65 кг			35 кг	65 кг
Споживана сенсорним блоком потужність	150 Ват	350 Ват	350 Ват	150 Ват	150 Ват
Споживана обчислювальним блоком потужність	700 Ват			700 Ват	700 Ват



Робочі специфікації					
Максимальна тривалість зйомочного сеансу при 70% повздовжньому перекритті і 20см наземній роздільності (негатив у масштабі 1:100000)	>6 годин	>6 годин	>6 годин	>6 годин	>6 годин
Після обробки зібраних потоків вихідних знімків	Ha SCU – Storage and Computing Unit	Office Processing Center	Office Processing Center	Ha SCU – Storage and Computing Unit	Ha SCU – Storage and Computing Unit

### Сфери застосування АФА серії Vexcel UltraCam:

1. Знімання площинних та лінійних об'єктів.
2. Створення та оновлення топографічних карт і планів аж до масштабу 1:500 (для Vexcel UltraCamD, Vexcel UltraCamX, Vexcel UltraCamXp).
3. Кадастр та землевпорядкування: ведення земельного кадастру, кадастру об'єктів нерухомості, проведення земельного контролю, вирішення задач економіки землекористувачем, інвентаризація об'єктів нерухомості (для Vexcel UltraCamD, Vexcel UltraCamX, Vexcel UltraCamXp).
4. Нафтогазова та гірничодобувна промисловість: великомаштабне топографічне картографування площинних та лінійних об'єктів при виконанні пошуку, проектування, будівництва, інвентаризації об'єктів облаштування родовищ, створення цифрових карт та планів нафто- та газопроводів, діагностика продуктопроводів, оцінка об'ємів гірничого видобутку, снігової маси, екологічний моніторинг та моделювання (для Vexcel UltraCamX, Vexcel UltraCamXp).

5. Картографування міських ландшафтів: створення ортофотопланів забудованої території, моделювання перспективного розвитку, проектування бездротових мереж зв'язку і передачі даних (для Vexcel UltraCamX, Vexcel UltraCamXp).

6. Енергетика: обстеження ЛЕП та інших об'єктів мережевого господарства (у тому числі електричних підстанцій), створення ортофотопланів ЛЕП та інших географічних об'єктів у зоні відчуження, оцінка стану рослинності, створення фотокарт полоси відчуження (для Vexcel UltraCamX, Vexcel UltraCamXp).

7. Шляхове господарство: проектування, будівництво та реконструкція автомобільних шляхів та залізниць, визначення обсягів земляних робіт, економічна оцінка проектів, моніторинг стану залізниць (для Vexcel UltraCamX, Vexcel UltraCamXp).

8. Лісове господарство: таксація лісу, визначення об'ємів біомаси, кількості дерев, розподіл дерев за породами та висотою, розпізнавання порід та оцінка висоти дерев, планування вирубок (для Vexcel UltraCamX).

9. Обстеження берегової лінії: проектування та будівництво берегових споруд, дамб, пірсів. Моніторинг ерозійних процесів, повеней, оцінка стану берегових споруд (для Vexcel UltraCamX).

10. Можливо вирішити практично будь-яку топогеодезичну задачу, але насамперед використовується при виконанні відносно невеликих фотограметричних проектів, в яких потрібно отримувати швидкий результат (для Vexcel UltraCamL, Vexcel UltraCamLp).

11. Аерофотознімання з використанням легких літальних апаратів (для Vexcel UltraCamL, Vexcel UltraCamLp).

12. Коридорне аерофотознімання (для Vexcel UltraCamL, Vexcel UltraCamLp).

13. Лазерно-локаційне аерофотознімання (у якості додаткового датчика зображення) (для Vexcel UltraCamL, Vexcel UltraCamLp).

14. Екологічні дослідження, у тому числі оперативна аерофотозйомка надзвичайних ситуацій (природні і техногенні катастрофи) (для Vexcel UltraCamD).

15. Лісотехнічні та землевпорядкувальні роботи, Таксація лісу, визначення об'ємів біомаси, кількості дерев, розподіл дерев за породами та висотою, розпізнавання порід та оцінка висоти дерев, планування вирубок (для Vexcel UltraCamD).

#### **Переваги використання АФА серії Vexcel Ultra Cam:**

1. Широкий динамічний діапазон чутливості сенсора (12-14 біт).
2. Можливість роботи в умовах слабого освітлення (для Vexcel UltraCamD, Vexcel UltraCamX, Vexcel UltraCamXp).
3. Вмонтований блок GPS/INS (опціонально) (для Vexcel UltraCamD, VexcelUltraCamX, VexcelUltraCamXp).
4. Компенсація змазу FMS (для Vexcel UltraCamD, Vexcel UltraCamX, VexcelUltraCamXp).
5. Використання гіростабілізації (для Vexcel UltraCamD, Vexcel UltraCamX, Vexcel UltraCamXp).
6. Мультисенсорне знімання (пан хроматичне, кольорове, інфрачервоне – одночасно) (для Vexcel UltraCamD, Vexcel UltraCamX, Vexcel UltraCamXp).
7. Спільний з традиційною технологією виробничий процес фотограмметричної обробки знімків ( з етапу побудови фото триангуляційної мережі і планово-висотного обґрунтування) (для Vexcel UltraCamD, Vexcel UltraCamX, Vexcel UltraCamXp).
8. Автоматизована обробка аерознімальних даних аж до отримання кінцевого результату (для Vexcel UltraCamD, Vexcel UltraCamX, Vexcel UltraCamXp).
9. Можливість відокремлення кольорових, інфрачервоних та панхроматичних знімків (для Vexcel UltraCamD, Vexcel UltraCamX, Vexcel UltraCamXp).
10. Висока фотографічна та фотограмметрична якість знімків (для Vexcel UltraCamD, Vexcel UltraCamX, Vexcel UltraCamXp).

11. Забезпечення перекриття знімків до 80-90% (важливо для точності і повноти кольорових моделей рельєфу та об'єктів, отриманих по результатам аерофотознімання) (для Vexcel UltraCamD, Vexcel UltraCamX, Vexcel UltraCamXp).

12. Високі продуктивність та економічність, швидке отримання кінцевого результату (для Vexcel UltraCamD, Vexcel UltraCamX, Vexcel UltraCamXp).

13. Можливість інтеграції з авіаційним лазерним сканером та іншими засобами авіаційного дистанційного зондування Землі (для Vexcel UltraCamD, Vexcel UltraCamX, VexcelUltraCamXp).

14. Швидке вивантаження аерознімальних даних з борту літального апарату (для Vexcel UltraCamX, Vexcel UltraCamXp).

15. Дублювання запису аерознімальних даних для підвищення надійності (для Vexcel UltraCamX, Vexcel UltraCamXp).

16. Необмежене накопичення зображень на борту літального апарату за рахунок змінних блоків даних (для Vexcel UltraCamX, Vexcel UltraCamXp).

17. Спільний з традиційною технологією виробничий процес фотограмметричної обробки знімків ( з етапу побудови фото триангуляційної мережі і планово-висотного обґрунтування) (для Vexcel UltraCamD).

18. Реєстрація 2700 знімків за один політ - для Vexcel UltraCamD).

19. Можливість необмежено накопичувати зображення без посадки літального апарату завдяки змінним накопичувачам даним SSD (для Vexcel UltraCamL, Vexcel UltraCamLp).

20. Можливість легкого інтегрування зі всіма стандартними гіроплатформами, GPS-системами, лазерними сканерами (навіть на легкому літальному апараті) (для Vexcel UltraCamL, Vexcel UltraCamLp).

21. Можливість отримання панхроматичних, RGB- та NIR-знімків, висока фотографічна та фотограмметрична якість знімків (для Vexcel UltraCamL, Vexcel UltraCamLp).

22. Висока точність вихідної продукції: великомасштабних ортофотопланів, цифрових моделей рельєфу та місцевості (для Vexcel UltraCamL, Vexcel UltraCamLp).

### 1.2.3. Серія Twin Mapper



Рис. 1.7. Цифровий аерофотоапарат TwinMapper, встановлений на гіроплатформі GSM-3000

Цифровий топографічний аерофотоапарат **TwinMapper** є цифровим аерофотоапаратом загального призначення, що застосовується як засіб топографічного картографування місцевості, виконання інженерних планувань, а також для вирішення спеціальних завдань, що припускають збір геопросторових даних аерофотознімальним методом.

TwinMapper є повнофункціональним метричним аерофотоапаратом кадрового типу, що допускає використання GPS / IMU засобів для автоматичного визначення елементів зовнішнього орієнтування, гіроплатформи і системи управління аерознімальним процесом (Flight Management System).

Фотограмметрична обробка даних TwinMapper здійснюється стандартними засобами, наприклад, за допомогою пакетів Erdas Imagine, Socket Set, Photomod тощо.

Технічне рішення TwinMapper припускає використання двох складових камер Rollei AIC з приймачем 39 мегапікселів, що працюють в синхронізованих режимах під управлінням бортового комп'ютера, що виконує також роль накопичувача. Жорстка взаємна фіксація обох складових камер і знання точних параметрів їх взаємного орієнтування дозволяє у всіх конфігураціях здійснити аналітичний перехід до синтезованого знімку в єдиній системі координат.

## **Конфігурації Twin Mapper**

I. Перша конфігурація – «синхронне спрацьовування». Забезпечує одночасне спрацьовування затворів обох складових камер з помилкою не більше 0,15 мс. Основна конфігурація використання Twin Mapper. Забезпечує отримання синтезованого аерофотознімка роздільністю більше 70 Мпікселей.

II. Друга конфігурація – «планова». Обидві складові камери встановлюються в планове положення і виробляють фотографування поперемінно, тим самим забезпечується двократне збільшення продуктивності при виконанні маршрутної зйомки за рахунок скорочення інтервалу фотографування.

III. Третя конфігурація – «єдиний центр». Складові камери встановлюються в положення, при якому їх центри проєкцій розташовуються на одній осі вздовж вектора поздовжнього переміщення. Камери спрацьовують із затримкою, залежить від швидкості руху, так щоб положення центрів проєкцій обох знімків в моменти фотографування збігалося. Забезпечує отримання синтезованого аерофотознімка з єдиним центром проєкції, тобто з максимально високою фотограмметричною якістю.

### **Основні переваги цифрового аерофотоапарата TwinMapper:**

1. Вбудований блок GPS / IMU
2. Широкий динамічний діапазон (13 біт) дозволяє проводити знімання як в хмарну погоду, так і при яскравому сонці
3. Використання гіростабілізації
4. Використання системи управління аерознімальним процесом CCNS4 (опціонально)
5. Мультисенсорне знімання
6. Сумісний з традиційною технологією виробничий процес фотограмметричної обробки знімків (з етапу побудови фототріангуляційної мережі та планово-висотного обґрунтування)
7. Автоматизована обробка аерознімальних даних аж до отримання кінцевого результату
8. Висока фотографічна і фотограмметрична якість знімків

9. Володіє більшою широтою функціональних можливостей, таких як: роздільне використання двох складових камер Rollei AIC 39 Мпкселей, збирання й розбирання комплексу в польових умовах, використання змінних об'єктивів з фокусними відстанями від 40 до 300 мм, робота в різних конфігураціях

10. Висока продуктивність і економічність, швидке отримання кінцевого результату

11. Можливість інтеграції з авіаційним лазерним сканером та іншими засобами авіаційного ДЗЗ

ТwinMapper призначений для проведення аерофотозйомки для вирішення топографо-геодезичних завдань:

1. Створення і оновлення топографічних карт і планів (масштаб 1:500 включно)
2. Створення ЦМР, ЦММ та ортофотопланів
3. Розвиток геодезичних мереж фототріангуляційними методами

**Рекомендовані області застосування:**

1. Великомасштабне топографічне картування (масштаб 1:500 включно)
2. Знімання площинних та лінійних об'єктів
3. Екологічні дослідження, в тому числі оперативна аерофотозйомка надзвичайних ситуацій (природні та техногенні катастрофи)
4. Лісотехнічні та землевпорядні роботи
5. Топографо-геодезичні та інженерно-вишукувальні роботи в інтересах різних галузей народного господарства (нафтогазова, дорожня, електроенергетична, містобудівна, сільське господарство, кадастр та землекористування тощо)

## РОЗДІЛ 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИК ТА ТЕХНОЛОГІЙ ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АЕРОФОТОАПАРАТУ

#### 2.1. Характеристики аерофотоапарату що впливають на якість фотографічного зображення

Основними оптичними характеристиками об'єтивів являються: фокусна відстань, відносний отвір і розміри поля зору і поля зображення. Ці характеристики також відносяться до габаритних, що визначають «оптичні габарити» об'єктива.

Як відомо, головною фокусною відстанню  $f$  об'єктива називається відстань від задньої вузлової точки об'єктива до головного фокуса.

Фокусна відстань аерофотооб'єктива залежить від багатьох факторів, та для реальних оптичних систем ця залежність має складний вигляд. Для нескінченно тонкої лінзи в повітрі існує формула (2.1):

$$\frac{1}{f'} = \varphi_L = -\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = (n_B^c - 1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.1.1)$$

де  $f'$  та  $\varphi_L$  – відповідно фокусна відстань та оптична сила лінзи;

$S$  та  $S'$  – відстань від передньої і задньої вузлових точок відповідно до предмета та зображення;

$r_1$  та  $r_2$  – радіуси кривизни поверхонь лінзи;

$n_B^c$  – відносний показник заломлення матеріалу лінзи  $n_c$  у відношенні до повітря  $n_B$ , причому  $n_B^c = \frac{n_c}{n_B}$ . Величина, що показує в скільки разів фокусна відстань об'єктива менше (більше) діаметра  $d_0$  його діючого отвору (вхідної зіниці), називається відносним отвором  $1:n_0$ :

Кафедра авіоніки				НАУ 20 05 74 000 ПЗ			
Виконав	Шарудило О.П.			ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИК ТА ТЕХНОЛОГІЙ ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АЕРОФОТОАПАРАТУ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Керівник	Белінський В.М.						
Консульт.	Белінський В.М.				173 «Авіоніка»		
Н. Контр.	Левківський В.В.						
Зав.каф.	Павлова С.В.						



$$1: n_0 = d_0: f' \quad (2.2)$$

причому знаменник відносного отвору  $n_0$  прийнято називати числом діафрагми (діафрагмою).

Кут  $u'$ , під яким з центра зображення видно радіус вихідної зіниці, називається апертурним кутом в просторі зображень, або просто апертурним кутом; для аерофотоапаратів, у яких кут  $u'_A$  малий і які відфокусовані на безкінечність, величина апертурного кута для центру поля зору визначається за формулою (2.3):

$$\sin u'_A \approx u'_A = \frac{d_0}{2f'} \quad (2.3)$$

Діючий отвір об'єктива обмежується апертурою (діючою) діафрагмою, яка більше інших обмежує діаметри осьового та нахилених пучків, що пропускаються об'єктивом. Апертурна діафрагма розташовується зазвичай між лінзами об'єктива [29].

В аерофотоапаратах використовуються як постійні так і змінні діафрагми; останні дозволяють змінювати поперечний переріз пучків, що проходять через об'єктив.

В аерофотоапаратах використовуються об'єктиви з фокусною відстанню від 36 мм до декількох метрів з апертурними кутами від 0,2 до 0,005.

Фокусна відстань об'єктива та його відносна відстань відіграють велику роль у практиці фотографування; від них залежить якість отриманого зображення та інші характеристики аерофотоапаратів. Від фокусної відстані об'єктива залежить масштаб зображення.

Скориставшись формулою (2.1), встановивши масштаб  $1: m$  як лінійне збільшення, яке рівне відношенню розміру зображення  $l_n$  до розміру предмета  $L_n$  тобто 1:

$M = l_n: L_n = S': S$ , запишемо:

$$\left. \begin{aligned} S &= f'(1 + m) \\ S' &= f'(1 + m^{-1}) \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

Формула (2.1) показує, що фокусна відстань аерофотооб'єктиву, що використовується в різних умовах, являється величиною змінною, так як

відносний показник заломлення  $n_B^c$  і радіуси кривизни лінз залежать від довжини хвилі світлового потоку, що буде оптичне зображення, температури та тиску повітря.

Внаслідок непостійної фокусної відстані об'єктива ця величина описується трьома поняттями:

- 1) номінальна, або розрахункова, фокусна відстань;
- 2) фактична фокусна відстань, відповідно стандартним температурним та барометричним умовам та заданою спектральною зоною; значення фактичної фокусної відстані відрізняється від розрахункового не більше ніж на 1,5%;
- 3) фактична миттєва фокусна відстань, що відповідає зміненим температурним, барометричним та спектральним умовам.

Останнє поняття фокусної відстані об'єктива – найтипівіше для аерофотографії. При юстируванні аерофотоапарату намагаючись сумістити площину прикладної рамки аерофотокамери  $P$  з фокальною площиною  $P'$ , що визначається фактичною миттєвою фокусною відстанню. Невиконання цієї умови викликає нерізкість зображення, величина якої визначається за формулами (2.5) та (2.6):

$$\sigma_f = \frac{\Delta f}{n_0} = 2u'_A \Delta \quad (2.5)$$

$$\sigma_\varphi = \frac{r\varphi}{n_0} = 2u'_A r\varphi = 2u'_A f \varphi \operatorname{tg} W_i \quad (2.6)$$

де  $\sigma_f$  та  $\sigma_\varphi$  – нерізкість зображення, обумовлений не збігом площ  $P$  і  $P'$  на величину  $\Delta f$  (похибка фокусування) та кутом перекоосу  $\varphi$  (вплив перекоосу);

$n_0$  та  $u'_A$  – знаменник відносного отвору та апертурний кут;

$W_i$  – кут відхилення променя, що будує зображення точки  $i$ , причому :

$$W_i = \operatorname{arctg} \frac{r_i}{f} \quad (2.7)$$

де  $r_i$  – віддалення точки  $i$  від центру знімка.

Для забезпечення високої різкості зображення повинен бути дуже чіткий збіг площини, в якій знаходиться оптичне зображення, з площиною прикладної рамки аерокамери.

Аерофотографування в різних спектральних зонах та різних метеорологічних умовах обумовлює необхідність врахування впливу не співпадіння положення зображення в різних зонах спектра (хроматична аберация), при зменшенні тиску та температури повітря (барометрична аберация), а також при зміні температури скла лінз (термооптична аберация).

Розфокусування по дальності  $\Delta f'_L$  виникає при фотографування об'єктів, розташованих а кінцевій відстані  $L < \infty$ . В такому випадку площина прикладної рамки повинна бути зміщена від головної фокальної площини об'єктива на величину  $\Delta f'_L = S' - f'$ .

Розфокусування по дальності практично повністю усувається фокусуванням аерофотоапарата по фактичному віддаленню об'єктів фотографування.

Полеом зору об'єктива називається основа конуса променів, що будують зображення нескінченно віддаленого предмета. Частина поля зору, в якій отримано зображення задовольняє пред'явлені до нього вимоги по якості та освітленості, називається полем зображення.

Кут поля зору залежить від конструкції об'єктива, а не від фокусної відстані. Об'єктиви однієї й тої самої фокусної відстані можуть мати різні розміри поля зору.

Кут зображення можна розрахувати за сторонами знімка:

$$\operatorname{tg} \beta' = \frac{l}{2f'} \quad (2.8)$$

де  $l$  – розмір сторони знімку

$f'$  – фокусна відстань.

В сучасних аерофотоапаратах величина кута зображення коливається від декількох градусів до  $150^\circ$  і більше.

Граничні співвідношення між оптичними характеристиками об'єктивів визначається формулою добротності (2.9) запропонованою Д.С. Волосовим:

$$C_d \leq \frac{\operatorname{tg} \beta' \sqrt{0,01 f'_{\text{мм}}}}{n_0} \quad (2.9)$$

Величину  $C_d$  називають добротністю об'єктива. Для сучасних фотографічних об'єктивів добротність об'єктивів може складати 0,22 – 0,24, якщо фокусна відстань виражена в міліметрах. При цьому роздільна здатність фотографічної цифрової системи визначається за мірою абсолютного контрасту, не менше  $25 \text{ мм}^{-1}$ ; зниження освітленості зображення по полю зору ширококутного об'єктива досягає трьох-чотирьох кратного значення; об'єктиви складаються з семи та більше лінз. З розвитком та вдосконаленням об'єктивів величина  $C_d$  буде збільшуватися.

Границі допустимого переміщення площини зображення, в межах яких об'єктивом будується практично різке зображення рівновіддалених предметів називається глибиною різкості об'єктива або глибиною зображення. При невеликих апертурних кутах  $u'_A$  глибина зображення може бути визначена виходячи з величини хвильової аберації  $\varepsilon_B$ . В цьому випадку глибина зображення оцінюється як розфокусування  $\Delta f_B$ , та визначається за формулою (2.10), причому величина хвильової аберації, виражена через довжину хвилі світла, та може мати значення від 0,1 до 0,5:

$$\Delta f_B = \frac{2 \varepsilon_B}{u'^2_A} \quad (2.10)$$

Енергетичні характеристики об'єктивів, які також називаються фотометричними, визначають властивості оптичної системи як перетворювача потоку випромінювання при умові, що система ідеальна та вільна від аберацій. Ці властивості характеризуються світлосилою, світлорозподілом та світлорозсіянням об'єктива[34].

Світлосила одна з найважливіших технічних характеристик об'єктива. Це - міра його світлових можливостей. Чим більше світлосила, тим коротшою може бути витримка при зйомці. Висока світлосила у сутінках та вночі. На перший погляд здається, що світлосила залежить тільки від розміру об'єктива, точніше від діаметру його лінз. Чим більше діаметр лінз, тим більше світла він пропускає. Проте було б помилкою думати, що справа полягає тільки в цьому. Світлосила залежить не лише від діаметру лінз, але і від величини його фокусної відстані. Крім того, світлосила як властивість об'єктива представляє

собою відношення освітленості зображення  $E'$ , створеного даним об'єктивом, до яскравості зображуваного об'єкта  $B$ , тобто це значення можна розрахувати за формулою (2.11) :

$$K_c = \frac{E'}{B} = \frac{\pi T_0}{4} \left(\frac{d_0}{f}\right)^2 \frac{m^2}{(1+m)^2} \quad (2.1.11)$$

де  $T_0$  – коефіцієнт прозорості об'єктива.

При достатньо великих значеннях знаменника масштабу фотографування  $m$ , що має велике значення при аерофотографуванні, отримаємо формулу (2.12):

$$K_c = \frac{\pi T_0}{4} \left(\frac{d_0}{f}\right)^2 = \frac{\pi T_0}{4n_0^2} \quad (2.12)$$

Останніми роками були створені такі просвітлені об'єктиви, в яких фізична світлосила практично не відрізняється від геометричної. Для більшості аерофотооб'єктивів  $T_0 \geq 0,8$ . Прозорість об'єктива в загальному випадку має спектральний характер.

Функція світлорозподілу  $E_w(W)$  описує закон зміни освітленості  $E_w'$  зображення в точках поля в залежності від кутів  $W$ , що визначає положення цих точок відносно центра поля, де освітленість  $E_0$  приймають за одиницю. В загальному вигляді ця функція матиме вигляд (2.13):

$$E(W) = \frac{E'_w}{E'_0} = \cos^i W \quad (2.13)$$

де  $i$  – показник степені, що визначає закон зміни освітленості.

Загальновідома формула, що виражає функцію світлорозподілу (закон Ламберта)(2.14):

$$E(W) = \frac{E'_w}{E'_0} = \cos^4 W \quad (2.14)$$

Ця формула справедлива в двох випадках:

- 1) при не великому діаметрі вихідної зіниці, що звертається в точку, коли через об'єktiv проходять тільки головні промені;
- 2) при відсутності він'єнтирування.

Він'єнтуванням називається часткове затінення пучка променів, що вступають у вхідну зіницю системи, зрізані оправою об'єктива нахилених крайніх променів пучка. При кінцевих розмірах вхідної зіниці він'єнтирування

відсутнє тільки тоді, коли вхідна зіниця співпадає з площиною предметів; В цьому випадку всі точки поля зору системи зображуються повними пучками. Оправа лінз та діафрагма не впливають на проходження осьового пучка променів; точки на осі та поблизу осі зображуються пучками променей, що повністю заповнюють вхідну зіницю системи; зіницю видно в формі кола діаметром  $d_0=ab$ . Проте оправа лінз буде затримувати частину нахилених променів, що падають під кутом  $W$ ; в цьому випадку зображення точки буде будуватися пучком, який лише частково заповнює вхідну зіницю; переріз пучка визначається відрізком  $a'b' < ab$ , діаметр зіниці  $d' < d_0'$ , площа зіниці  $S_w < S_0$ .

Величину  $K_w$  можна визначити за формулою (2.16):

$$K_w = \frac{S_w}{S_0} \approx \frac{a'b'}{ab} \quad (2.16)$$

Ця величина називається коефіцієнтом він'єнтирування для даного нахилу променів, які характеризуються, наприклад, кутом  $W$ . Таким чином, коефіцієнт він'єнтирування приблизно може бути визначений як відношення вимірних в медіальній площині діаметрів  $a'b'$  та  $ab$  паралельних пучків променів, які поступають у вхідну зіницю об'єктива відповідно від точки, що не лежить на оптичній осі (нахилений пучок), та точки, що лежить на осі (осьовий пучок). Отримані значення коефіцієнтів  $K_w$  виражаються у відсотках та показують ступінь затінення пучка променів оправою об'єктива (геометричне вінєнтирування). Для точки на осі геометричне вінєнтирування дорівнює нулю; там, де буде повне затінення, геометричне вінєнтирування буде рівним 100%. Зону часткового затінення, де геометричне вінєнтирування не перебільшує 50%, відносять зазвичай до поля зору об'єктива[28].

Сукупністю коефіцієнтів  $K_w$ , визначених для різних кутів поля зору об'єктива, є функція він'єнтування  $K(W)$ .

З урахуванням він'єнтування функція світлорозподілу має наступний вигляд:

$$E'(W) = \frac{E'_w}{E'_0} = K_w \cos^4 W \quad (2.17)$$

Якщо  $K_w < 1$ , то освітленість зображення по мірі віддалення від центру поля зору зменшується швидше, ніж це відбувається згідно з формулою (2.14); в над ширококутних об'єктивах може відбутися дуже сильне падіння освітленості зображення на краю поля зору.

Для зменшення впливу він'єнтирування та забезпечення більш рівномірного освітлення зображення можуть використовуватися наступні засоби: абераційне він'єнтирування, відтінення об'єктива або світлофільтра, збільшення діаметру передніх та задніх лінз, створення оптичних систем з сильною негативною дисторсією.

Проблему вирівнювання освітленості зображення в ширококутних об'єктивах вперше в світовій науці вирішив професор М.М. Русинов ще в 1930-х роках. Розроблений ним принцип абераційного він'єнтування (точніше антивін'єнтирування) був реалізований за допомогою конструкції надширококутових об'єктивів типу «Руссар», які були створені в 1936 році.

Для більшості об'єктивів типу «Ортогон» з вирівнюючим склом, що забезпечують високу якість зображення:  $K(W) = \cos^{-1}W$  або  $K(W) = E_o' \cos^{1.3}W$ .

В цьому випадку функція світлорозподілу буде мати наступний вигляд :  $E(W) = E_o' \cos^3W$  або  $E(W) = E_o' \cos^{2.7}W$ . Для деяких об'єктивів типу «Руссар» забезпечується більш висока рівномірність освітленості зображення по полю

$$E(W) = E_o' \cos^2W \text{ або } E(W) = E_o' \cos^{1.5}W.$$

Конструктивне абераційне він'єнтування досягається різними методами: використання в якості зовнішнього переднього компонента розсіювальної (негативної) лінзи чи групи лінз, які забезпечують оптичне збільшення розмірів вхідної зіниці зі змінням кута  $W$ , використання ковпаків з глибокими асферичними поверхнями [32].

Абераційне він'єнтування покращує розподіл освітленості по полю зображення, однак для зменшення освітленості на краях поля залишаються. Для найбільш повного вирівнювання освітленості по полю зображення використовують відтінники.

Відтінником називається тонка напівпрозора металічна плівка нерівномірної щільності (в центрі щільність більше, ніж на краях), накладена на один з компонентів об'єктива або частіше всього на світлофільтр. Нанесена таким чином плівка поглинає у пучків світла різного нахилу різну частину їх енергії; так як щільність відтінника в центрі більше, то осьові пучки ослаблюються сильніше нахилених та освітленість зображення по полю становиться більш рівномірною.

Недолік вирівнювання освітленості площини зображення за допомогою відтінника об'єктива або світлофільтра полягає в тому, що необхідно збільшувати витримку при фотографуванні, наприклад в три рази для ширококутних об'єктивів та в більшу кількість разів для над ширококутних об'єктивів, що не бажано; крім того, знижується якість зображення в зв'язку з збільшенням світлорозсіяння, що знижує контраст зображення.

Засоби вирівнювання освітленості зображення по порю зору об'єктива методом аберацийного він'єтування та відтінника являються основними.

Значення функції світлорозподілу  $E(W)$ , отримане для середніх точок поля зору, які визначаються кутом  $\frac{\beta}{2}$ , коефіцієнт прозорості  $T_0$  оптичної системи та оптичний коефіцієнт корисної дії аерофотоапарату  $\eta$  визначають фотометричну характеристику всього аерофотоапарата, його коефіцієнт світловіддачі  $K_a$ , причому:

$$K_a = \eta T_0 \cos^i \frac{\beta}{2} \quad (2.18)$$

Так, як величини, що входять в формулу (2.18), мають спектральний характер, то величина коефіцієнта світловіддачі залежить від довжини хвилі світла.

Фактична величина коефіцієнта світловіддачі аерофотоапарату визначається експериментально. У сучасних аерофотоапаратів  $K_a = 0,4-0,8$ .

Світло, що досягає площини прикладної рами аерофотоапарату, складається з двох світлових потоків, один з які представляє сфокусовані промені, які будують оптичне зображення, а інший – промені, що досягають



площини прикладної рами після відбиття від поверхні лінз об'єктива, оправы та пелюсток діафрагми та інших деталей знімальної камери.

Ступінь розсіяння світла в аерофотокамері характеризується величиною коефіцієнта світлорозсіяння, що показує, яка частина світлового потоку, що пройшла крізь об'єктив, падає на площину прикладної рами у вигляді розсіяного світла. Величина коефіцієнта розсіяння розраховується за формулою:

$$\chi_p = \frac{B_p}{B_0 T_0} \quad (2.19);$$

де  $B_p$  – яскравість розсіяного світла;

$B_0$  – яскравість абсолютно білої поверхні ідеальної для розсіювання;

$T_0$  – коефіцієнт пропускання об'єктива.

Фактична величина коефіцієнта світлорозсіювання визначається експериментально.

Величина світлорозсіяння для різних аерофотоапаратів коливається від 0,02 до 0,3 та більше. Важливу роль при цьому відіграє частота поверхні лінз об'єктива та світлофільтра, ретельність чорніння частин оправы та пелюсток діафрагми, внутрішньої порожнини корпусу камери, а також спектральний склад світла.

Розсіяне світло зменшує контраст оптичного зображення. Коефіцієнт зниження контрасту  $C_p$  визначається за формулою:

$$C_p = \frac{U'}{U''} = \frac{r_{\min+x_p}}{r_{\min+\frac{x_p}{U'}}} \quad (2.20)$$

де  $U'$  – контраст променистих потоків, що поступають в об'єктив;

$U''$  – контраст оптичного зображення, побудованого в фокальній площині, це значення можна розрахувати за формулою:

$$U'' = \frac{r_{\min+x_p}}{r_{\min+x_p}} \quad (2.21),$$

причому  $U'' < U'$ .

Якщо, наприклад  $r_{\min}=0,03$ ;  $r_{\max}=0,09$ ;  $x_p=0,15$ ; то  $U'=3$ ;  $U''=1,3$ ;  $C_p=2,3$ , тобто в даному випадку внаслідок світлорозсіяння контраст зображення зменшився в 2,3 рази.

## **2.2. Взаємозв'язок характеристик якості зображень з параметрами аерофотоапарата та режимами польоту літального апарату**

Одна з особливостей аерофотографування полягає в тому, що аерофотоапарат під час експонування разом з літальним апаратом здійснює лінійні та кутові переміщення відносно поверхні що фотографується. Лінійне переміщення відбувається вздовж осей  $x, y, z$  швидкістю  $V_x, V_y, V_z$  кутові переміщення навколо тих самих осей зі швидкостями  $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$ . Крім того фотокамера переміщується під дією вібрацій, що можуть виникати в місцях кріплення.

Внаслідок лінійних та кутових переміщень аерофотокамери при фотографуванні виникає рух оптичного зображення точок місцевості відносно світлочутливої матриці камери. Результатом цього руху є зміщення зображення рівне відстані, на яке переміщуються точка оптичного зображення в фокальній площині аерофотоапарата протягом фактичної витримки  $t_\phi$ , що відраховується від моменту відкриття аерофотозатвору до його повного закриття. Ця відстань, що дорівнює величині геометричного зміщення, називається зміщенням оптичного зображення. Нерізкість фотографічного зображення, обумовлена зміщенням оптичного зображення, називається фотографічним зміщенням або «змазом» зображення. Величина фотографічного зміщення, як буде показано далі, не дорівнює геометричному зміщенню.

А залежності від джерела виникнення відрізняють наступні види зміщення зображення: лінійний, обумовлений лінійними переміщеннями аерофотокамери; кутове, виникає внаслідок обертання фотокамери; вібраційний як результат рухів аерофотокамери.

Лінійні зміщенні аерофотокамери виникають в наступних випадках:

а) внаслідок поступальних рухів літального апарату по лінії шляху; при цьому швидкість переміщення аерофотокамери  $V_x$  дорівнювати шляховій швидкості  $W$  літального апарату, тобто  $V_x = W$ ;

б) в результаті зміщення літального апарату в напрямку, перпендикулярному лінії шляху;

в) при зміні висоти польоту.

У відповідності з цими рухами аерофотокамери зображення точок в площині прикладної рами при експонуванні буде зміщуватися в протилежному напрямку зі швидкостями:

$$u_x = \frac{V_x}{m} = \frac{W}{m}, \quad u_y = \frac{V_y}{m} = \frac{W}{m}, \quad u_z = \frac{V_z}{m} = \frac{W}{m} \quad (2.22)$$

де  $m$ - знаменник масштабу фотографування.

Величини зміщення  $\sigma_W = \sigma_x, \sigma_y$ , які обумовлюють не різкість зображення, товчки внаслідок поступального руху літального апарату та зміщення його в напрямку, перпендикулярному лінії шляху, за час експонування визначається за формулами:

$$\sigma_W = \sigma_x = \frac{V_x}{m} t = \frac{W}{m} t; \quad \sigma_y = \frac{V_y}{m} t \quad (2.23)$$

При прямолінійному польоті, якщо  $W \gg V_y, W \gg V_x$ , то  $\sigma_x \gg \sigma_y$ ;

$$\sigma_x \gg \sigma_z.$$

Відповідно, основна причина, що викликає нерізкість зображення як результат лінійних переміщень аерофотокамери при експонуванні – поступальний рух літального апарату та зміщення, що виникає при цьому, називається лінійним, або не лінійним.

Кутові переміщення аерофотокамери виникають внаслідок коливань літального апарату навколо повздовжньої, поперечної та вертикальної осей, з кутовими швидкостями  $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$ .

Величини кутових переміщень аерофотокамери за час експонування визначається за формулами:

$$d\alpha = \dot{\varphi}_x t; \quad d\omega = \dot{\varphi}_y t; \quad dZ = \dot{\varphi}_z t; \quad (2.24)$$

Величини зміщення зображення, виникаючих при нахилах камери навколо повздовжньої  $x$  та поперечної  $y$  осей, розраховують за формулами:

$$\sigma_\alpha = \frac{\varphi_y}{\cos^2 \beta} t; \quad \sigma_\omega = \frac{\varphi_x}{\cos^2 \beta} t \quad (2.25)$$

Рівності отримані після диференціювання формули (2.25) матимуть наступний вигляд:

$$tg\beta = \frac{r}{f} \quad (2.26)$$

Та заміни  $\Delta r = \sigma_\alpha = \sigma_w$ ;  $\Delta W = d\alpha = \varphi_y t = d\omega = \varphi_x t$ ; для краю поля зору прийнято  $W = \beta$ .

Повертання аерофотокамери навколо осі  $Z$  на кут  $dZ$  спричиняє зміщення – нерізкість зображення  $\sigma_z$ ; для точки, що розташована на відстані  $r$  від центру знімка, величина  $\sigma_z$  визначається за формулою:

$$\sigma_z' = r \cdot dZ = r \cdot \varphi_z t \quad (2.27)$$

Порівнюючи величини зміщення  $\sigma_\alpha$  ( $\sigma_\omega$ ) та  $\sigma_z'$ , отримаємо  $\sigma_\omega = \sigma_\alpha > \sigma_z'$ .

Отже, основними факторами, що викликають зміщення – нерізкість зображення, являються поступальні рухи літального пара тару та обертання навколо його осей  $X$ ,  $Y$  під час експонування. Переважний вплив кутових зміщень може мати місце при аерофотозйомці з малих висот на великих швидкостях польоту, та при використанні широко-кутових аерофотооб'єктивів.

Для того щоб від геометричних зміщень, що визначаються за формулами (2.23) та (2.23), в які входить фактична витримка  $t$ , перейти до фотографічного зміщення  $\sigma_\phi$ , необхідно врахувати ряд факторів, що відображають природу виникнення фотографічного зображення.

Якщо фотографується лінійний об'єкт абсолютного контрасту розташований перпендикулярно по напрямленню зміщення, при ОККД аерофотозатвору  $\eta = 1$  та величині геометричного зміщення  $\sigma_w$ , що не перебільшує половину ширини об'єкта, то різниця між візуально оцінюваною шириною фотографічного зображення цього об'єкта при зміщенні  $\sigma_w$  та ширині цього об'єкта ( $\sigma_w = 0$ ) визначається за формулою (2.28):

$$\Delta l_\sigma = \sigma_\phi = \sigma_w - 2\sigma_w \frac{H_{пор}}{H_{max}} \quad (2.28)$$

де  $H_{пор}$  – порогова експозиція, яка викликає помітні для ока почорніння фото слою; вона залежить від світлочутливості аерофотоплівки та умов її проявлення, та матриці в цифрових аерофотоапаратах, та методом виведення зображення;

$H_{\max}$  – максимальна експозиція, що передається частині фотоплівки чи матриці від того чи іншого об'єкта; вона залежить в першу чергу від яскравості променевого потоку, що будує оптичне зображення об'єкта.

З останньої формули можна зробити висновок, що при фотографуванні об'єктиви, які мають велику яскравість ( $H_{\max} \geq 20 H_{\text{пор}}$ ), фотографічне зміщення мало відрізняється від геометричного.

Для об'єктів літнього ландшафту користуються приближеною формулою (2.29):

$$\sigma_{\phi} \approx (0,6:0,7)\sigma_w \quad (2.29)$$

Для визначення роздільної здатності  $R_p$  з урахуванням впливу зміщення зображення, що має назву динамічна роздільна здатність при ОККД затвору  $\eta=1$ :

$$R_p = \frac{R_{\phi}}{\sqrt{1+(R_{\phi} \cdot \sigma_w)^2}} \quad (2.30)$$

В ряді випадків для оцінки впливу відносно великих зміщень зображення ( $\sigma_w = \frac{1}{R_o}$ ) на роздільну здатність використовують формулу:

$$R_p = \frac{R_{\phi}(3-1,8\eta)}{R_{\phi} \cdot \sigma_w + 2,5-1,8\eta} \approx \frac{R_{\phi}}{1+R_{\phi} \cdot \sigma_w} \quad (2.31)$$

Точність розрахунків за цими формулами складає лише 10%. З формул можна зробити висновок, що геометричне зміщення зображення  $\sigma_w = \frac{1}{R_o}$  знижує роздільну здатність на 30-50%.

Для наближеної оцінки впливу зміщення зображення на КЧХ фотографічної системи використовується формула:

$$T(N') = \frac{\sin(\pi \sigma_{\phi} N')}{\pi \sigma_{\phi} N'} \quad (2.32)$$

де  $N'$  - просторова частота ( $\text{мм}^{-1}$ ), для якої визначається коефіцієнт зниження контрасту  $T(N')$ ;

$\sigma_{\phi}$  - величина фотографічного зміщення зображення;

Найбільш надійна оцінка впливу зміщення зображення на КЧХ отримується з експериментальних дослідів. Суттєвий вплив зміщення

зображення на роздільну здатність так ЧКХ фотографічної системи обумовлюється необхідністю використання засобі, що дозволяють зменшити величини зміщень.

Одним з методів зменшення зміщення зображення являється зменшення витримки  $t$ . При цьому величина витримки визначається в залежності від допустимого зміщення зображення, тобто:

$$t_{\text{дон}} \leq \frac{m}{W} \sigma_{W,\text{дон}} \quad (2.33).$$

Однак фотографування з короткими витримками, при яких величина зміщення  $\sigma_W$  не виходить за допустимі межі, не завжди можливе. По-перше, найменша величина витримки обмежена межею допустимих мінімальних експозицій. По-друге, конструкцією аерофотозатворів передбачається визначений діапазон витримок та максимальна швидкість роботи затворів суворо обмежена. По-третє, при використанні фотографічних матеріалів високої чутливості, вимоги фотографування з короткими витримками знаходяться в протиріччі з необхідністю аерофотозйомки при низьких та середніх рівнях освітленості. В цьому випадку суттєво зменшується діапазон зйомочного часу. Тому при аерофотозйомці при великих швидкостях польоту літального апарату без скорочення витримок та навіть при їх збільшенні, коли це необхідно в умовах зниженої освітленості, окремі типи аерофотоапаратів мають спеціальна пристрої для компенсації зміщення зображення, які в тій чи іншій степені зменшують лінійні зміщення зображення. Основні вимоги до пристроїв, що компенсують лінійні зміщення зображення, – збереження оптичного зображення нерухомим відносно світло чуттєвого слою у всіх точках кадру при його експонуванні, тобто виконання для будь-якої точки поля зображення умови, яка може бути описана за допомогою формули:

$$v_x = v_u = \frac{\sigma_W}{t} = W \frac{f}{H} = \frac{W}{m} \quad (2.34),$$

тобто швидкість компенсації зміщення зображення повинна бути рівною швидкості переміщення зображення.

Ця задача вирішується за допомогою спеціальних пристроїв, які компенсують швидкість руху зображення. Однак будь-який пристрій КЗЗ не

здатен повністю компенсувати відносно зміщення зображення: існують залишкове зміщення, яке залишає деяку долю загального зміщення.

Аерофотозйомка під дією різних збурень як зовнішніх (вібрації літака під дією силової установки, турбулентність атмосфери та ін.), так і внутрішніх (спрацювання аерофотозатвору) здійснює вібраційні рухи. Багато чисельні джерела збурень, які не пов'язані між собою, обумовлюють випадковий характер вібрації аерофотокамери та складність математичного описання.

Установлено, що для літальних апаратів з вмонтованими двигунами частота вібрації не перевищує 40-70 Гц, а амплітудні значення лінійних прискорень, обумовлених вібрацією, не більше  $15 \cdot 10^{-3} g$  в горизонтальному прямолінійному польоті з постійною швидкістю. В результаті вібрацій за названими характеристиками амплітудні зміщення точок кріплення аерофотокамери не будуть перевищувати 0,1 мм.

Так як при аерофотографуванні витримка  $t \leq \frac{1}{100}$  с, то в більшості випадків менше однієї четвертої періоду вібраційних коливань, то при оцінці вібраційного зміщення зображення можна вібраційні зміщенні аерофотокамери розглядати як рівномірне зміщення, а кут поворот камери  $\Delta\alpha_B$  визначати, входячи з середнього значення кутової швидкості  $\phi$ , що характеризує коливальні рухи, викликані основним джерелом коливання, наприклад роботою силової установки[29-36].

Тоді:  $\Delta\alpha_B = \phi t$ .

Порівняння величин зміщень зображення, обумовлених впливом вібраційних переміщень аерофотокамери та поступальним рухом літального апарата, показує, що в залежності від конкретних умов має місце нерівність  $\sigma_{\phi,B} \gg \sigma_W$ , так як

$$\frac{\phi}{\cos^2 W} \gg \frac{W}{H} \quad (2.35)$$

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРАХУНОК РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ЦИФРОВОГО АЕРОФОТОАПАРАТУ

#### 3. 1. Розрахунок частотно-контрастної характеристики

Частотно-контрастна характеристика, тобто функція передачі модуляції в оптиці та фотографії, – один з параметрів, що характеризують якість системи, що відтворює зображення (такими системами, зокрема, є оптичні прилади і світлочутливі матеріали).

Зазвичай вимірюється і розглядається не як одне число, а у вигляді графіків залежностей контрасту.

Частотно-контрастна характеристика – безрозмірна величина  $T$ , що визначається як відношення величини контрасту репродукції (зображення, що отримується за допомогою відтворюючої системи), до контрасту відповідної області оригіналу (відтвореного об'єкта).

Значення частотно-контрастної характеристики  $T$  залежить від просторової частоти деталей оригіналу  $N$ : чим більше частота  $N$ , тим нижче  $T$ . Тому частотно-контрастною характеристикою називають також графік залежності  $T$  від  $N$ , який вимірюється за допомогою деякого стандартного тест-об'єкта.

При визначенні частотно-контрастної характеристики оцінюють розподіл освітленості на ділянках репродукції в порівнянні з відомим розподілом яскравості оригіналу. Як оригінал при оцінці частотно-контрастної характеристики використовують періодичні решітки (міри) з лінійчатою структурою. За результатами вимірювання будують графік залежності частотно-контрастної характеристики від частоти.

Кафедра авіоніки				НАУ 20 05 74 000 ПЗ			
Виконав	Шарудило О.П.			РОЗРАХУНОК РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ЦИФРОВОГО АЕРОФОТОАПАРАТУ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Керівник	Белінський В.М.						
Консульт.	Белінський В.М.						
Н. Контр.	Левківський В.В.						
Зав.каф.	Павлова С.В.						
					173 «Авіоніка»		



$$T = \frac{(E_{max} - E_{min}) / (E_{max} + E_{min})}{(L_{max} - L_{min}) / (L_{max} + L_{min})}$$

де  $E_{max}$ ,  $E_{min}$  – максимальна і мінімальна освітленості підсумкового зображення;  
 $L_{max}$ ,  $L_{min}$  – максимальна і мінімальна яскравості оригіналу.

Форма графіка такої залежності і його абсолютні величини описують інтегральну характеристику мікроконтраст оптичної системи, світлочутливого матеріалу або фотографічного процесу.

Традиційні методи вимірювання ЧКХ об'єктивів можна умовно розділити на два основних види.

Перший підхід заснований на прямому вимірюванні контрасту (або модуляції) від набору мір різної просторової частоти. Міру (від французького 'mire' – мушка, приціл) являє собою періодичну решітку, з чергуванням прозорих і непрозорих смужок з відомими розмірами; виготовляється, як правило, на склі шляхом напилення на нього непрозорих смужок металу. У наборі присутні решітки різної орієнтації і з різним періодом пари (прозора і непрозора) смужок. Спостерігаючи камерою набір таких мір через коліматор з відомим фокусною відстанню ( $f_k$ ), ми можемо виміряти модуляцію від кожної, наявної в наборі решітки. Просторова частота решітки (F) на фотоприймачі визначається через відношення фокусних відстаней об'єктиву камери ( $f$ ) та коліматора  $f_k$ , а також відстань між двома непрозорими смужками ( $p$ ):

$$F = f_k / f \text{ [1 пара ліній / мм]}$$

точні вимірювання вимагають синусоїдального закону зміни пропускання решітки міри від 100% прозорого до повністю непрозорого - така міра називається мірою абсолютного контрасту. Реальні міри мають, як правило, близький до прямокутного закону світлопропускання смужок решітки, за обсягом приблизно від 95% прозорого до 5% непрозорого, що більш технологічно по виконанню і цілком достатньо по точності для більшості застосувань. Якщо коліматора немає, то міру можна намалювати чорною тушшю на білому аркуші і через відстань від міри до камери (а також  $f$  і  $p$ ) визначити просторову частоту решітки; тут помилки будуть більше, але цей метод доступний для кожного [32].

Сучасні цифрові аерофотокамери, створені на базі ПЗЗ матриці, можуть використовуватися в більшому обсязі ніж традиційні фотокамери. При розробці спеціальної камери при визначенні її функціональних можливостей виникає потреба більш точної і об'єктивної оцінки параметрів дозволу в різних умовах роботи такої камери (впливу великого перепаду температур, механічні удари і вібрації, вплив радіації, а також робота при різних рівнях і спектральному складі світлових потоків тощо). У цьому випадку використання очей як інструменту для оцінки параметрів дозволу дуже обмежена, а іноді в принципі неможливо (наприклад, око не бачить випромінювання в діапазоні спектру від 0.75 до 1.1 мкм, яке чудово бачить простий кремнієвий ПЗЗ); тут потрібні саме вимірювання, причому всіх характеристик розрізнення, а не його суб'єктивна оцінка через один параметр.

Другий традиційний спосіб заснований на вимірюванні апертурної характеристики пікселя ПЗЗ. За допомогою оптики, що має функцію розсіяння точки (ФРТ) явно краще, ніж вимірюваний ПЗЗ, проєктують світлову пляму в 5-10 разів менше розміру пікселя. Переміщають пляму через світлочутливий піксель з кроком рівним діаметру плями і вимірюють на кожному кроці вихідний сигнал з цього пікселя. Нормують до максимуму і отримують апертурну характеристику для даного спектрального складу світла.

Відомо, що багато камер мають вбудоване штучне підвищення різкості зображення, що дозволяє «витягнути» зображення з матриці посередньої якості. Підвищення різкості включає в себе підкреслення країв шляхом завищення контрасту. Програма RightMark Video Analyzer (далі RMVA) дозволяє об'єктивно оцінити якість зображення отриманого камерою, що включає оптику, матрицю / матриці, АЦП, відеопроцесор і порівняти ідеальне з одержаним зображення. Video Analyzer будує графік частотно-контрастної характеристики (ЧКХ, в англійській транскрипції MTF), що є вичерпною об'єктивною характеристикою якості зображення. Графік ЧКХ має вигляд спадаючої лінії, де по осі абсцис відкладено просторову частоту, а по осі ординат - контраст (різниця яскравості самих світлих і найтемніших точок) для заданої просторової гармоніки.

Отриманий графік зручний для виявлення порушень у передачі крупних, середніх і дрібних деталей за розмірами. Також ЧКХ дозволяє точно оцінити продольну роздільну здатність камери (місце на вертикальній клиновій мірі, де смужки зливаються), так як суб'єктивний метод дає велику похибку. Існуючі методики побудови ЧКХ вимагають використання декількох програм і великої кількості ручних обчислювальних операцій.

В якості тестового зображення використовується традиційна таблиця з штриховою мірою EIA1956.

На жаль, таблиця незручна з точки зору подальшої обробки результатів, тому що містить не одну безперервну тестову область зі смужками, що передуються зі збільшеною просторовою частотою, а три вузькі клинові міри для діапазону чіткості 200-1600 твл (телевізійних ліній).

За 100% яскравості береться біле поле (усереднення яскравості масиву точок на великому білому колі в центрі таблиці). Якщо камера використовує штучне підвищення різкості (шарпенінг, від англ. to sharpen – заточувати, загострюват'), то контраст може перевищувати 100%. У подальшому для коректної побудови ЧКХ повинна бути введена корекція нульового рівня яскравості (усереднення яскравості точок самої темної частини градієнта щільності на таблиці).

Для вимірювання частотно-контрастної характеристики необхідно виконати наступні дії:

- закріпити роздруковану міру – тестову таблицю EIA1956 на стіні, забезпечити достатню і рівномірне освітлення. Розташувати камеру на штативі так, щоб таблиця займала весь екран по горизонталі при середніх значеннях зуму. При зйомці в широкому форматі рекомендується розміщувати таблицю в центрі екрану. Необхідно слідкувати за горизонтальністю. Забезпечити абсолютно стійке положення камери і зробити знімок таблиці;

- якщо дозволяє освітлення і настройки, використовуйте середню величину діафрагми (iris) при відключеному посиленні (gain) - це дозволить досягти максимальної роздільної здатності. Автофокусування може призводити

до флуктуацій чіткості, тому після наведення на таблицю автофокусування рекомендується відключити. Також варто звернути увагу на величину різкості;

- важлива умова при зйомці: маленькі білі трикутники знизу і зверху таблиці повинні торкатися меж кадру, а не обмеженої області у видошукачі, тобто необхідно контролювати зображення на зовнішньому моніторі з видимою областю 100% або у програмі захоплення. Це дозволить задіяти всю площу матриці і забезпечить правильні результати;

- за допомогою даних з програми RMVA можна побудувати графіки контрастно частотної характеристики.

За допомогою тестової таблиці EIA1956 та програми RMVA побудуємо частотно-контрастні характеристики для цифрової камери SONY DSC-V3, яка має наступні технічні параметри:

Горизонтальне розрізнення – 72 (точок/дюйм);

Вертикальне розрізнення – 72 (точок/дюйм);

Глибина кольору – 24;

Фокусна відстань – 7 мм;

Фокусна відстань – F/2,8;

Чутливість по ISO – ISO-100;

Тестову таблицю фотографували камерою SONY DSC-V3 при умовах різних значень витримки гіперфокальної витримки, тобто за допомогою використання зуму ( зміни фокусної відстані об'єктива).

Як показало вивчення реальних тестових зразків, шум та артефакти компресії дуже впливають на розкид одержуваних даних, тому для наочності частотно-контрастних характеристик було побудовано лінії тренду[39].

Перший знімок (рис.3.1) було зроблено при стандартних настройках без використання зуму, витримка складає 1/80.

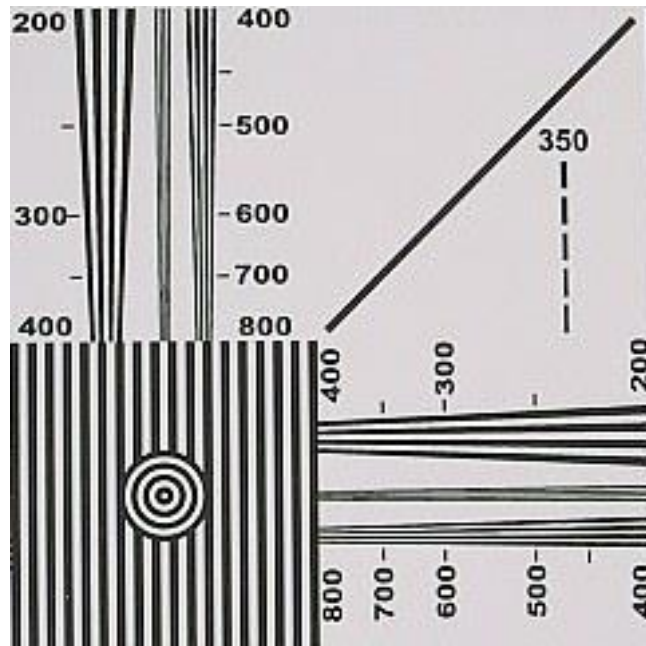


Рис.3.1. Фото тестової таблиці EIA1956 камерою SONY DSC-V3 при стандартних настройках

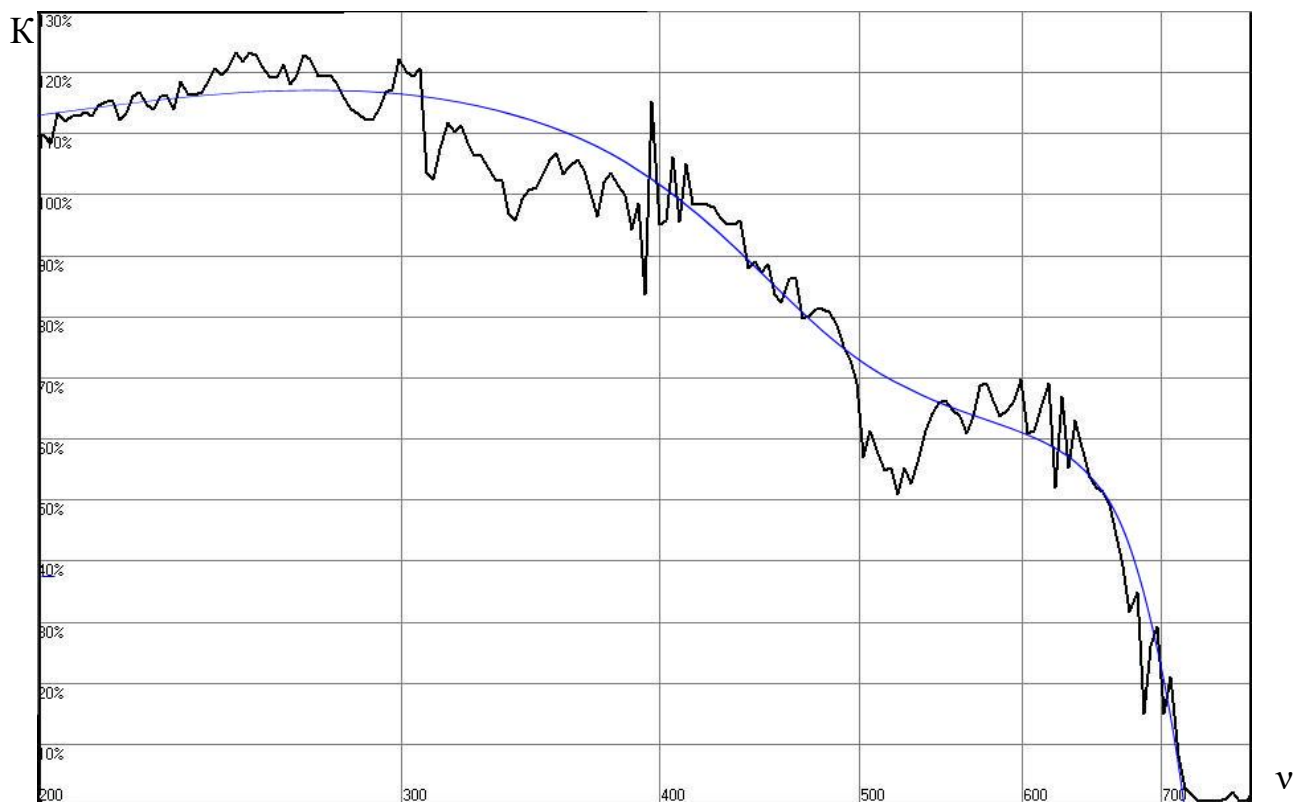


Рис. 3.2. Частотно-контрастна характеристика фотографії зробленої зі стандартними настройками. Де К – контраст зображення;  $\nu$ -частота штрихових ліній.

Другий знімок (рис.3.3) було зроблено з меншою витримкою (1/60), та зі зміною фокусної відстані до 2,2 мм.

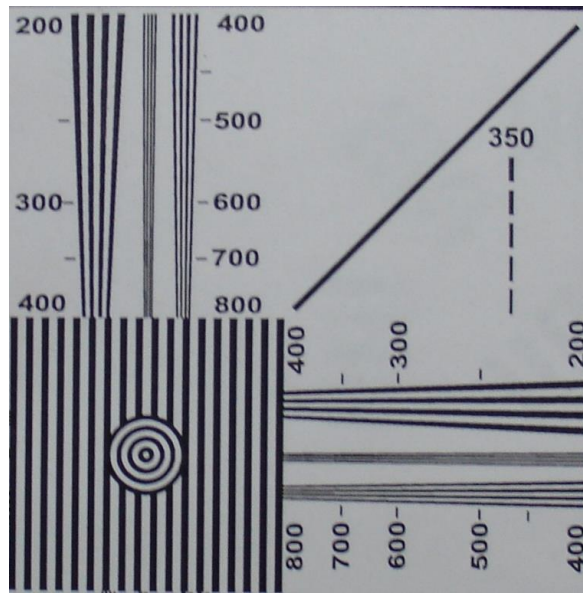


Рис. 3.3. Фотографія зроблена з витримкою 1/60 та фокусною відстанню 2,2.

В цьому випадку частотно-контрастна характеристика матиме вигляд показаний на рис. 3.4.



Рис.3.4. Частотно-контрастна характеристика знімку зробленого з використанням зуму 2,2, та витримкою 1/60

Третій знімок (рис.3.5) т також було зроблено при збільшеній фокусній відстані, в даному випадку до 3,1, а значення діафрагми встановлено 3, та з витримкою 1/60. Його частотно-контрастна характеристика зображена на (рис.3.6.).

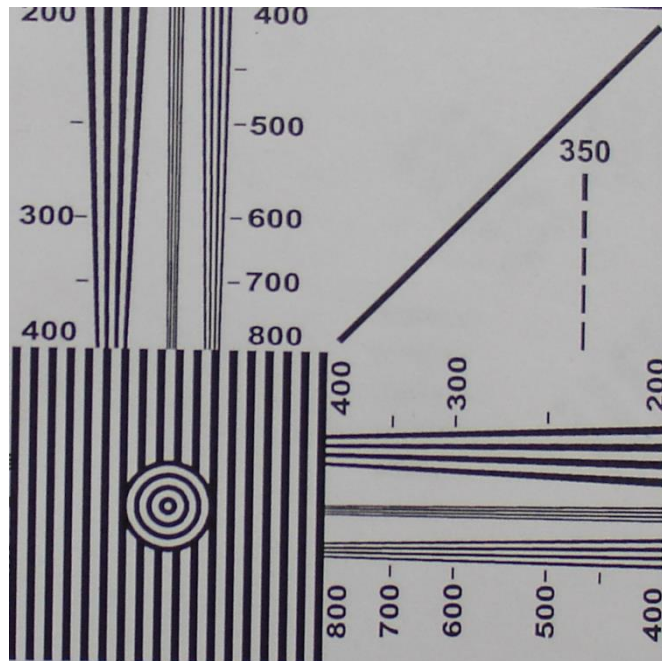


Рис.3.5. Знімок при фокусній відстані 3,1, зі значенням діафрагми 3

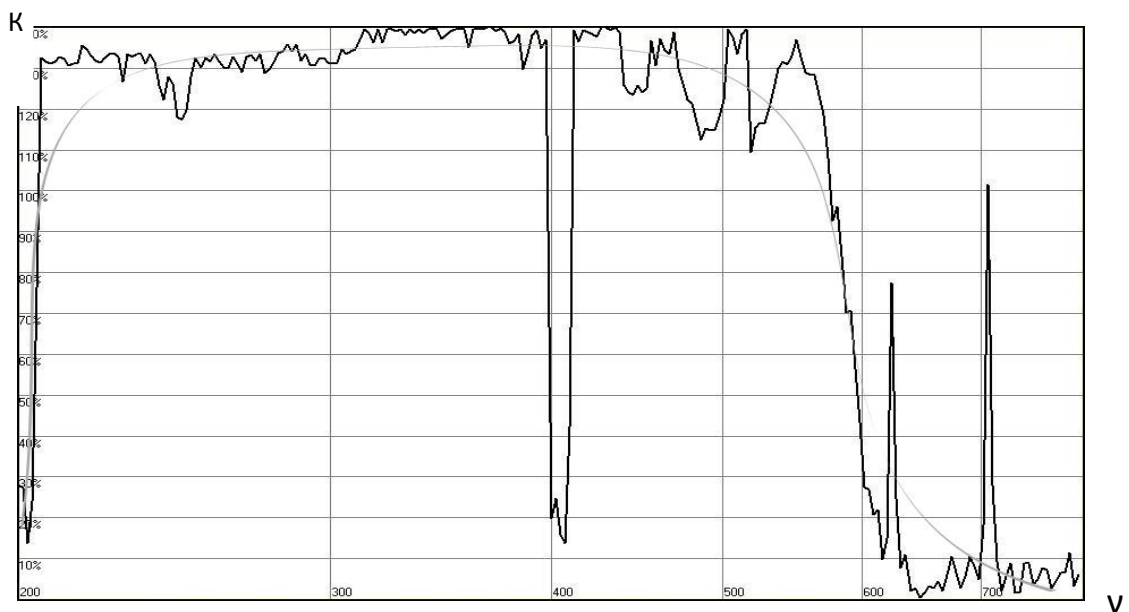


Рис. 3.6. ЧКХ фотографії при фокусній відстані 3,1 зі значенням діафрагми 3

З отриманих фото знімків та побудованих частотно-контрастних характеристик можна зробити висновок про якість знімку в залежності від режиму фотографування та фокусній відстані. На перший погляд всі три фотографії мають досить чітке зображення, проте на графіках чітко видно різницю між ними.

Для детального аналізу отриманих частотно-контрастних характеристик їх можна порівняти з ЧКХ «ідеальної камери», зображеної на (рис. 3.7).

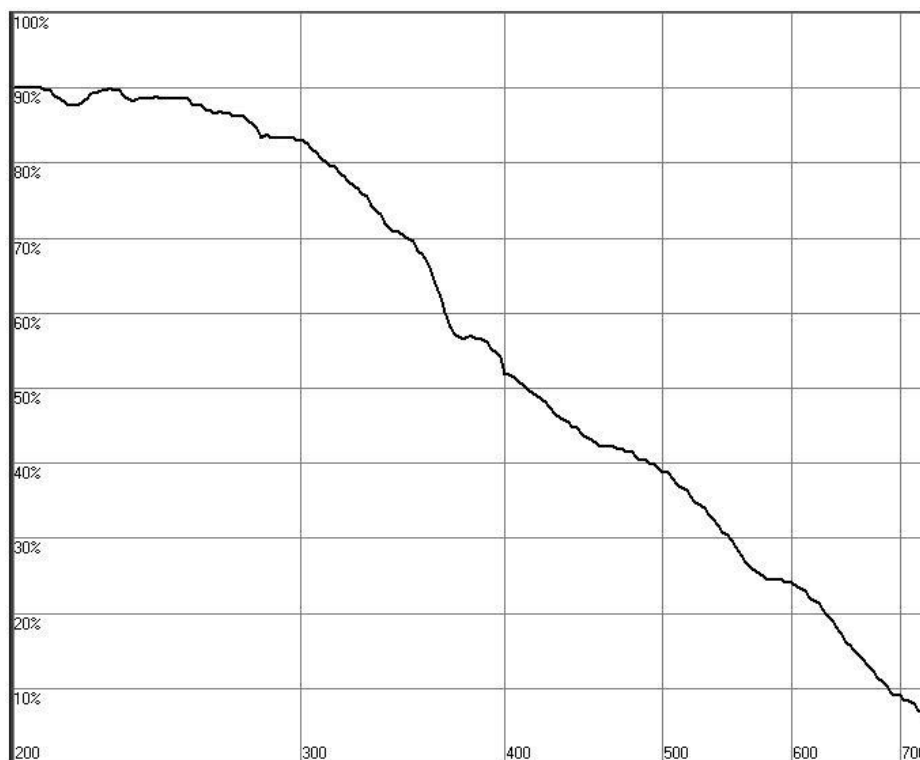


Рис. 3.7. ЧКХ «ідеальної камери»

ЧКХ першого знімку, що був зроблений без використання зуму тобто збільшення фокусної відстані об'єктива та зі стандартними настройками більше всього схожий на ЧКХ «ідеальної камери». Зі збільшенням частоти штрихових ліній поступово зменшується контраст зображення.

В другому випадку, при зменшенні витримки з 1/80 до 1/60, та використанні зуму величиною у 2,2, бачимо різке зниження контрасту зображення.

В третьому випадку видно, що з самого початку значення контрасту зображення різко збільшується з 15% до 130%, але вже при досягненні частоти штрихових ліній 400 ,різко зменшується знову до 15%. Крім того, контраст зображення знову різко збільшується до 140%. З цих різких перепадів контрасту можна зробити висновок про не достатню якість отриманого зображення. Для аерофотоапаратів дуже важливо щоб ЧКХ була максимально наближена до «ідеальної камери».



### 3. 2. Розрахунок порогової характеристики

Основною пороговою характеристикою цифрового аерофотоапарату являється порогова чутливість, що представляє собою найменше значення сигналу (потік випромінювання або освітленість), при дії яких на вхідну зіницю оптичної системи, в даному випадку цифрового аерофотоапарату, забезпечується задана ймовірність виявлення, похибка стеження або похибка відтворення зображення об'єкта спостереження. При цьому значення сигналу повинно перевищувати рівень шуму в задану кількість разів.

Величина, що обернено пропорційна порогу чутливості називається дальністю дії.

Джерела шумів вихідного каскаду, вбудованого в ФПМ ПЗЗ, показані на малюнку 3.8.

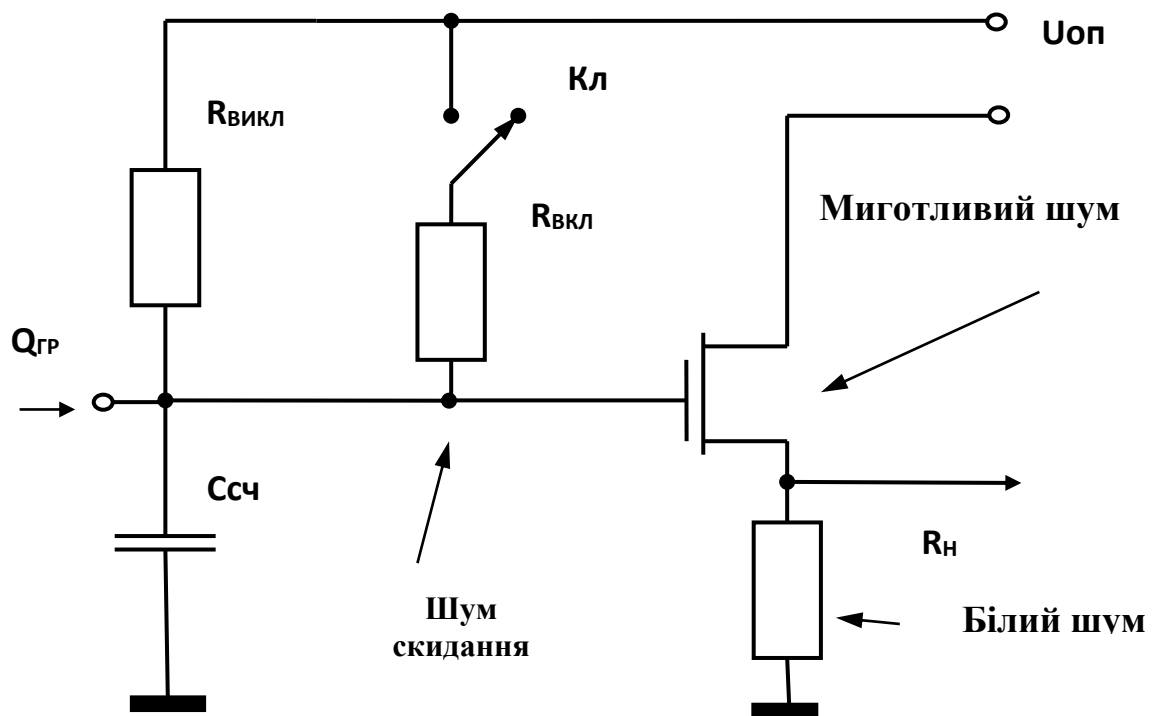


Рис.3.8. Джерела шумів вихідного каскаді в ФПМ ПЗЗ.

де  $Q_{ГР}$  – поточний пакет зарядів з горизонтального регістру ФПМ ПЗЗ;

$R_{вickl}$  – внутрішній опір вимкненого ключа;

$C_{сч}$  – конденсатор зчитування зарядів;

$R_{вкл}$  – внутрішній опір включеного ключа;

Шум скидання – точка виникнення шуму скидання ємності зчитування;

$U_{оп}$  – опорна напруга;

Сток – стік польового транзистора;

миготливий шум – точка виникнення миготливого шуму;

$U_{вих}$  – вихідна напруга;

$R_H$  – опір навантаження;

Білий шум – точка виникнення білого шуму.

У схемі вбудованого вихідного каскаду ФПМ ПЗЗ можна ідентифікувати джерела шуму:

- шум скидання: тепловий шум опору каналу ( $R_{вкл}$ ) польового ключа (Кл). Цей шум часто називають  $kT / C$ -шумом. При типовому значенні від 100 до 300 електронів ( $C_{кз}$ ), цей шум є домінуючим обмеженням при детектуванні сигналів низького рівня. Ілюстрація шуму скидання зображена на рис. 3.9.

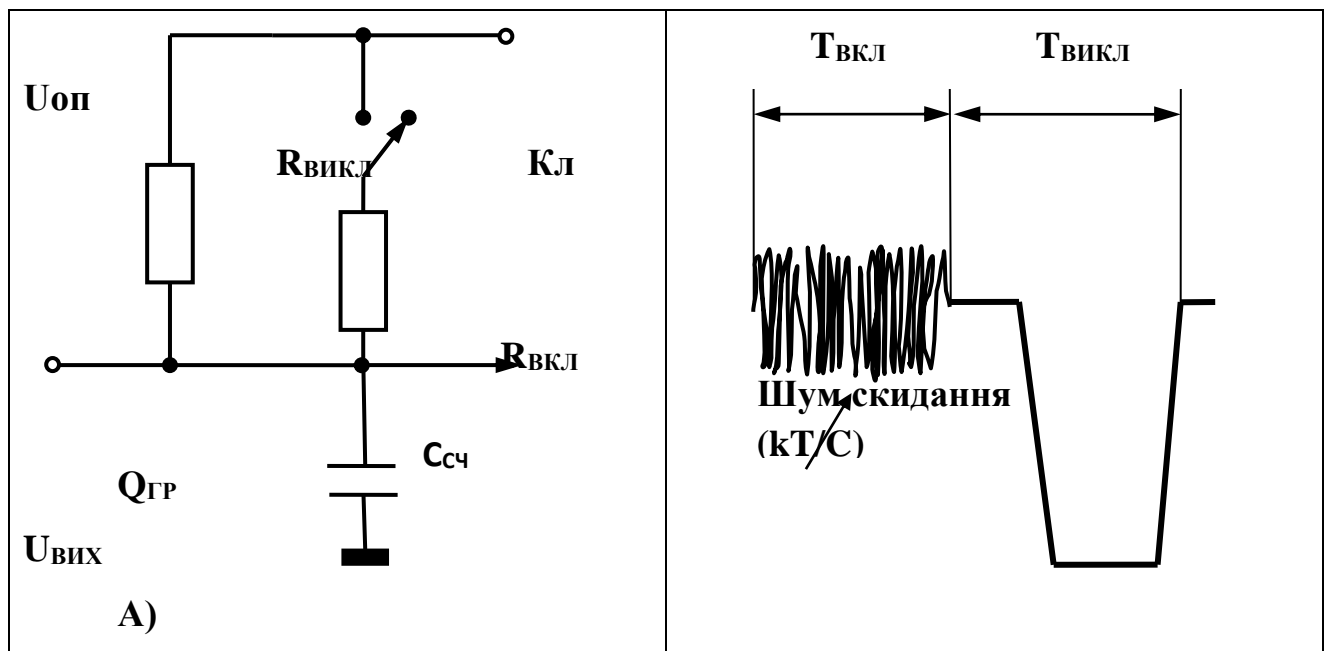


Рис. 3.9. Джерела шуму скидання. А) Еквівалентна схема ключа; Б) Епюра вихідної напруги.

де  $Q_{ГР}$  – поточний пакет зарядів з горизонтального регістру ФПМ ПЗЗ;

$R_{вкл}$  – внутрішній опір вимкненого ключа;

$C_{сч}$  – конденсатор зчитування зарядів;

$R_{вкл}$  – внутрішній опір включеного ключа;

$U_{оп}$  – опорна напруга;

$U_{\text{вих}}$  – вихідна напруга;

$t_{\text{вкл}}$  – тривалість включеного стану ключа;

$T_{\text{викл}}$  – тривалість вимкненого стану ключа;

• шум мерехтіння також відомий як  $1/f$ -шум. Цей шум народжується в МОП-польовому транзисторі за рахунок пасток, що виникають із-за сторонніх домішок і кристалічних дефектів у напівпровіднику. Його значення залежить від умов роботи.

• білий шум також відомий як шум резистора: він залежить від температури і дорівнює  $\sqrt{(4kTRB)}$ . Білий шум має декілька джерел. Наприклад, шум резистора навантаження ( $R_H$ ).

Головні складові шуму скидання надходять з конденсатора зчитування ( $C_{\text{сч}}$ ) і ключа (Кл), а саме з його опору у включеному стані ( $R_{\text{вкл}}$ ). Про конденсатор зазвичай думають як про прилад, що не спричинює шуму. Однак, у разі застосування у ПВЗ вони шумлять, тому що конденсатор періодично скидається. Опір ключа скидання є джерелом теплового шуму. Цей шум передається в конденсатор, коли ключ скидання замкнутий. Оскільки значення опору  $R_{\text{вкл}}$  менше, то і його шум менше, але  $R_C$  пропускну здатність збільшується. Шум може бути розрахований таким чином:

$$e_{\text{шт}} = \sqrt{(4kTRB)} \quad (V_{\text{скз}}), \quad (3.1)$$

де  $e_{\text{шт}}$  – тепловий шум резистора;

$k$  – постійна Больцмана =  $1.38054 \cdot 10^{-23}$ ;

$T$  = абсолютна температура в Келвіна, ( $298 \text{ К} = +25^\circ \text{ C}$ );

$R$  = опір включеного ключа, Ом;

$B$  = смуга шумів в Гц.

Оскільки модель ФПМ ПЗЗ має однополюсний характеристику, то

$$B = -3\text{дБ} \cdot \pi/2. \quad (3.2)$$

Величина  $B$  є частотної смугою шуму для однополюсної характеристики або шумовий смугою. Тому позначимо її ШП. Тоді:

$$\text{Ш}_\Pi = \frac{1}{2\pi RC} \cdot \frac{\pi}{2} = \frac{1}{4RC} \quad (3.3)$$

тоді

$$e_{\text{шт}} = \sqrt{\frac{4kTR}{4RC}} = \sqrt{\frac{kT}{C}} \quad (3.4)$$

Наприклад, для ФПМ ПЗС:  $C_{\text{сч}} = 0,1$  пФ,  $R_{\text{вкл}} = 2$  кОм. Тоді шумова полоса:

$$\text{Ш}_{\text{П}} = \frac{1}{4 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-12}} = 1,25 \text{ (ГГц)}$$

Розрахуємо  $e_{\text{шт}}$  за формулою (3.4):

$$e_{\text{шт}} = \sqrt{\frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 298}{0,1 \cdot 10^{-12}}} = 0,203 \text{ мВ}$$

Білий шум можна визначити за наступною формулою:

$$E_{\text{ШБ}} = \sqrt{4kTB R_0}, \quad (3.5)$$

де  $R_0$  – вихідний імпеданс вихідного каскаду ФПМ ПЗС.

Зазвичай  $R_0 = 200 \dots 20\,000$  Ом. Наприклад:  $B = 1$  МГц,  $R_0 = 2000$  Ом,

$$e_{\text{ШБ}} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 298 \cdot 10^6 \cdot 2000} = 5,75 \text{ (мкВ) (СКЗ)}.$$

Тут вихідний імпеданс вихідного каскаду ФПМ ПЗС ( $R_0$ ) формується резистором навантаження ( $R_{\text{н}}$ ) і опором каналу вихідного польового транзистора.

Для значення  $R_0 = 4000$  Ом, білий шум матиме наступне значення:

$$e_{\text{ШБ}} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 298 \cdot 10^6 \cdot 4000} = 8,11 \text{ (мкВ)}$$

Для значення  $R_0 = 6000$  Ом:

$$e_{\text{ШБ}} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 298 \cdot 10^6 \cdot 6000} = 9,93 \text{ (мкВ)}$$

Для значення  $R_0 = 8000$  Ом:

$$e_{\text{ШБ}} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 298 \cdot 10^6 \cdot 8000} = 11,37 \text{ (мкВ)}$$

Для значення  $R_0 = 10$  К Ом:

$$e_{\text{ШБ}} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 298 \cdot 10^6 \cdot 10000} = 12,83 \text{ (мкВ)}$$

Для значення  $R_0 = 15$  К Ом:

$$e_{\text{ШБ}} = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 298 \cdot 10^6 \cdot 15000} = 15,71 \text{ (мкВ)}$$

За даними розрахованих значень можна побудувати графік залежності зміни білого шуму в залежності від величини вихідного імпедансу вихідного каскаду ФПМ ПЗЗ (рис.3.10)

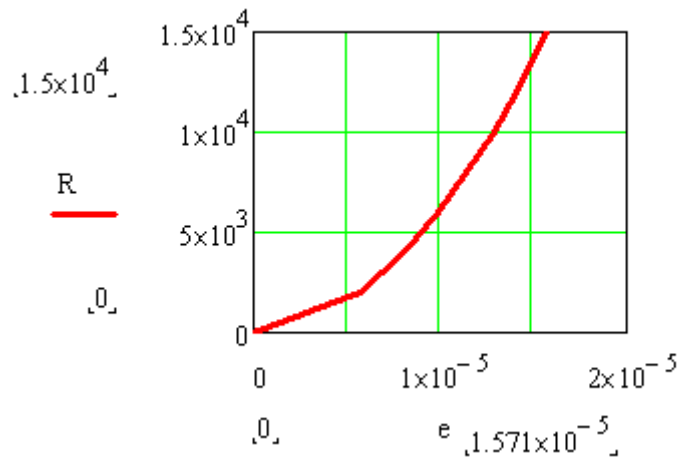


Рис. 3.10. Залежність білого шуму від величини вихідного імпедансу вихідного каскаду ФПМ ПЗЗ

З цього графіка можна зробити висновок, що чим більше значення вихідного імпедансу вихідного каскаду ФПМ ПЗЗ тим більше величина білого шуму.

На рис.3.11. показана спрощена форма вихідного сигналу в схемі з подвійною корельованою вибіркою.

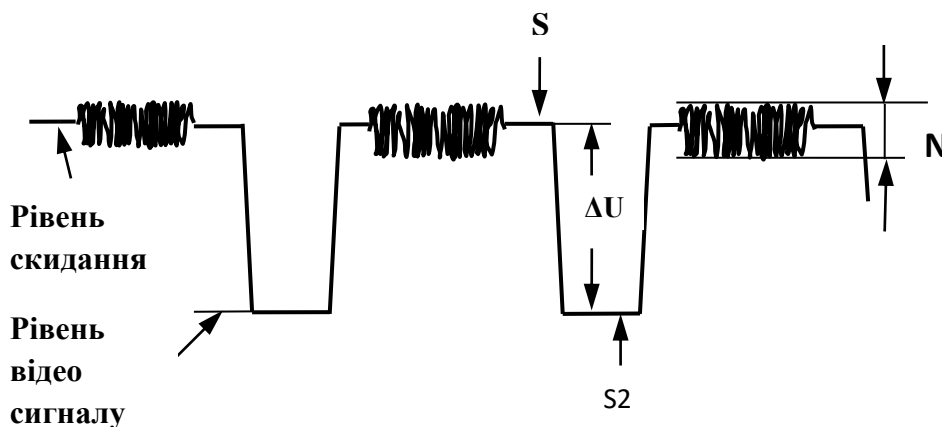


Рис. 3.11. Спрощена форма вихідного сигналу в схемі з подвійною корельованою вибіркою

де S1 – перша вибірка;

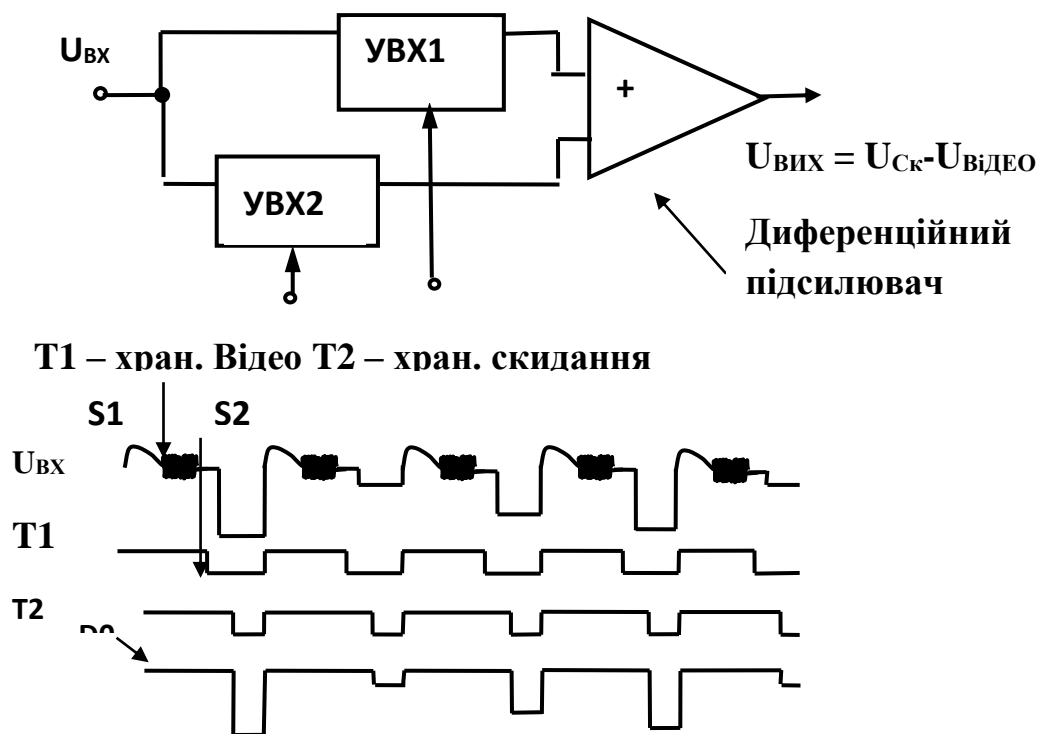
S2 – друга вибірка;

$\Delta U$  – різниця відеосигналу і рівня шуму;

$N = kT / C$  – амплітуда шуму

Щоб зменшувати ( $kT/C$ ) шум, в системі формування зображень використовують схему, що називається "Подвійна корельована вибірка" (ПКВ). Назва походить від методу подвійної вибірки зарядового сигналу ПЗЗ. Перша вибірка (S1) виконується в кінці періоду скидання. Коли вимикач скидання відкривається знову, ефективна смуга шумів змінюється з-за великої різниці у значеннях опору ключа  $R_{вкл}$  і  $R_{викл}$ . Це змушує домінуючий ( $kT/C$ ) шум істотно зменшити на його останньому значенні.

Друга вибірка (S2) виконується протягом тривалості відео частини сигналу. В ідеалі, ці дві вибірки відрізняються тільки напругою, відповідним переданому сигналом заряду. Результуючий сигнал являє собою різницю відеосигналу і рівня шуму ( $\Delta U$ ). Функція ПКВ усуває ( $kT/C$ ) шум, а також велику частину шуму  $1/f$  і білого шуму. Схемна реалізація ПКВ показана на малюнку 3.12.



А - функціональна схема; Б - Часові діаграми сигналів

Рис.3.12. Функціональна схема подвійної корельованої вибірки

Тут представлена схема блоку ПКВ. Два підсилювача вибірки й зберігання і один диференціальний підсилювач складають схему подвійної корельованої вибірки.

Вихідний сигнал ФПМ ПЗЗ надходить на входи двох підсилювачів вибірки й зберігання, а їх виходи з'єднані з входами диференціального підсилювача. Тимчасова діаграма пояснює роботу. У момент  $t_1$  підсилювач вибірки та зберігання ( $U_{ВХ1}$ ) входить в режим зберігання, запам'ятовуючи вибірку рівня скидання, включаючи шум. Це напруга ( $U_{скидання}$ ) надходить на неінвертуючий вхід диференціального підсилювача. У момент  $t_2$  підсилювач вибірки та зберігання ( $U_{ВХ2}$ ) зробить вибірку відео рівня, який є різницею  $U_{скидання} - U_{відео}$ . Вихідна напруга диференціального підсилювача визначається рівнянням  $U_{вих} = U_{вх} + - U_{вх}$ . Вибірка напруги скидання містить  $kT / C$  шум, який усувається вирахуванням в диференціальному підсилювачі.

Метод подвійної корельованої вибірки також зменшує білий шум. Білий шум - частина напруги скидання ( $U_{скидання}$ ) так само, як і відео амплітуди ( $U_{скидання} - U_{відео}$ ). Враховуючи, що шум другої вибірки не змінився з моменту першої вибірки, амплітуда шуму така ж і корелює в часі. Тому, шум може бути зменшений функцією ПКВ.

### **3.3. Розрахунок роздільної здатності**

Роздільна здатність фотографічного зображення знаходиться в залежності від здатності оптичної системи створювати, а матриці цифрової камери фіксувати окремо (с достатнім контрастом) зображення невеликих деталей об'єкта що фотографується.

Роздільна здатність характеризує найбільшу (граничну) просторову частоту штрихів в межах поля зображення оптичної системи, в якому ці штрихи міри ще розрізняються окремо. Контраст зображення в основному визначає можливість роздільного сприйняття штрихів міри, при деякому пороговому значенні контрасту штрихи перестають відрізнятися. Відповідно, роздільна здатність являється просторовою частотою, виміряна по функції контрасту в точці з контрастом, що дорівнює його пороговому значенню.

Для визначення роздільної здатності оптичних систем використовують штрихові та радіальні міри (рис. 3.13).

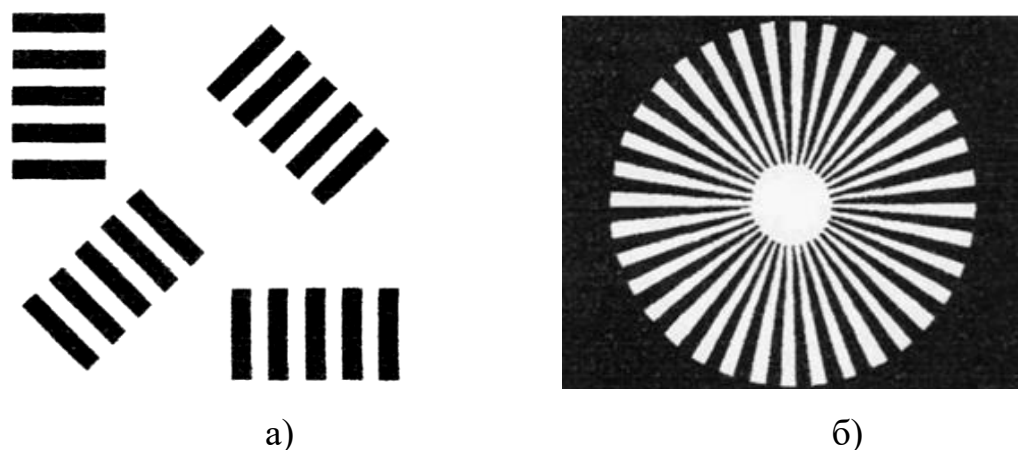


Рис.3.13 Штрихова та радіальна міри

Роздільна здатність в даний час є обов'язковим критерієм оцінки технічної досконалості систем, хоча методи її оцінки далеко не завжди однакові і повинні спеціально обмовлятися, оскільки виміряні по-різному можуть істотно можуть відрізнитися.

Оцінка по радіальній мірі проводиться за допомогою виміру так званого кола розмиття в зображенні міри за допомогою вимірбвального мікроскопа. Сама вимірювальна міра є колом (бетонним, полотняним), діаметром 10 ... 50м з 24 ... 36 чорно-білими секторами. Роздільна здатність оцінюється за формулою

$$R = N/\pi d,$$

де N – число пар чорних і білих секторів міри; d - діаметр кола розмиття. Коло розмиття може бути оцінено інструментальним шляхом.

Окрім крім радіальної, для оцінки роздільної здатності може використовуватись штрихова міра (рис. 3.13.a ), така, що є, наприклад, групою з трьох чорно-білих штрихів, що зменшуються по розмірах. Оцінка роздільної здатності проводиться по останній спостережуваній роздільно групі.

Завершуючи огляд методів оцінки роздільної здатності, необхідно згадати про те, що вона може бути оцінена по формулі  $R = 1/1.2\ell$ , де  $\ell$  – ширина кривої, інакше кажучи, проекція на вісь x відрізка кривої між точками перегину або по



її першій похідній по ЧКХ (зокрема, по точці її перетину з кривою порогової чутливості аероплівки).

Роздільна здатність об'єктива визначається візуально. Стандартні штрихові міри випускаються, відповідно до ДСТУ, шести номерів і представляють собою скляні пластинки, на які нанесені 25 елементів, оцифрованих по краях. Кожен з 25 елементів складається з чотирьох груп паралельних світлих смуг однакової ширини і довжини на чорному фоні. Групи штрихів у кожному елементі розташовані за чотирма напрямками: горизонтальному, вертикальному і під кутами 45° до двох перших. Під шириною одного штриха розуміють відстань між двома сусідніми темними або світлими штрихами, тобто темна і світла смуга складають один штрих. Ширина штрихів зменшується від елемента до елемента за законом геометричної прогресії з знаменником, рівним 0,94. Кутова відстань між осями поряд розташованих смуг дорівнює  $u = 206\ 265$ , а кількість смуг в одному міліметрі будь-якого елемента визначається за формулою[29]:

$$N = \frac{60}{B} \cdot K_n \quad (3.6)$$

де  $N$  – кількість штрихів на 1 мм;

$B$  – довжина бази міри в мм, відстань між позначками елементів 3 і 23, 11 і 15;

$K_n = 1,06^{(N-1)}$  - коефіцієнт, що залежить від номера  $N$  міри.

Значення  $K_n$  для різних значень  $N$  наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

$N$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$K_N$	1	1.06	1.12	1.19	1.26	1.34	1.42	1.51	1.6
$N$	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$K_N$	1.7	1.8	1.9	2.01	2.13	2.26	2.4	2.54	2.59
$N$	19	20	21	22	23	24	25		
$K_N$	2.85	3.02	3.20	3.4	3.6	3.8	4.0		

Тоді формула (3.6) буде мати наступний вигляд (3.7):

$$N = \frac{60}{B} \cdot 1,06^{(n-1)} \quad (3.7)$$

Міри розрізняють за номерами. Числові значення параметрів мір від № 1 до № 5 наведено в (табл. 3.2).

Таблиця 3.2.

Числові значення параметрів мір

Довжина баз	Номер елемента міри					Довжина бази	Номер елемента міри				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
<i>B</i>	1,2	2,4	4,8	9,6	19,2	<i>b</i>	1,14	2,27	4,55	9,07	18,02
<i>d</i>	0,219	0,438	0,877	1,75	3,51	<i>m</i>	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8
<i>C</i>	0,01	0,02	0,04	0,08	0,16	<i>S</i>	0,005		0,02	0,04	0,08

Вимірювання візуальної роздільної здатності аерофотооб'єктива та його елементів проводять на оптичній вимірювальній лави ОСК-2

Роздільну здатність об'єктива після визначення номера розрізненого елемента міри розраховують за формулою (3.8):

$$R = N \cdot \frac{f_k}{f_o} \quad (3.8)$$

де *N* – кількість штрихів на 1 лін/мм;

*f<sub>k</sub>*, *f<sub>o</sub>* – фокусні відстані коліматора та об'єктива відповідно.

Враховуючи формули (3.6.) та (3.7) розрахунку роздільної здатності матиме наступний вигляд (3.9) :

$$R = \frac{60}{B} \cdot 1,06^{(n-1)} \cdot \frac{f_k}{f_o} \quad (3.9)$$

Якщо фокусна відстань об'єктива (*f<sub>o</sub>*) складає 70 мм, фокусна відстань коліматора (*f<sub>k</sub>*)=1600, довжина бази міри (*B*) = 19,2, а номер видимої міри (*n*)=5, то для цих значень можна розрахувати роздільну здатність:

$$R = \frac{60}{B} \cdot 1,06^{(n-1)} \cdot \frac{f_k}{f_o} = \frac{60}{19,2} \cdot 1,06^{(5-1)} \cdot \frac{1600}{70} = 90,143 \text{ (ЛІН/ММ).}$$

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВОГО АЕРОФОТОАПАРАТУ

#### 4.1. Методика визначення роздільної здатності цифрового аерофотоапарату

Дослідження роздільної здатності аерофотоапарату проводиться на лабораторній установці – оптичній лаві (ОСК-2), зображеної на рис. 4.1.



Рис.4.1. Зовнішній вигляд лабораторної установки ОСК-2

Схема експериментальної установки представлена на рис. 4.2.

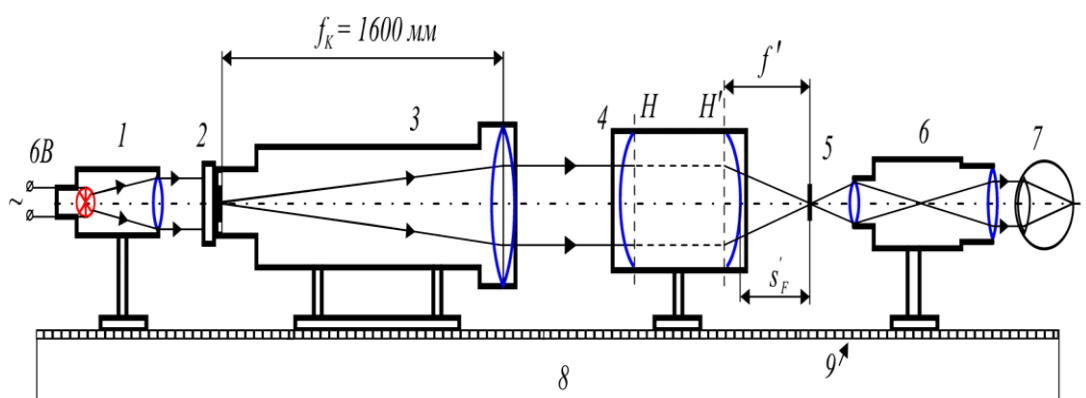


Рис.4.2. Оптична схема експериментальної установки

Згідно з рис.4.2. оптична лавя ОСК-2 представляє собою сукупність наступних основних складових елементів:

- 1 - освітлювач;
- 2 - міра;
- 3 - коліматор;

Кафедра авіоніки				НАУ 20 05 74 000 ПЗ			
Виконав	Шарудило О.П.			РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВОГО АЕРОФОТОАПАРАТУ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Керівник	Белінський В.М.						
Консульт.	Белінський В.М.				173 «Авіоніка»		
Н. Контр.	Левківський В.В.						
Зав.каф.	Павлова С.В.						

- 4 - випробувана оптична система, закріплена в спеціальній оправі;
- 5 - дійсне зображення міри;
- 6 - горизонтальний мікроскоп, що використовується для розглядання зображення, створюваного досліджуваною оптичною системою;
- 7 - око спостерігача;
- 8 - рейок;
- 9 - міліметрова горизонтальна шкала.

Освітлювач, необхідний для освітлення міри, складається з конденсатора та діафрагми. Інтенсивність світлового потоку можна змінювати за допомогою діафрагми освітлювача.

Крім того до комплекту лабораторної установки входить набір світлофільтрів, які використовуються для виділення необхідної ділянки спектра випромінювання освітлювачем, в свою чергу, молочне та матове скло які забезпечують рівномірне освітлення міри відносно об'єктива коліматора.

Оптична лава дозволяє проводити дослідження аерофотоапаратів з фокусною відстанню від 100 до 1000 мм та забезпечує фотографування досліджуваної міри в пучку паралельних променів, що відповідає її надходженню на нескінченно великій відстані від АФА. Досліджувана міра (2) знаходиться в фокусі об'єктива коліматора (3). Для визначення роздільної здатності оптичних систем використовуються штрихові та радіальні міри, як це вже згадувалось в попередньому розділі. Зображення штрихової міри представлено на рис.4.3.

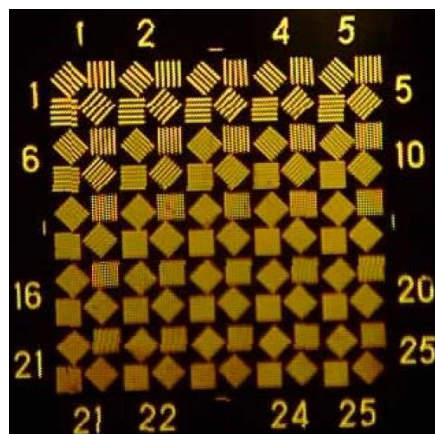


Рис. 4.3. Зображення елементів штрихової міри

Міри розміщені в револьверній головці (рис.4.4), закріпленій на тубусі коліматора.



Рис. 4.4. Револьверна головка з мірами

Тубус оптичної лави являється висувним та забезпечує рівномірність освітлення міри відносно об'єктива коліматора.

Кожна досліджувана міра представляє собою квадратну таблицю, яка складається з 25 великих квадратів (елементів), що відрізняються періодом штрихів. Елементи міри нумеруються зліва направо, номери проставлені лише біля крайніх елементів. При збільшенні номера елементу період штрихів зменшується на 6%. В кожному елементі є 4 малих квадрати, в яких штрихи мають однаковий період, але вони орієнтовані в різних напрямках.

Для дослідження роздільної здатності об'єктива цифрової камери об'єктива необхідно:

1. Встановити на оптичну вимірювальну лаву ОСК-2 досліджуваний об'єктив.
2. Впевнитися, що коліматор налаштований на нескінченність (міра розташована у фокальній площині коліматора).
3. Ввімкнути освітлювач, провести налаштування мікроскопу установки на фокальну площину досліджуваного об'єктива, при цьому зображення міри буде чітким.

4. Визначити максимальний номер елементу міри, що можна розрізнити.

5. За номером гранично елементу який можна розрізнити, за відомою вже формулою визначити роздільну здатність об'єктива.

Таким чином за допомогою лабораторної установки оптичної лави ОСК-2, було досліджено роздільну здатність цифрової камери Olympus C-370 з наступними параметрами:

ISO: 3200;

Витримка: 1/250;

Фокус: F/8;

Розмір зображення: 3872x2592;

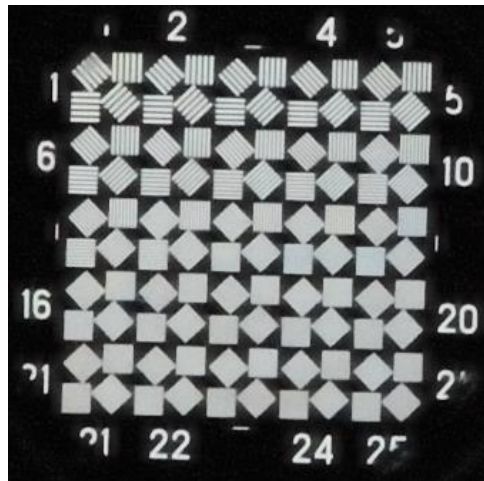


Рис. 4.5. Тестовий знімок штрихової міри цифровим фотоапаратом

Зйомка приводилося декілька разів у режимі автоспуску, але з різними фокусними відстанями об'єктива, з намаганням звести зовнішній вплив, як механічний, так і світловий, до мінімуму. В результаті отримали наступне зображення (рис.4.5).

Знаючи технічні дані лабораторної установки та фотокамери яка проходить тестування, а саме:

- ширина бази  $B=19,2$ ;
- фокусна відстань коліматора  $f_k=1600\text{мм}$ ;
- фокусна відстань об'єктива  $f_o=70\text{ мм}, 90\text{ мм}, 135\text{мм}$ ;
- номер видимої міри  $N$  від 1 до 8;

за формулами (3.8) та  $R = \frac{60}{B} \cdot 1,06^{(n-1)} \cdot \frac{f_k}{f_0}$  (3.9) можна розрахувати роздільну здатність для кожної видимої міри з різними значеннями фокусної відстані. Розраховані значення роздільної здатності для наочності занесені в табл.4.1.

Таблиця 4.1.

Розраховані значення роздільності здатності

N, номер міри	1	2	3	4	5	6	7	8
$f_0$ , фокусна відстань об'єктива, мм	135							
R, роздільна здатність, лин/мм	37.037	39.259	41.615	44.112	46.758	49.564	52.538	55.690
$f_0$ , фокусна відстань об'єктива, мм	90							
R, роздільна здатність, лин/мм	55.556	58.889	62.422	66.168	70.138	74.346	78.807	83.535
$f_0$ , фокусна відстань об'єктива, мм	70							
R, роздільна здатність, лин/мм	71.429	75.714	80.257	85.073	90.177	95.588	101.323	107.40

Залежність роздільної здатності від зміни витримки при постійному відношенні витримки до фокусної відстані, буде мати наступний вигляд (4.6), (4.7), (4.8).

Для фокусної відстані об'єктива 135 мм, графік залежності роздільної здатності від фокусної відстані зображено на рис.4.6.

$$B := 19.2 \quad f_k := 1600$$

$$i := 1..8$$

$$R_i := \frac{60}{B} \cdot (1.06)^{i-1} \cdot \frac{fk}{f_0}$$

$f_0 := 135$

$x_i :=$

5.6
8
11
16
22
32
45
64

$R_i =$

37.037
39.259
41.615
44.112
46.758
49.564
52.538
55.69

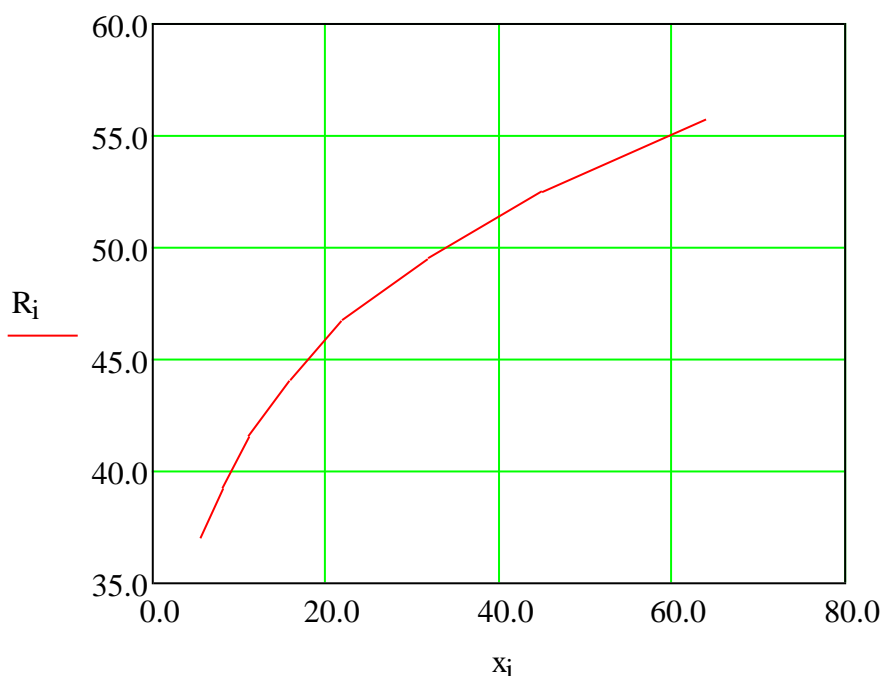


Рис.4.6. Графік залежності роздільної здатності від фокусної відстані ( $f_o = 135$  мм)

На графіку залежності по осі x ( $x_i$ ) відкладено значення фокусної відстані об'єктива, а по осу y ( $R_i$ ) – розраховані значення роздільної здатності.

Для фокусної відстані об'єктива 90 мм, графік залежності роздільної здатності від фокусної відстані зображено на рис.4.7.



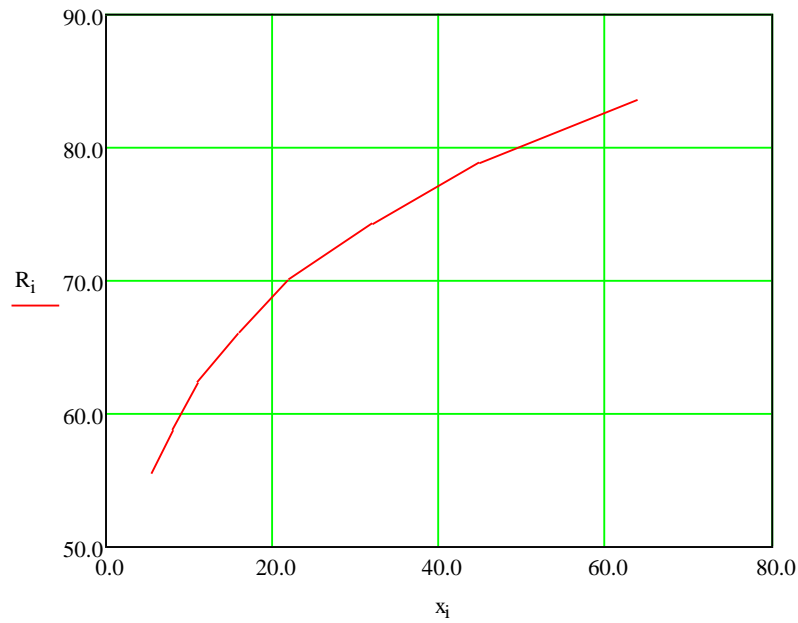


Рис.4.7. Графік залежності роздільної здатності від фокусної відстані ( $f_o = 90$  мм).

Для фокусної відстані об'єктива 70 мм, графік залежності роздільної здатності від фокусної відстані зображено на рис.4.8.

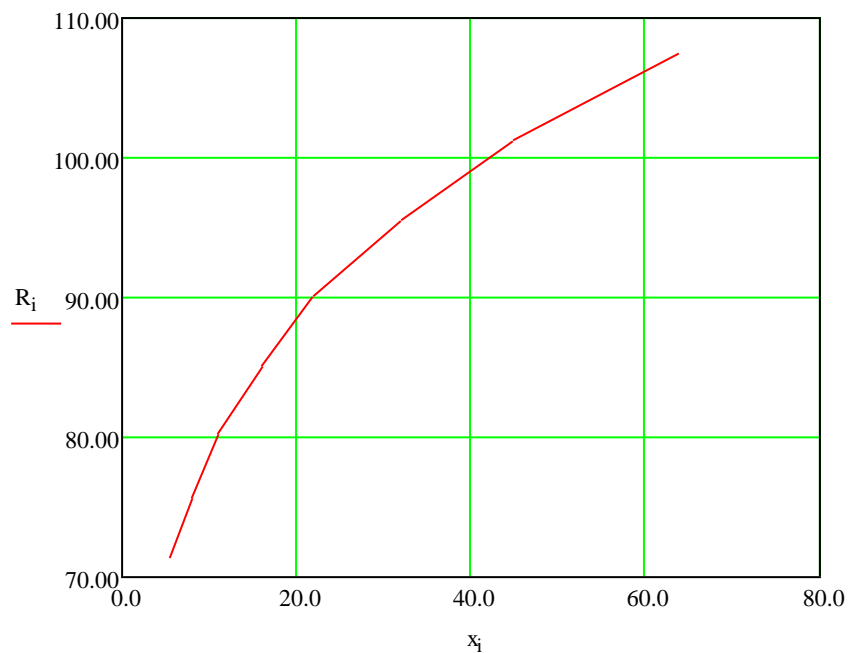


Рис.4.8. Графік залежності роздільної здатності від фокусної відстані ( $f_o = 70$  мм).

Для наочності графіків та зручного порівняння їх між собою можна побудувати всі три залежності в одній площині рис.4.9.

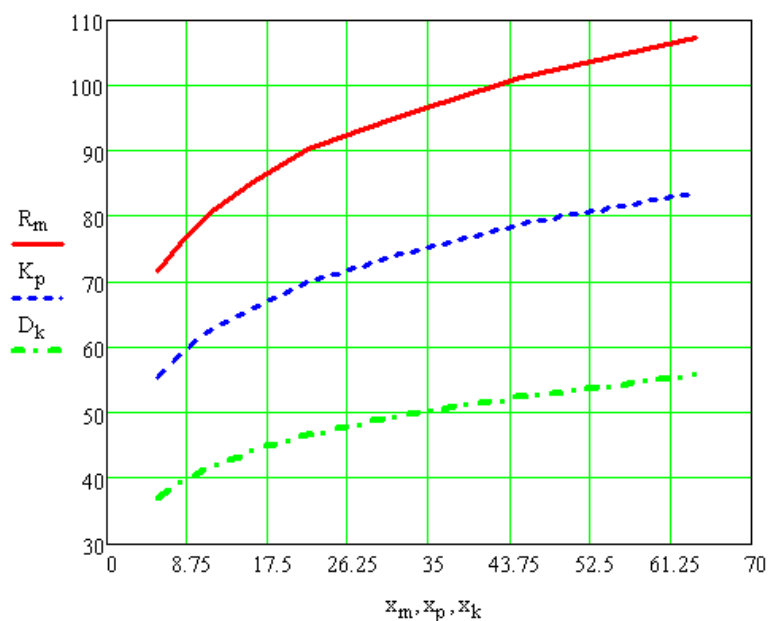


Рис.4.9. Порівняння графіків залежності роздільної здатності від фокусної відстані. де  $R_m$  – роздільна здатність при фокусній відстані об’єктива 70мм;  $K_p$  – роздільна здатність при фокусній відстані об’єктива 90мм;  $D_k$  – роздільна здатність при фокусній відстані об’єктива 135мм.

З графіку видно, що зі збільшенням фокусної відстані об’єктива пропорційно збільшуються роздільна здатність. Отже, чим більше значення діафрагми цифрового аерофотоапарату, ти більше буде чіткість отриманого зображення. Крім того, згідно з розрахунками та побудованими залежностями, роздільна здатність цифрового фотоапарату тим більша, чим менше його фокусна відстань.

#### 4.2. Технологія випробування цифрового аерофотоапарату в лабораторних умовах

При експлуатації цифрової аерофотокамери необхідно час від часу вимірювати та повірити деякі характеристики оптичної системи. Так, при використанні знімків для фотометричних робіт визначають фактичний світлорозподіл та світлорозсіяння в площині прикладної рамки. Фокусування та роздільну здатність повіряють для забезпечення необхідних де шифрувальних властивостей знімків. Елементи зовнішнього орієнтування та фотограмметричну дисторсії визначають для наступних фотограмметричних робіт.

Для виконання перевірки світлорозподілу фотографують рівно освітлений екран. Оскільки створити рівну освітленість великого екрану в лабораторних умовах важко, в деяких випадках проводять зйомку рівного снігового покриву. Іноді також знімають один і той самий невеликий об'єкт так, щоб його зображення було в різних частинах кадру. При цьому необхідно, щоб освітленість об'єкта та величина витримки були постійними.

Причиною підвищеного рівня світлорозсіяння, а також відблисків на фотозображенні може бути не тільки низька якість об'єктива, але й також порушення темного покриву фото люка, бленди, затвора, внутрішніх частин площин об'єктивної та камерної частин аерофотокамери.

Для визначення світлорозсіяння фотографують абсолютно чорне тіло, зазвичай таким тілом служить отвір в ящику, який в середині покритий чорною світло поглинаючою фарбою, або чорним матеріалом, наприклад бархатом. Зовнішня поверхня стінки, в якій зроблено отвір, виконується у вигляді рівного білого екрану. Отвір та ящик повинні бути достатньо великими, щоб зображення отвору мало розмір декількох міліметрів.

Після отримання фотографічного зображення вимірюють щільність зображення екрану, чорного отвору та густину вуалі. Визначивши за допомогою санситометричного графіка відповідні експозиції, визначають у відсотках, яку частину від загальної кількості світла складає розсіяне світло.

Для визначення роздільної здатності фотографують спеціальний об'єкт, який складається з чорних та білих смуг. Для визначення роздільної здатності в умовах реальної зйомки міри створюють безпосередньо на ґрунті. Очевидно, що відстань від фотоапарату до міри повинно бути не менше практичної нескінченності. В підрозділі 4.1 було детально розглянуто та розраховано роздільну здатність цифрової камери Olympus C-370 за різних вихідних даних.

При аерофотографуванні дуже важливо знати, крім величини лінійної роздільної здатності  $R$ , ще й значення кутової роздільної здатності  $\gamma$  системи, так як величина кутової роздільної здатності систему буде характеризувати мінімальні розміри об'єктів фотографування  $L_{\min}$ , які можуть бути відтворені

системою на даній висоті фотографування  $H$ . Формула кутової роздільної здатності має вигляд (4.1.):

$$\gamma = \frac{1}{2 \cdot R \cdot f_k} \quad (4.1);$$

де  $\gamma$  – кутова роздільна здатність;

$R$  – лінійна роздільна здатність;

$f_k$  – фокусна відстань камери.

Розраховані значення кутової роздільної здатності представлені в табл.4.2.

Таблиця 4.2.

Значення кутової роздільної здатності

N, номер міри	1	2	3	4	5	6	7	8
$f_0$ , фокусна відстань об'єктива, мм	135							
$R$ , роздільна здатність, лин/мм	37.037	39.259	41.615	44.112	46.758	49.564	52.538	55.690
$f_0$ , фокусна відстань об'єктива, мм	90							
$R$ , роздільна здатність, лин/мм	55.556	58.889	62.422	66.168	70.138	74.346	78.807	83.535
$f_0$ , фокусна відстань об'єктива, мм	70							
$R$ , роздільна здатність, лин/мм	71.429	75.714	80.257	85.073	90.177	95.588	101.323	107.40
$\gamma$ , кутова роздільна здатність	0,1	0,094	0,089	0,084	0,079	0,074	0,0705	0,066

Згідно з розрахунками, варто зазначити, що значення кутової роздільної здатності для різних значень лінійної роздільної здатності та фокусної відстані об'єктива однаково. Графіки залежності роздільної здатності в залежності від того, під яким кутом проводиться зйомка зображено на рис.4.10.

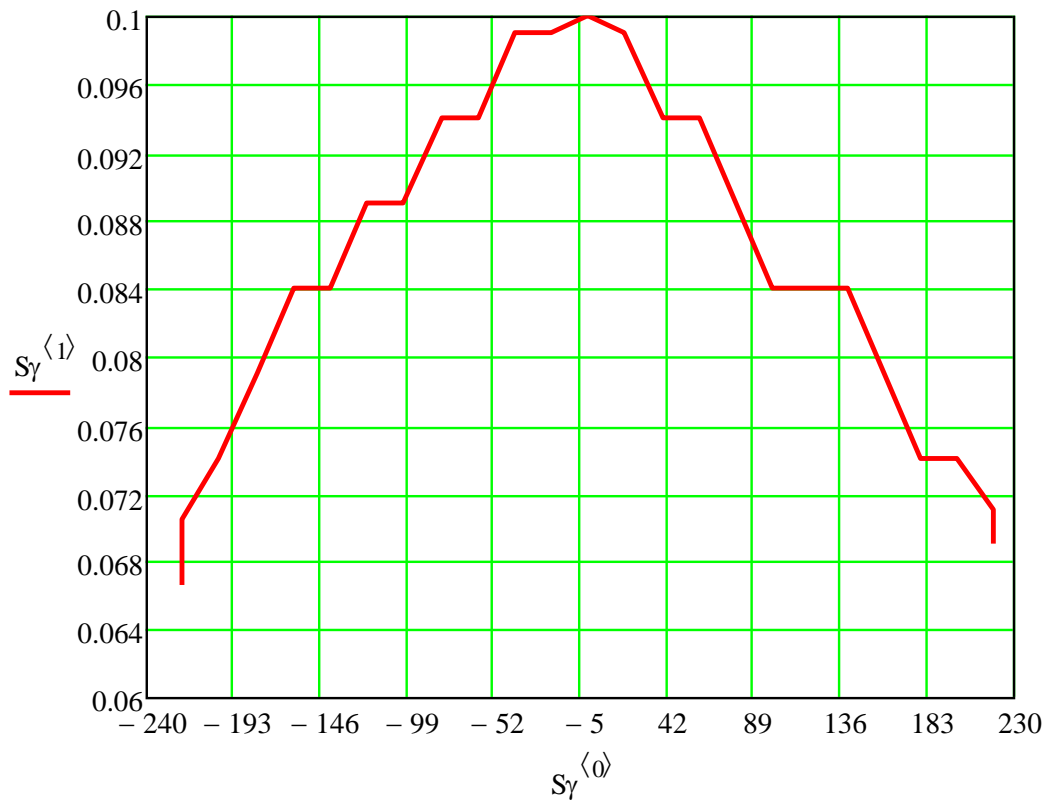


Рис.4.10. Залежність кутової роздільної здатності від кута зйомки

Як видно з графіка, значення кутової роздільної здатності значно зменшується зі зміною кута зйомки. Найвище значення отримано при відсутності зміщення камери.

На рис. 4.11. зображено процес експериментального дослідження цифрової камери в лабораторних умовах, а саме дослідження частотно-контрастних характеристик при різних режимах зйомки, визначення роздільної здатності та якості зображення.



Рис.4.11. Експериментальне дослідження цифрової камери в лабораторних умовах

Ще одним важливим критерієм оцінки оптичної системи являється частотно-контрастна характеристика. Перевірити та оцінити ЧКХ можливо лише в лабораторних умовах за допомогою спеціальної тестової таблиці ЕІА1956. Як уже згадувалося раніше, ЧКХ показує залежність між частотою ліній ( $\nu$ ) та контрастом їх зображення.

Маючи графік частотно-контрастної характеристики можна визначити роздільну здатність, як граничне значення частоти, при якій ще розрізняються окремі штрихи.

На рис.4.12. зображено знаходження роздільної здатності з графіку ЧКХ, який було побудовано зі знімку, зробленого фотокамерою SONY DSC-V3 при стандартних настройках.

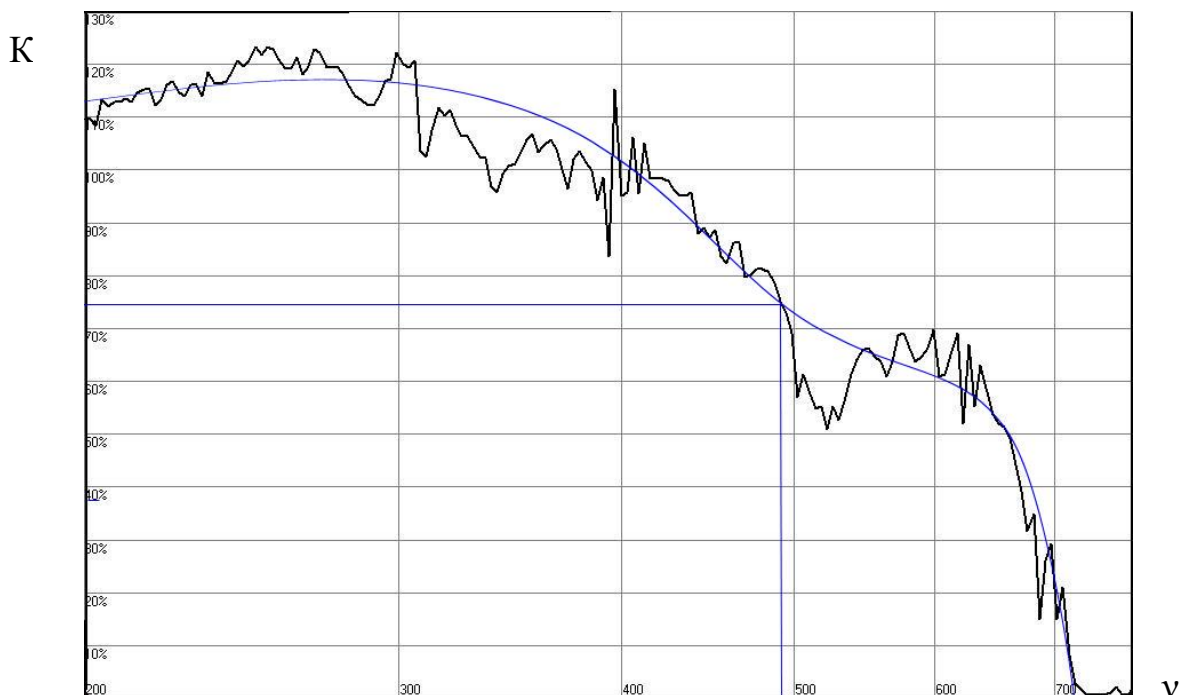


Рис. 4.12. Знаходження роздільної здатності з ЧКХ

Згідно з графіком роздільна здатність отриманого зображення складає 475 телевізійних ліній. Відповідно, для того, щоб отримати горизонтальну роздільну здатність, необхідно отримане значення помножити на відношення сторін, тобто:

$$R=475 \cdot 4/3=635 \text{ (ТВЛ)}$$

Отже для цифрової фотокамери SONY DSC-V3 з шириною кадру 3072 точки, та висотою 2304 точки, при фотографування з стандартними настройками отримуємо роздільну здатність, що дорівнює 635 (ТВЛ).

## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі розглядаються питання пов'язані зі створенням безпечних і здорових умов праці на всіх етапах проектування, створення, ремонту й технічного обслуговування цифрового аерофотоапарату.

Організація заходів що до охорони праці на підприємствах цивільної авіації може бути проведена на високому рівні тільки з застосуванням інерційних методів забезпечення безпеки праці. Разом з ними важливе місце займають правові й організаційні методи поліпшення умов праці. Необхідне суворе виконання трудового законодавства, наставлянь, галузевих стандартів, норм і правил, розроблених в інтересах збереження здоров'я працюючих. Найважливіше значення при цьому мають активні дії адміністрації по організації виконання вимог охорони праці, а також трудової і виробничої дисципліни самих працюючих.

Охорона праці, вирішуючи свою основну задачу, що полягає в створенні безпечних і здорових умов праці працівників, значною мірою сприяє підвищенню рівня безпеки польотів – однієї з актуальних проблем цивільної авіації.

Процес діяльності людини здійснюється в тісній взаємодії з виробничим середовищем і формується ним. Іншими словами виробниче середовище впливає на трудовий процес людини, а отже, і на його здоров'я і працездатність, що і складає умови праці.

Фактори можуть бути вражаючими, небезпечними і шкідливими. Фактори, що приводять до раптового погіршення здоров'я, називають шкідливими. До шкідливих виробничих факторів відносяться: небезпека поразки електричним струмом чи наявність статичної електрики.

Кафедра авіоніки				НАУ 20 05 74 000 ПЗ			
Виконав	Шарудило О.П.			ОХОРОНА ПРАЦІ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Керівник	Белінський В.М.						
Консульт.	Козлітін О.О.				173 «Авіоніка»		
Н. Контр.	Левківський В.В.						
Зав.каф.	Павлова С.В.						

Фактори вплив яких може призвести каліцтва, називають небезпечними. Небезпечні фактори пов'язані з застосуванням токсичних речовин, виділенням пилу, парів, з різними радіовипромінюванням.

### **5.1. Шкідливі і небезпечні виробничі чинники при виробництві цифрового аерофотоапарату**

У процесі праці у виробничій обстановці на людину може впливати або один, або ряд небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Безпека того чи іншого технологічного процесу може бути визначена по числу небезпечних і шкідливих виробничих факторів і по ступені небезпеки кожного окремо.

Безпека праці на ділянці визначається ступенем безпеки окремих технологічних процесів.

Відповідно до ДСТУ 12.0.003-74 і ДСТУ 5471004-85 небезпечні і шкідливі виробничі фактори – фактори, вплив яких у визначених умовах на працюючих, приведе до травми, чи захворювання зниження працездатності.

При виробництві друкованих плат основними небезпечними і шкідливими факторами є:

- 1) шум, вібрація (транспортні засоби, вентиляція, прилади настроювання і регулювання);
- 2) електробезпечність при роботі з електроустановками;
- 3) передумови до електротравматизму;
  - а) зіткнення з електропроводкою і електрообладнанням перебуваючи під напругою, викликана пробоем чи ушкодженням ізоляції;
  - б) зіткнення людини, що знаходиться в зоні розтікання струму, замикання на землю («напруга кроку»);
  - в) зіткнення з металевими предметами конструкції які випадково потрапили під напругу;
  - г) дія атмосферної електрики при грозових розрядах ;
  - д) дія електричної дуги;
  - е) звільнення людини розташованої під напругою;
- 4) пари, гази, пил, що виділяються при виробничих процесах;



- 5) пожежна безпека;
- 6) аномальне освітлення;
- 7) гострі краї, задирки, шорсткість на поверхнях заготовівлі, інструментів і устаткування і т. ін.

Основну інформацію людина одержує через зоровий аналізатор (близько 80%). Незадовільне освітлення може викривити інформацію. Погане освітлення може бути причиною травматизму, а також при поганому освітленню знижується продуктивність праці і збільшується брак продукції.

## **5.2. Організація та технічні заходи щодо виключення або зменшення впливу шкідливих та небезпечних виробничих факторів**

1. Припустимі рівні шуму на робочих місцях встановлює ДСТУ 12.1.00383 («Шум. Загальні вимоги безпеки.»). Для виробничого приміщення припустимий рівень шуму складає 75-80 дБ. В зв'язку з цим для захисту від підвищеного шуму пропонуються міри:

а) Відповідно до ДСТУ 12.2.003-74 конструкція виробничого обладнання повинна забезпечувати виключення або зниження до регламентованих рівнів шуму вібрації;

б) Звуковбираючі конструкції та екрани;

в) Для усунення вібрацій рекомендують встановлювати установку на металевих або резинових амортизаторах (Припустимі рівні вібрацій встановлює ДСТУ 12,1,40-90).

2. Для забезпечення нормальної роботи електроустановок і захисту електричного струму використовують робочу ізоляцію частин що під напругою. З метою виключення можливості контакту з частинами що під напругою і наближення до них на небезпечну відстань використовують загорожі. Відповідно до ДСТУ 12.1.038-82 встановлені межі - допустимі рівні напруги і струмів.

Вони складають:

- змінні 50 Гц; 2В; 0,3мА;

- постійні 8В; 1 мА.

До технічних способів і засобів захисту відносять:

- використання малих напруг;
- занулення;
- захисне відключення;
- використання індивідуальних засобів захисту;
- електрозахисне заземлення;
- вимкнення електричних мереж.

3. Виробництво друкованих плат здійснюється в виробничому приміщенні 200м<sup>2</sup>. Відповідно до ДСТУ 12.1005-88 нормування мікроклімату в робочій зоні робиться у залежності від періоду року, категорії робіт по енерговитратах, залишку явного тепла. Держстандартом встановлено два періоду року : холодний, перехідний і теплий.

Виробництво ДП відноситься до роботи середньої тяжкості (категорії 2).  
Параметри мікроклімату для робочої зони наступні ДСТУ 12.005-88:

1. В холодний і перехідний період року:

- t°С від+17°С до+19°С;
- вологість 60-30%;
- швидкість руху повітря не більш 0,3м/с,

2. У теплий період року:

- t°С від +20°С до 30°С;
- вологість 60-30%;
- швидкість руху повітря 0,2-0,5м/с.

3. Захист від шкідливих речовин здійснюється засобами, які у деяких випадках застосовують комплексно. Основні з них:

- герметизація промислового обладнання;
- використання індивідуальних засобів захисту;
- використання вентиляційних систем.

### **5.3. Забезпечення пожежної і вибухової безпеки**

Пожежна безпека – цей такий стан об'єкту, при якому з ймовірністю, що регламентується виключається можливість виникнення і розвитку пожежі і впливу на людей небезпечних чинників пожежі, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Джерелом пожежі можуть бути електричні схеми машини, прилади для технічного персоналу, прилади для електроживлення кондиціонера, невірна експлуатація систем вентиляції.

Пожежна безпека характеризує стан об'єкта, при якому виключається можливість виникнення і розвитку пожежі і впливу на людей небезпечних факторів пожежі, а також забезпечується захист матеріальних цінностей. ДСТ 12.1.004-91 установлює такі засоби забезпечення пожежної безпеки:

- система запобігання пожежі;
- система протипожежного захисту;
- організаційно-технічні заходи.

Крім того, цей стандарт регламентує імовірність виникнення пожежі в електротехнічному виробу, що не повинне перевищувати  $10^{-6}$  у рік.

Також при підготовці рекомендацій з недопущення пожеж, була використана наступна література:

- НПО ЦА-85 «Наставляння по пожежній охороні в ЦА СРСР»,  
регламенти по технічному обслуговуванню і ряд стандартів:

- ДСТУ 0.01-1.01-95 «Правила пожежної безпеки в Україні»;
- ДСТУ 12.1.004-91 Пожежна безпека. Загальні вимоги;
- ДСТУ 12.1.010-76 Вибухобезпека. Загальні вимоги;
- ДСТУ 12.1.030-81 Електробезпечність. Захисне заземлення,

занулення;

- ДСТУ 12.1.044-84 Пожежовибухобезпечність речовин і матеріалів.

Номенклатура показників і методи їхнього визначення.

Запобігання пожежі досягається за рахунок недопущення утворення в пальному середовищі джерел запалювання. Такими джерелами при експлуатації розроблювального стенда можуть стати його несправність, перевантаження або неправильний монтаж блоків системи, що перевіряється, або стенда, що приводить до підвищеного нагрівання або до короткого замикання. Шляхом усунення цих причин, можна сказати, що конструкція задовольняє вимогам електростатичної безпеки відповідно до ДСТ 12.1.018-79.

Слід зазначити, що при нормальних умовах експлуатації розроблювальний стенд не створює джерел загоряння.

Протипожежний захист забезпечується нанесенням на поверхню конструкції розроблювального стенда захисних фарб.

Організаційні технічні заходи містять у собі розробку інструкції про порядок роботи з розроблювальним стендом, дотримання протипожежного режиму і про дії оператора при виникненні пожежі.

Конструкція розроблювальної системи виключає можливість вибуху самої системи.

При виникненні пожежі, за даними категорії В необхідно використовувати на кожній одиниці виміру площі, що захищається, у 500-600 м<sup>2</sup>:

- вуглекислотний вогнегасник ОУ-2 – 2 шт.;
- пінний вогнегасник хімічний ОКП-10 або повітряно-пінний рідинний ОВП-10 – 4 шт.;

#### *Заходи при виникненні пожежі*

Існує 4 способи припинення горіння: охолодження зони горіння або самих палаючих речовин; ізоляція реагуючих речовин від зони реакції; розведення реагуючих речовин у зоні реакції негорючими речовинами; хімічне гальмування реакції горіння.

При *першому способі* припинити горіння можна впливом на поверхню палаючих матеріалів вогнегасними речовинами, а також охолодженням палаючих матеріалів методом їхнього перемішування. *Другий спосіб* полягає в створенні ізолюючого шару між зоною горіння і палаючих матеріалів або в прорізах приміщень, де відбувається пожежа. Для розведення повітря в нього вводяться негорючі пари і гази. (*третій спосіб*). З цією метою використовуються вуглекислий газ, водяна пара, азот, інші компоненти.

*Четвертий спосіб* реалізується подачею інгібіторів (речовин, що сповільнюють протікання хімічних реакцій або припиняють їх) на поверхню палаючих матеріалів або введенням їх у повітря, що надходить у зону реакції.

У цивільній авіації застосовують наступні вогнегасні речовини: вода, повітряно-механічна і хімічна піни, інертні гази, галоїдовуглеводні сполуки, вогнегасні порошки, комбіновані сполуки (сполучення порошкових і пінних сполук, водно-галоїдовуглеводні емульсії тощо).

## **5.4. Інструкція з техніки безпеки при те цифрового аерофотоапарату**

Інструкцію з техніки пожежної та вибухової безпеки складено згідно з вимогами ДНАОП 0.00-4.15-98 “Положення про розробку інструкції з охорони праці”.

### 1. Загальні положення.

1) До роботи із приладом допускається інженерно-технічний склад, що вивчив об’єкт, інструкцію з технічної експлуатації, діючу інструкцію, а також склав залік з технічної безпеки та пожежної безпеки;

2) Для забезпечення заходів безпеки і виключення можливості ураження електричним струмом оператор повинен:

- не порушувати порядок роботи з приладом, встановлений інструкцією з технічного обслуговування приладу;

- підключати прилад до джерела живлення тільки при надітому корпусі;

- перед підключенням приладу до джерела живлення перевірити стан шнурів і кабелів;

- з’єднувати і роз’єднувати кабельні та інші роз’єми тільки при виключеному живленні.

### 2. Вимоги безпеки перед початком роботи:

1) Потрібно пересвідчитися, що прилад правильно підключений і має заземлення;

2) Оглянути з’єднувальні ланцюги і кабелі, місця рознімання і пересвідчитися, що вони справні;

3) Якщо виникла несправність приладу, яким користуються під час роботи, потрібно повідомити керівника робіт.

### 3. Вимоги безпеки під час виконання роботи:

1) Використовувати тільки справний прилад і тільки за призначенням;

2) При появі іскріння, короткого замикання, запаху гару, диму, прилад негайно відключити та виявити причини можливого виникнення пожежі;

3) Перед експлуатацією потрібно періодично проводити перевірку електричної схеми приладу для виявлення причин, які можуть привести до виникнення пожежі.

#### 4. Вимоги безпеки після закінчення роботи:

1) Вимкнути прилад, коли працюючий чи інженерно-технічний склад працівників залишають свої робочі місця;

2) Необхідно прибрати своє робоче місце;

3) Потрібно дотримуватись санітарних норм і правил особистої гігієни;

4) Якщо виникли недоліки в роботі приладу, потрібно про це повідомити керівника робіт.

#### 5. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях:

1) У випадку виникнення пожежі потрібно негайно викликати пожежну службу. До її приїзду приступити до тушіння пожежі своїми силами, а також спасінню людей та надання їм допомоги;

2) При виникненні пожежі слід знеструмити прилад;

3) Необхідно, в обов'язковому порядку, щоб в приміщенні були засоби пожежогасіння;

4) Робітники повинні бути ознайомлені з діями, які необхідно виконувати при виникненні аварійної ситуації.

### **5.5. Розрахункова частина**

Завдання: розрахувати висоту антени захисту від блискавки зони захисту А. Вихідні дані:

- габарити приміщення:  $10 \times 10$  м;

- висота приміщення: 10 м.

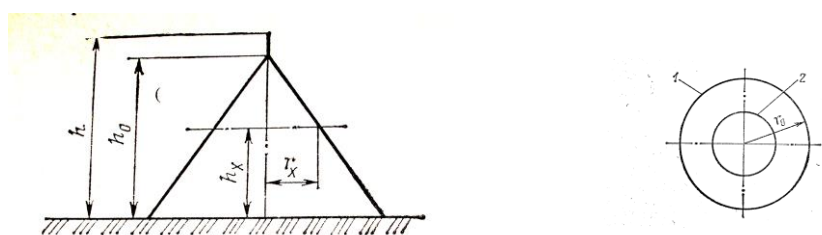


Рис. 5.1. Зона захисту блискавковідводу типу А у вигляді конуса

Б. Розв'язок:

Зоною захисту блискавковідводу є просторовий об'єм, всередині якого будівля або споруда захищена від прямих ударів блискавки з певним ступенем захисту.

Оскільки будівля в цьому випадку не дуже висока, то одинарний блискавковідвід у вигляді стержня не перевищуватиме  $h \leq 150$  м та матиме зону захисту, що являє собою конус(рис. 5.1) .

На рис.5.1 позначено:

- $r_0$  – радіус зони захисту на землі;
- $h_x$  – висота об'єкта;
- $r_x$  – радіус зони захисту на висоті об'єкта  $h_x$  ;
- $h_0$  – вершина конуса;

Габаритні розміри зони захисту визначаються наступним чином:

$$h_0 = 0,85h$$

$$r_0 = (1,1 - 0,002h)h$$

$$r_x = (1,1 - 0,002h)\left(h - \frac{h_x}{0,85}\right)$$

Радіус  $r_x$  буде дорівнювати половині діагоналі площини перерізу даної будівлі, тобто:

$$r_x = 5\sqrt{2} \approx 7,07 \text{ м.}$$

Потім отримане значення підставляю в останній з виразів(5.1) та отримую квадратне рівняння, яке після спрощень виглядатиме:

$$h^2 - 562h + 10000 = 0$$

Рівняння буде мати два розв'язки, але один з них невірний.

Вірною відповіддю є  $h_1 \approx 18,4$  м.

Отже, висота антени захисту від блискавки становитиме  $h \approx 18,4$  м.

## РОЗДІЛ 6.

### ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

#### 6.1 Актуальність цифрового аерофотоапарата з питання охорони навколишнього середовища

Захист навколишнього середовища стає комплексною проблемою, котра визначається складністю системи, що поєднує природу, суспільство і виробництво. Поряд із природоохоронними завданнями вона вирішує також і соціально-економічні завдання – поліпшення умов життя людини, збереження його здоров'я. Очевидно, що для охорони навколишнього середовища необхідний письменний, науково-обґрунтований підхід. Будь-який технічний процес у тій або іншій мірі впливає на охорону навколишнього середовища, забруднюючи її.

Цифрові аерофотоапарати, при експлуатації на борту літака, не здатні нанести навколишньому середовищу прямого збитку, тому що не утворюють ніяких речовин канцерогенного, отруйного або іншого шкідливого характеру, що впливають на атмосферне повітря, водні об'єкти, людину, тварин, рослинність або ґрунт.

Однак при виробництві приладу наноситься непрямий збиток природному середовищу:

- високий рівень споживання електроенергії;
- електромагнітне випромінювання;
- акустичне забруднення;
- м'яке рентгенівське випромінювання;
- використання земельних ресурсів на виготовлення ЕОМ.

Кафедра авіоніки				НАУ 20 05 74 000 ПЗ			
Виконав	Шарудило О.П.			ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	Літ.	Аркуш	Аркушів
Керівник	Белінський В.М.						
Консульт.	Бовсуновський Є.				173 «Авіоніка»		
Н. Контр.	Левківський В.В.						
Зав.каф.	Павлова С.В.						



Зростання використання ЕОМ у різноманітних галузях народного господарства вимагає самого серйозного ставлення до питань, пов'язаних із впливом ЕОМ на середовище помешкання.

Елементи схеми змонтовані на печатних платах, що виготовляються з фольгированого склотекстоліту. При обробці його неминучі відходи: шматочки плат, порошковий пил, котрі, попадаючи в ґрунт, зберігається досить довго. А випари, котрі утворюються при травленні, шкідливо впливають на робітників, зайнятих у даному виробництві, та викидаються в навколишнє середовище.

Після травлення, плати промивають водою і знезаражують рідинами (спирт, бензин, ацетон). Через недостатнє удосконалення технологій промивання ці речовини можуть потрапити в проточні води. Усі плати для підвищення електро- і пожежної безпеки покриваються лаком Е-4100 (епоксидний лак). Випаровуючись лак виділяє в атмосферу токсичні речовини. При монтажі плат, процесі пайки виділяються шкідливі пари, гази, а також з'єднання олова і свинцю. При монтажі проводів ідуть у відходи ізоляція, невикористані шматки проводів.

При експлуатації ЕОМ, елементи його конструкції виділяють тепло (нагріваються мікросхеми, транзистори, резистори), у результаті чого нагріваються захисні лаки, фарби, створюючи в атмосфері токсичні речовини, у виді летучих фракцій. Це тільки поверховий аналіз однієї із складових частин ЕОМ

## **6.2 Вплив на організм людини електромагнітного випромінювання**

Електромагнітну енергію використовують у радіо-, радіорелейному і космічному зв'язках, радіолокації, радіонавігації, на телебаченні, у металургії та металообробній промисловості для індукційного плавлення, зварювання, напилювання металів, у деревообробній, текстильній, легкій та харчовій промисловості, у радіоспектроскопії, сучасній обчислювальній техніці, медицині тощо.

У виробничих приміщеннях джерелами електромагнітного випромінювання є неекрановані робочі елементи високочастотних установок (індуктори, конденсатори, високочастотні трансформатори, фідерні лінії, батареї конденсаторів, котушки коливальних контурів тощо). При експлуатації ДВЧ-, УВЧ-передавачів на радіо- та телелaboratorіях джерелами електромагнітного випромінювання є високочастотні генератори, антенні комутатори, пристрої складання потужностей електромагнітного поля, комунікації (від генератора до антенного пристрою), антени.

Ступінь опромінення працюючих залежить від кількості розміщуваних у приміщенні передавачів (в окремих зонах, на радіо- та телецентрах їх може бути до 20), їх потужності, ступеня екранування, розміщення окремих блоків всередині приміщення і поза його межами.

Для всіх видів зв'язку джерелом електромагнітного випромінювання є радіолокаційні станції, зокрема генератори, фідерні лінії, антени, окремі блоки енергії електромагнітного поля НВЧ-діапазонів.

Впливу енергії НВЧ-діапазону працівники зазнають при регулюванні, настроюванні та випробовуванні радіолокаційних станцій (РЛС), у цехах заводів і ремонтних майстерень. Основним джерелом випромінювання в цехах заводу є відкриті антенні системи. Під час випробовування РЛС на полігонах або їх експлуатації в цивільній авіації умови праці операторів сприятливіші, оскільки більшу частину робочого часу вони перебувають в екранованих кабінах.

В умовах виробництва електромагнітне випромінювання характеризується різноманітністю режимів генерації та варіантів дій працівників (випромінювання у ближній зоні, зоні індукції, загальне і місцеве, яке часто діє разом з іншими несприятливими факторами навколишнього середовища). Випромінювання може бути ізольоване (від одного джерела ЕМП), поєднане (від кількох джерел ЕМП одного частотного діапазону), змішане (від кількох джерел ЕМП різних частотних діапазонів) та комбіноване (коли одночасно діє інший несприятливий фактор). Дія ЕМП може бути постійною або переривчастою. Остання, у свою чергу, може бути періодичною та

аперіодичною. Прикладом переривчастої періодичної дії ЕМП є випромінювання від антен РЛС, які працюють у режимі кругового огляду або сканування. Дії ЕМП може зазнавати як усе тіло працівника (загальне опромінення), так і окремі його частини (локальне або місцеве опромінення).

### **Біологічна дія електромагнітного поля на людину**

Розрізняють дві форми негативного впливу на організм людини електромагнітного випромінювання діапазону радіочастот — гостру і хронічну, яка, у свою чергу, поділяється на три ступені: легкий, середній і тяжкий. Хронічна форма характеризується функціональними порушеннями нервової, серцево-судинної та інших систем організму, що проявляються астеничним синдромом, і вегетативними порушеннями, переважно серцево-судинної системи.

Особи, які перебувають під впливом хронічного випромінювання ЕМП, частіше (в 1,9 рази чоловіки та в 1,5 рази жінки), ніж ті, хто не зазнає опромінення, скаржаться на незадовільний стан здоров'я, у тому числі на головний біль (в 1,5 рази чоловіки та в 1,3 рази жінки), біль у серці (в 1,8 рази чоловіки та в 1,5 рази жінки), серцебиття, загальну слабкість, сонливість, шум у вухах, парестезію тощо.

Електромагнітне випромінювання — потужний фізичний подразник. Різні організми мають різну чутливість до природних та антропогенних (штучних) ЕМП: характер і вираженість біологічного ефекту залежать від параметрів ЕМП і рівня організації біосистеми. Міліметрові хвилі ЕМП впливають переважно на рецепторний апарат, хвилі більшої довжини — на центральну нервову систему.

Радіочастотне випромінювання різні органи і системи організму поглинають по-різному: істотне значення мають їх форма та лінійні розміри, орієнтація відносно джерела ЕМП. Первинні зміни функцій центральної нервової системи і пов'язані з ними порушення спричинюють біологічні ефекти на рівні органів і систем. Тривала дія високих рівнів електромагнітного випромінювання призводить до перенапруження адаптаційно-компенсаторних механізмів, істотних відхилень функцій органів і систем, порушення обміну речовин і ферментативної активності, гіпоксії, органічних змін. Оскільки у

виробничому середовищі електромагнітне випромінювання діє, як правило, в комплексі з іншими факторами, його вплив на організм людини посилюється.

Захисно-приспосувальні реакції, що з'являються у людини під впливом електромагнітного випромінювання, мають неспецифічний характер. Найчастіше приспосувальними реакціями є збудження центральної нервової системи і підвищення рівня обміну речовин.

Ефекти від впливу на біологічні тканини людини електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону малої потужності поділяються на теплові й нетеплові. Тепловий ефект може виявлятися у людини або підвищенням температури тіла, або вибірково (селективним) нагріванням окремих його органів, терморегуляція яких утруднена (жовчного і сечового міхурів, шлунку, кишок, яєчок, кришталиків, склистого тіла та ін.). Дія електромагнітного випромінювання на біологічний об'єкт виявляється тоді, коли інтенсивність випромінювання нижча від теплових порогових його значень, тобто спостерігаються нетеплові ефекти або специфічна дія радіохвиль, яка визначається інформаційним аспектом електромагнітного випромінювання, що сприймається організмом і залежить від властивостей джерела ЕМП та каналу зв'язку. Очевидно, що інформаційні процеси відіграють також певну роль при тепловій дії електромагнітного поля на організм. Крім того, дія електромагнітного випромінювання малої інтенсивності призводить до локального нагрівання — мікро-нагрівання.

Умовно розрізняють такі механізми біологічної дії ЕМП:

- безпосередня дія на тканини та органи, коли змінюється функція центральної нервової системи і пов'язана з нею нейрогуморальна регуляція;
- рефлекторні зміни нейрогуморальної регуляції;
- поєднання основних механізмів патогенезу, дії ЕМП з переважним порушенням обміну речовин, активності ферментів. Питома вага кожного з цих механізмів визначається фізичними та біологічними змінами в організмі людини.

В окремих випадках у людини з'являються біль у серці, задишка, серцебиття, запаморочення, підвищена пітливість, посилюється функція щитовидної залози, порушується менструальний цикл у жінок і спостерігається

статева слабкість у чоловіків; змінюється формула крові (зменшується кількість лейкоцитів і тромбоцитів). Одним із специфічних уражень людини є катаракта, яка може виникнути або одразу після опромінення, або через 3-6 днів, або розвиватися поступово впродовж кількох років. Катаракта спричинюється нагріванням кристалика до температури понад допустимі фізіологічні межі. Окрім катаракти можливе пошкодження строми рогівки і кератит.

Отже, вплив електромагнітного випромінювання має системний характер і потребує відповідних системних заходів захисту від нього.

*Постійне електричне (електростатичне) поле як фактор впливу на людину*

Джерелами постійного електричного (електростатичного) поля (ЕСП) є енергетичні установки для електротехнологічних процесів, які застосовують у народному господарстві (електрогазоочищення, електростатична сепарація руд і матеріалів, електростатичне нанесення лакофарбових матеріалів). Заряди статичної електрики виникають при подрібненні, деформації речовин, переміщенні тіл, сипких матеріалів, при інтенсивному перемішуванні, кристалізації, випаровуванні тощо.

Електростатичне поле утворюється електричним полем нерухомих електричних зарядів, з якими воно взаємодіє, і є найпоширенішим класом стаціонарних фізичних полів в енергетичних установках та електротехнічних процесах. Електростатичне поле може існувати як власне електричне поле (поле нерухомих зарядів) або стаціонарне електричне поле (електричне поле постійного струму).

Електростатичне поле характеризується напруженістю і потенціалом окремих його точок. Напруженість ЕCU (E) — це відношення сили, що діє в полі на точковий заряд, до величини цього заряду. Одиниця напруженості ЕСП — вольт на метр (В/м). Напруженість ЕСП не залежить від властивостей середовища, де існує це поле.

Електростатичні заряди одного знака і поля можуть виникати при виготовленні та обробці діелектричних матеріалів. Це явище, що називається статичною електризацією, може відігравати негативну роль.

При експлуатації енергосистем ЕСП утворюються поблизу діючих електроустановок, розподільних пристроїв та ЛЕП надвисокої напруги постійного струму. В окремих випадках напруженість ЕСП збільшується в разі іонізації повітря, що виникає при появі корони на проводах високовольтних ЛЕП постійного струму. При цьому в повітрі навколо ЛЕП утворюються озон і оксиди азоту.

У зоні високовольтних ЛЕП постійного струму напругою 400, 750 та 1150 кВ напруженість ЕСП на рівні землі коливається в межах 10-50 В/м. В умовах виробництва напруженість ЕСП коливається від одиниці до сотень кіловольт на метр. Висока напруженість ЕСП (до 10 В/м) реєструється на пультах управління, при електростатичному фарбуванні виробів в ізольованих камерах.

При виробництві пластмаси (виготовленні лінолеуму, плівок, паперового пластику тощо) напруженість ЕСП досягає 240-500 В/м. У деревообробній промисловості напруженість ЕСП на робочих місцях може досягати 140 В/м. Основним обладнанням, яке генерує ЕСП, є різноманітні модифікації шліфувальних і полірувальних верстатів. На шліфувальних верстатах електростатичні заряди утворюються в місцях зіткнення шліфувальної стрічки з притискним пристроєм і поверхнею оброблюваного виробу, на полірувальних — у місцях зіткнення полірувального барабана з поверхнею оброблюваного виробу.

У целюлозно-паперовій промисловості напруженість ЕСП на окремих робочих місцях може коливатися в межах 60-150 В/м, оскільки основою при виробництві паперу є речовини з вираженими діелектричними властивостями (каніфоль, целюлоза, парафін, деревна маса та ін). Електризація відбувається під час сушіння, обробки та намотування паперу на сортувальних верстатах.

У текстильній промисловості ЕСП зумовлюються широким використанням хімічних волокон, які мають діелектричні властивості. Електростатичні заряди внаслідок електризації текстильних волокон (тертя між собою та ниткопровідною гарнітурою) виникають упродовж всієї технологічної операції. Висока напруженість ЕСП (120-160 В/м) спостерігається на сушильно-ширильних, термофіксаційних, стригальних, друкувальних та інших апертурно-оброблювальних машинах.

### **6.3. Вплив електростатичного поля на людину**

Біологічний вплив ЕСП залежить від його тривалості, форми струмопровідних частин обладнання, розміщення робочого місця відносно джерела випромінювання, кліматичних умов тощо. Експериментальне на тваринах встановлено, що ЕСП впливає на нервову, серцево-судинну, ендокринну та інші системи організму. Зокрема, було зареєстровано зміни електричної активності кори великого мозку та умовно-рефлекторної діяльності. Електростатичне поле спричинює зміни артеріального тиску, що мають нестійкий і фазовий характер, швидкості зсідання крові, вмісту сульфгідрильних груп у крові.

Вплив ЕСП на працівників призводить до проявів у них дратівливості, головного болю, порушення сну, зниження апетиту, порушення загальної функції центральної нервової системи, зміни частоти серцевих скорочень (найчастіше у вигляді брадикардії) і вуглеводного, ліпідного, білкового та мінерального обмінів, а також до зниження активності ферментів.

Заходи захисту від статичної електрики спрямовані на зменшення генерації електричних зарядів або на їх відведення з наелектризованого матеріалу за рахунок підвищення його електропровідності. Ці заходи передбачають заземлення металевих і електропровідних елементів обладнання, встановлення нейтралізаторів статичної електрики, збільшення поверхневої та об'ємної електропровідності діелектриків. Заземленню підлягають елементи обладнання, в яких утворюються електричні заряди, та ізольовані електропровідні ділянки технологічних установок. Пристрої для захисту від статичної електрики майже завжди поєднуються із захисними заземлювальними пристроями.

Найефективнішим із зазначених заходів боротьби зі статичною електрикою є збільшення поверхневої та об'ємної електропровідності діелектриків. Збільшення відносної вологості повітря до 60-75 % значно підвищує поверхневу електропровідність діелектричних гідрофільних матеріалів (адсорбують на своїй поверхні тонку плівку вологи). На цьому принципі базується застосування антистатичних речовин (гігроскопічних і

поверхнево-активних – ПАР). Поверхнево-активні речовини наносять на поверхню або вводять у масу матеріалу (останнє раціональніше, оскільки сприяє тривалому зберіганню полімерами антистатичних властивостей).

Нейтралізувати електричні заряди можна також за допомогою іонізації повітря. Для цього використовують нейтралізатори статичної електрики, принцип роботи яких полягає у створенні поблизу наелектризованих матеріалів позитивних і негативних іонів.

Для антистатичного захисту можна використовувати ще і принцип екранування за допомогою металевих листів. При цьому поле, що утворюється на стінках екрана, нейтралізує зовнішнє поле. Для того щоб електричні заряди з тіла людини швидше відводилися в землю, застосовують підлоги з електропровідним покриттям. До індивідуальних засобів захисту тіла людини від статичної електрики належать антистатичні халати, заземлювальні браслети для рук, антистатичне взуття та ін. Вибираючи такі засоби, слід враховувати особливості технологічного процесу, фізико-хімічні властивості оброблюваного матеріалу, мікроклімат приміщень тощо.

#### **6.4. Висновки**

Для зменшення шкоди, яку завдає виробництво навколишньому середовищу, необхідно розробляти заходи, що забезпечують нейтралізацію негативних наслідків, або по можливості, зменшують збиток, що наноситься навколишньому середовищу, а саме:

1) впровадження нових технологій, що дозволять виготовляти елементи конструкції приладу з меншими витратами енергії і з кращими технічними характеристиками.

2) застосування безвідхідних технологій, – які, хоча і не виключають забруднення навколишнього середовища цілком, але дозволяють істотно зменшити його.

В даному розділі було досліджено вплив шкідливих факторів на організм людини, які виникають при процесі виробництва цифрового



аерофотоапарата, а також вплив іншого пов'язаного з цим обладнання на навколишнє середовище.

Впровадження нових технологій у сфері виробництва і ремонту електронних пристроїв збільшить їхню ефективність, зменшить рівень електромагнітного випромінювання.

## ВИСНОВКИ

В процесі експлуатації технічних засобів повітряного спостереження найбільша роздільна здатність ЦАФА і апаратури в цілому може бути досягнута лише в тому випадку, якщо приймач випромінювання в процесі роботи станції точно поєднаний з площиною різкого оптичного зображення, що створюється об'єктивом. Проте в реальних умовах роботи апаратури на літаку часто виникає дефокусування – зсув площини різкого зображення відносно площини установки приймача випромінювання. У разі високої роздільної здатності приймального пристрою дефокусування наводить до істотного погіршення якості отримуваної оптичної інформації, утрудняє виявлення і пізнання малорозмірних об'єктів. Це відбувається тому, що кожна точка зображення відтворюється кружком, діаметр якого залежить від апертурного кута об'єктиву  $\beta$  і від величини дефокусування.

Виявлено, що дефокусування істотно погіршує також ЧКХ. Воно діє як двовимірний низькочастотний просторово-частотний фільтр. Двовимірний низькочастотний просторово-частотний фільтр ланки, якою можна змалювати в структурній схемі засобу розвідки, це процес перетворення інформації.

В дипломній роботі були побудовані графіки ЧКХ лабораторного макету ЦАФА. Форма графіка такої залежності і його абсолютні величини описують інтегральну характеристику оптичної системи, фотоматриці і всього каналу відтворення зображення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аджанов Е. П. Ильин В. Б. Аэрофотосъемочное оборудование. – М.: Недра, 1972. 184 с.
2. Алексеев В. И., Бондарский И. А.. – Разведывательное и светотехническое оборудование летательных аппаратов. Часть I. – ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского
3. Кулагин С. В. Оптико – механические приборы.- М.: Машиностроения, 1984.- 352 с.
4. Кучко А. С. – аэрофотография.- М.: Недра, 1974.
5. Павлушенко М., Макаренко И. Беспилотные летательные аппараты: история, применения, угроза распространения и перспективы развития. – К.: Книга, 2004.
6. Ребрин Ю. К. Оптико - электронное разведывательное оборудование летательных аппаратов.- К.: КНИГА, 1988.- 450 с.
7. Макаров Ю.В. Летательные аппараты МАИ. М.: Изд\_во МАИ, 1994.
8. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. – Затвердж. постановою Головного держсанлікаря України 10.12.1998, № 7.
9. ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. – Введен 01.01.85.
10. ДНАОП 0.03-3.24-97. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). – Затвердж. постановою МОЗУ від 14.07.1997, № 58.
11. НПАОП 0.00-1.28-10. Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин. – Затверджено наказом Держкомітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничного нагляду від 26.03.2010, № 65.
12. Основи охорони праці: Навчальний посібник /За ред. проф. В.В. Березуцького. – Харків: Факт, 2005. – 480 с.

13. Білявський Г.О., Падун М.М., Фурдуй Р.С. Основи загальної екології. — К. Либідь, 1995.
14. Корсак К.В., Плахотнюк О.В. Основи екології. — 2-ге вид. — К. МАУП, 2000.
15. Безпека життєдіяльності / За ред. Я. І. Бедрія. — Львів, 2000.
16. Справочник по охране труда на промышленных предприятиях. К.Н. Ткачук, Д. Ф. Иванчук, Р. В. Сабарно и др.-К.: Техника, 1991. -286 с.
17. Вредные факторы производственной среды и их влияние на организм человека //Безопасность жизнедеятельности: Учебник /Под ред. Э.А.Арустамова.-М., 2005.-105 с.
18. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. - М., 1983.
19. Ноздріна Л. В., Ящук В. І., Полотай О. І. Управління проектами: Підручник / За заг. ред. Л. В. Ноздріної. — К.: Центр учбової літератури, 2010. — С. 368 (432 с.).