

**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА**  
**ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**  
**Кафедра авіоніки**

**ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач випускової кафедри

\_\_\_\_\_ Ю.В. Грищенко  
(підпис) (ПІБ)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР**  
**ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 173 «АВІОНІКА»**

**Тема:** Ергономічна оцінка засобів відображення польотної інформації на літаку

**Виконавець:** \_\_\_\_\_ Мацапура Вадим Валерійович  
(підпис) ( прізвище, ім'я, по батькові)

**Керівник:** \_\_\_\_\_ к.т.н., доцент Лужбін Віктор Миколайович  
(підпис) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

**Нормоконтролер:** \_\_\_\_\_ Левківський Василь Васильович  
(підпис) ( прізвище, ім'я, по батькові)

**Київ 2024**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра авіоніки

Напрямок (спеціальність) 173 «Авіоніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Ю.В. Грищенко

“\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2024 р.

## ЗАВДАННЯ

### на виконання кваліфікаційної роботи

Мацапури Вадима Валерійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Ергономічна оцінка засобів відображення польотної інформації на літаку» затверджена наказом ректора від 14 бересня 2024 р. № 385/ст
2. Термін виконання роботи: з 13 травня 2024 р. по 16 червня 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи: Впровадження панелей і систем візуалізації для більш достовірного і якісного відображення польотної інформації. Впровадження сучасних технологій в кабіні повітряного судна.
4. Зміст пояснювальної записки: Складна система панелей візуалізації в кабіні літака для більш достовірного і якісного відображення польотної інформації. Математична моделювання процесу візуалізації зображень. Основи теорії сприйняття зображень повітряного стану. Практичні рекомендації і пропозиції щодо поліпшення параметрів і характеристик панелей візуалізації в кабіні літака.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: 1) графіки процесів візуалізації; 2) табличні моделі систем візуалізації.

## 6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Збір та аналіз літературних даних	13.05.24 –15.05.24	
2	Аналіз систем візуалізацій літаків	16.05.24 –18.05.24	
3	Аналіз поняття ергономіка та використання його в авіації	19.05.24 –21.05.24	
4	Вивчення ергономічних факторів при проектуванні кабіни пілота	22.05.24 –25.05.24	
5	Аналіз та порівняння різних типів авіаційних дисплеїв	26.05.24 –31.05.24	
6	Перевірка на плагіат та отримання рецензії на кваліфікаційну роботу	01.06.24	
7	Оформлення та друк пояснювальної записки	01.06.24 - 04.06.24	
8	Підготовка презентації та доповіді	05.06.24 - 10.06.24	

7. Дата видачі завдання: “08” травня 2024 р.

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ Лужбін В.М.  
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Мацапура Вадим Валерійович

(підпис випускника)

(ПІБ)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Ергономічна оцінка засобів відображення польотної інформації на літаку»: 55 сторінок, 21 рисунок, 2 таблиць, 11 використаних джерел.

### ЕРГОНОМІКА, СИСТЕМА, ВІЗУАЛІЗАЦІЇ, ЯКІСТЬ І ДОСТОВІРНІСТЬ ПОЛЬотної ІНФОРМАЦІЇ, КОЛЬОРОСПРОМОЖНІСТЬ, КАБІНА ЛІТАКА

Об'єкт дослідження – державне підприємство «Антонов», виробництво, авіаційні підприємства розробки систем авіоніки.

Мета кваліфікаційної роботи – комплексне дослідження Ергономічна оцінка засобів відображення польотної інформації на літаку.

Методи дослідження – математичне моделювання, дослідження складних систем, методи ефективності систем з використання критеріїв узгодження для оцінки графіків процесів поліпшення якості зображень, вивчення теорії візуалізації, збір та аналіз даних, метод рівнянь та його різновид, метод ергономічної оцінки якості і достовірності польотної інформації.

Основні конструктивні, технологічні та інші характеристики та показники: поліпшення якості зображень реалізується за рахунок впровадження моделей підсистем аналізу, обробки і синтезу зображень результати кваліфікаційної роботи мають практичну цінність.

Отримані результати та їх новизна: спільне функціонування існуючих та перспективних систем для поліпшення параметрів і характеристик якості зображень.

Значущість виконаної роботи та висновки: пропонуються пропозиції та рекомендації щодо впровадження нових моделей, методів і засобів, підвищення якості зображень.

Рекомендації щодо використання результатів: впровадження методів і засобів підвищення якості зображень сприяє досягненню високого рівня безпеки польотів.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ЗАСОБІВ ВІДОБРАЖЕННЯ ПОЛЬОТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ.....	10
1.1. Аналогові засоби відображення.....	10
1.2. Електронні засоби відображення.....	12
1.3. Принцип скляної кабіни.....	14
1.4. Сучасні технології в авіаційній ергономіці.....	15
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕРГОНОМІКИ.....	17
2.1. Основні принципи ергономіки.....	17
2.2. Ергономічні критерії оцінки засобів відображення інформації.....	18
2.3. Принципи проектування кабіни пілота.....	20
РОЗДІЛ 3. ЕРГОНОМІЧНІ ФАКТОРИ ПРОЕКТУВАННЯ КАБІНИ ПІЛОТА.....	22
3.1. Принципи розташування приладів та органів управління.....	22
3.2. Фізичне розташування приладів та органів керування.....	23
3.3. Ієрархія систем відображення польотної інформації.....	29
РОЗДІЛ 4. ВИКОРИСТАННЯ ТА РОЗВИТОК АВІАЦІЙНИХ ДИСПЛЕЇВ.....	31
4.1. Характеристики дисплеїв авіоніки.....	31
4.2. Вимоги до дисплеїв авіоніки.....	33
4.3. Різновиди матриць дисплеїв.....	36
4.4. Вплив різних типів дисплеїв на працездатність авіаційних спеціалістів...41	
4.5. Ефективність систем візуалізації інформації в кабіні літака.....	46
ВИСНОВОК.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55

## **Перелік умовних скорочень**

АЗМ - Автомат захисту мережі

ПС - Повітряне судно

ЦА - Цивільна авіація

СППР – Система підтримки прийняття рішень

AR - Augmented reality

VR - Virtual reality

PFD - Primary Flight Display

MFD - Multi-Function Display

NAV - Navigation

ND - Navigation Display

LCD - liquid-crystal display

LED - Light-emitting diode

OLED - organic light-emitting diode

TN - Twisted Nematic

IPS - In-Plane Switching

VA - Vertical Alignment

## ВСТУП

Для авіації питанням номер один постала тема розвитку та вдосконалення ергономіки кабіни екіпажу повітряних суден (ПС). Ергономіка відіграє ключову роль у створенні засобів відображення польотної інформації на сучасних літаках. Зручність та ефективність взаємодії пілота з інформаційними системами безпосередньо впливають на безпеку польотів та продуктивність екіпажу.

Рівень розвитку сучасних дисплеїв дозволяє якісно відобразити параметри польоту повітряного судна та візуалізувати умови польоту. У зв'язку з цим ергономістами вивчаються якісні показники систем відображення: характер зображення, що формується, розмір екрану дисплея, інтегральний характер інформації, що пред'являється, адекватність відображення динамічних характеристик об'єкта, способи відображення багатовимірної інформації.

Необхідною складовою цивільної авіації є система візуалізації кольорової польотної інформації і стану повітряного руху які призначені для високоефективного забезпечення безпеки польотів.

В наш час велике значення надається автоматизації процесів збирання та обробки візуальної інформації про стан повітряного руху. Системи зв'язку, навігації, тренажерні системи, спостереження та автоматизованого диспетчерського управління повітряним рухом функціонують в умовах значного впливу різноманітних дестабілізуючих факторів, тому надзвичайно велике значення надається функціональній стійкості систем відображення, комфортності сприйняття кольорових зображень з моніторів та панелей візуалізації в кабіні літака. Поняття функціональної стійкості має свої особливості для кожної складової систем візуалізації інформації в кабіні літака та диспетчерського управління повітряним рухом. Для кожної з них можуть бути визначені специфічні шляхи забезпечення стійкості функціонування, але для них існують і загальні підходи вирішення цієї проблеми – поліпшення кольоровості зображення в панелях візуалізації

польотної інформації.

Відомо, що в даний час властивість автоматизованих динамічних систем характеризується наступними поняттями.

Надійність системи візуалізації в складі авіоніки – як властивість об'єкта, що полягає в здатності зберігати в часі у встановлених межах значення ознак і параметрів, що характеризують ті властивості об'єкта, що визначають його здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах.

Живучість панелей візуалізації польотної інформації в складі систем авіоніки – як властивість об'єкта, що полягає в здатності зберігати працездатність при впливі вражаючих засобів і нерозрахованих умов експлуатації.

Безпека системи візуалізації в складі авіоніки – як властивість об'єкта, що полягає в здатності не допускати таких змін своїх станів і властивостей, що були б небезпечні для людей і навколишнього середовища.

Сьогодні, як ніколи, велике значення мають правильна діагностика за допомогою системи візуалізації подій і розуміння логіки їхнього розвитку в часі. Чітке знання умов виникнення небезпек (позаштатних ситуацій) дозволяє з одного боку завчасно вжити відповідних заходів, а з іншого боку - розробити алгоритм протиаварійного і відновлюючого управління.

Функціональна стійкість системи візуалізації в складі авіоніки – це властивість динамічної системи, що полягає в здатності виконувати хоча б установлений мінімальний обсяг своїх функцій при відмовах в інформаційній, обчислювальній, енергетичній частинах системи, а також зовнішніх впливів, що не передбачені умовами.

Інша термінологія визначає, що функціональна стійкість системи візуалізації в складі авіоніки в ЦА може розглядатися як властивість об'єкта благополучно завершити політ при регламентованому числі вимірів у стані самого комплексу, тобто збереження працездатності після прояву в ньому припустимого числа відмов і впливу зовнішніх збурювань.



Реалізація функціональної стійкості може бути досягнута введенням в цивільної авіації різних форм надмірності (структурної, функціональної, інформаційної тощо) і підготовленістю екіпажа до управління польотом при раптовій реконфігурації комплексу.

Стосовно до цивільних ПС, за польотом яких здійснюється безперервне візуальне спостереження, надмірність дозволяє не тільки екіпажові, але й операторам пункту наземного управління вчасно знайти початок зародження випадковості (перших ланок небезпечного ланцюга – сукупності відхилень у роботі), запобігти раптовому прояву її для екіпажа. Тому виникає задача – візуальний контроль за станом у темпі часу польоту літальних апаратів. Для рішення цієї задачі потрібно забезпечити в цивільної авіації збір, обробку, аналіз та синтез кольорової інформації з автоматичним розпізнаванням позаштатної ситуації, що зароджується, і формуванням рекомендацій з дій в умовах, що створилися.

Кваліфікаційна робота присвячена аналізу і оцінці, рекомендації і пропозиції щодо поліпшення параметрів і характеристик панелей візуалізації з метою впровадження на моніторах та панелях візуалізації в кабіні літака. Поліпшення параметрів і характеристик кольоровості в багатьох випадках і функціональне дублювання в інтересах підвищення живучості системи, спроможне забезпечити необхідний рівень безпеки польотів повітряних суден.

# РОЗДІЛ 1. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ЗАСОБІВ ВІДОБРАЖЕННЯ ПОЛЬотної ІНФОРМАЦІЇ

Історія засобів відображення польотної інформації починається з простих аналогових приладів, що використовувалися в перших літаках. З розвитком технологій та збільшенням складності повітряного руху знадобилися складніші та інформативніші системи. Перші аналогові прилади надавали базову інформацію про швидкість, висоту та курс польоту. Однак, зі зростанням потреби у більш деталізованій інформації, почалося впровадження електронних дисплеїв та комп'ютерних систем у кабіну пілотів. Введення скляних кабін (glass cockpit) стало наступним значним кроком у розвитку авіаційної ергономіки.

## 1.1. Аналогові засоби відображення

Аналогові (рис. 1.1) приладові панелі в літаках відігравали ключову роль в авіації протягом більшої частини 20-го століття. Ці прилади забезпечували пілотів необхідною інформацією для управління повітряним судном та його навігації. Незважаючи на появу цифрових технологій і скляних кабін, аналогові панелі залишаються важливим аспектом авіаційної історії і використовуються в деяких літаках і до сьогодні. Аналогові прилади, що використовувалися в ранніх літаках, були механічними пристроями, що відображають ключову інформацію щодо параметрів польоту. Швидкість польоту, висота, напрямок, рівень палива та інші параметри відображалися на окремих приладах, вимагаючи пілотів постійного контролю та інтерпретації даних.

Переваги аналогових приладових панелей:

1. Простота і надійність: механічні та електромеханічні пристрої довели свою надійність і довговічність. Вони не залежать від програмного забезпечення і складних цифрових систем, що знижує ризик збоїв.

2. Інтуїтивне сприйняття: стрілочні покажчики і шкали легко сприймаються на інтуїтивному рівні, що дозволяє пілотам швидко оцінювати параметри польоту.

3. Відсутність залежності від електроніки: аналогові прилади працюють незалежно від складних електронних систем, що робить їх менш уразливими до електричних збоїв.

Недоліки аналогових приладових панелей:

1. Обмежена інформація: аналогові прилади можуть відображати тільки один параметр на кожному пристрої, що обмежує кількість доступної інформації.

2. Великі габарити та маса: механічні компоненти займають більше місця і важать більше, ніж сучасні цифрові екрани.

3. Труднощі в модернізації: оновлення аналогових систем вимагає заміни фізичних компонентів, що може бути дорогим і складним.

Еволюція та поточний стан

Протягом останніх десятиліть аналогові приладові панелі поступово витісняються цифровими системами, відомими як скляні кабіни (glass cockpits). Ці системи використовують електронні дисплеї для відображення інформації, що дозволяє інтегрувати численні параметри на одному екрані і суттєво покращує ергономіку кабіни.

Тим не менш, аналогові прилади все ще використовуються в малій авіації і деяких старих комерційних літаках. Крім того, багато сучасних літаків зберігають аналогові прилади як резервні, на випадок відмови цифрових систем.



Рис. 1.1. Аналогова приладова дошка Ан-26

## 1.2. Електронні засоби відображення

З впровадженням електронних технологій в авіацію аналогові прилади почали замінюватися на електронні дисплеї. Це дозволило поєднати безліч даних на одному екрані, що значно полегшило процес отримання та аналізу інформації. Поява перших електронних дисплеїв була важливим кроком створення сучасних скляних кабіл. Вони забезпечують пілотам широкий спектр даних про політ та стан повітряного судна, що підвищує безпеку і ефективність авіації. Розглянемо особливості, переваги та недоліки електронних приладових панелей в літаках, а також їх вплив на сучасну авіацію.

### Особливості електронних приладових панелей

Електронні приладові панелі (рис 1.2) ґрунтуються на використанні цифрових дисплеїв, таких як рідкокристалічні екрани (LCD) або світлодіодні дисплеї (LED), для відображення інформації. Вони можуть інтегрувати різноманітні системи, включаючи навігацію, авіаційні прилади, системи контролю та управління в єдину інформаційну панель, що забезпечує пілотам всю необхідну інформацію на одному екрані.

### Переваги електронних приладових панелей

1. Більше інформації на одному екрані: електронні приладові панелі можуть інтегрувати безліч даних на одному екрані, що сприяє розумінню ситуації для пілотів.

2. Гнучкість та налаштованість: пілоти можуть налаштовувати відображену інформацію відповідно до їх потреб і вподобань.

3. Легка інтеграція з іншими системами: електронні приладові панелі легко інтегруються з іншими бортовими системами, такими як автопілоти та системи навігації.

#### Недоліки електронних приладових панелей

1. Залежність від електроніки: електронні приладові панелі більш уразливі до відмов електроніки та електромагнітних перешкод, ніж аналогові прилади.

2. Складність навчання: використання електронних приладових панелей потребує додаткового навчання для пілотів, особливо для тих, хто звик до традиційних аналогових систем.

3. Витрати на обслуговування та оновлення: ремонт та оновлення електронних приладових панелей можуть бути дорогими і вимагати спеціалізованих знань.

#### Вплив на сучасну авіацію

Електронні приладові панелі мають значний вплив на сучасну авіацію, підвищуючи рівень автоматизації, безпеку та ефективність польотів. Вони є ключовим елементом сучасних літаків і продовжують розвиватися з розвитком технологій.



Рис. 1.2. Приладова дошка літака Beechcraft Baron с оновленою авіонікою Garmin

### **1.3. Принцип скляної кабіни**

"Скляна кабіна" (рис. 1.3) – це кабіна, в якій дані про політ, двигун і літак відображаються на електронних дисплеях, а не на окремих приладах для кожного приладу. Набір із шести комп'ютерних моніторів може замінити сотні перемикачів та датчиків, зменшуючи навантаження на льотний екіпаж. Однією з найважливіших переваг "скляної кабіни" є те, що значення легше читати. Дані набагато чіткіші, ніж стрілка, але при цьому дають точні числа. Це дозволяє пілотам швидше визначати свою швидкість, висоту та положення.

Друга перевага "скляної кабіни" – простір. Один дисплей може відобразити потенційно сотні параметрів, при цьому займаючи менше місця, ніж якби кожна метрика мала свій індикатор. У багатьох випадках є параметри, які потрібно нечасто перевіряти. Отже, ці параметри можуть бути поміщені в меню замість того, щоб мати постійний дисплей, який використовується рідко. Крім того, скляна кабіна дозволяє краще візуалізувати дані. Наприклад, скляні дисплеї дозволяють краще отримувати інформацію про погоду та місцевість.

Хоча електронні індикатори польоту вважаються більш надійними, ніж аналогові, через відсутність частин, що рухаються, вони вразливі для збоїв електричних систем і програмних збоїв. Тому в деяких пристроях аналогові дисплеї знаходяться в режимі очікування у разі відмови електронних дисплеїв.

Скляні кабіни стали логічним продовженням розвитку електричних приладів. Вони включають цифрові дисплеї з високою роздільною здатністю, які можуть відобразити інформацію в різних форматах, інтегруючи дані різних систем літака. Це значно покращило зручність та ефективність роботи пілотів, зменшило кількість помилок та підвищило загальну безпеку польотів. Скляні кабіни використовують рідкокристалічні дисплеї (LCD) або світлодіодні дисплеї (LED) для відображення даних про політ. Вони дозволяють інтегрувати численні системи і дані на декількох екранах, що

значно спрощує процес управління літаком. Основні компоненти скляної кабіни включають:

- первинні польотні дисплеї (PFD) - показують основні польотні дані, такі як висота, швидкість, курс та положення літака;
- мультифункціональні дисплеї (MFD) - відображають додаткову інформацію, таку як карти, дані навігації, стан систем літака та метеорологічну інформацію;
- системи управління польотом (FMS) - дозволяють автоматизувати і оптимізувати польотні процеси.

#### Вплив на сучасну авіацію

Скляні кабіни мають значний вплив на сучасну авіацію, забезпечуючи більш високий рівень безпеки, ефективності та зручності польотів. Вони стали стандартом в більшості сучасних комерційних та приватних літаків і продовжують розвиватися з появою нових технологій, таких як додаткова реальність та штучний інтелект.



Рис. 1.3. “Скляна кабіна” літака Airbus A320

#### 1.4. Сучасні технології в авіаційній ергономіці

Сучасні літаки оснащені цифровими дисплеями з високою роздільною здатністю, сенсорними екранами та системами інтеграції даних. Ці технології дозволяють пілотам отримувати більш точну та своєчасну інформацію,

покращуючи прийняття рішень та підвищуючи загальну безпеку польотів. Сучасні системи також включають можливості адаптації інтерфейсу під індивідуальні переваги пілотів, що додатково покращує ергономіку.

#### Сенсорні екрани

Сенсорні екрани стали невід'ємною частиною сучасних скляних кабін. Вони дозволяють пілотам взаємодіяти із системою відображення інформації більш інтуїтивно та ефективно. Можливість швидкого доступу до необхідних даних та керування різними функціями літака за допомогою сенсорного інтерфейсу значно покращує ергономіку кабіни.

#### Інтеграція даних

Сучасні системи інтеграції даних дозволяють об'єднувати інформацію з різних джерел та відображати її на одному або кількох дисплеях. Це допомагає пілотам швидко отримувати повну картину ситуації, що особливо важливо за умов високого стресу чи за необхідності швидкого прийняття рішень. Інтеграція даних також дозволяє зменшити кількість дисплеїв та приладів у кабіні, що сприяє спрощенню та покращенню ергономіки.

#### Адаптивні інтерфейси

Адаптивні інтерфейси можуть налаштовуватися під індивідуальні уподобання та потреби пілотів. Це включає зміну розміру та розташування елементів на дисплеї, вибір кольору та контрастності, а також можливість відображення лише тієї інформації, яка необхідна в даний момент. Це допомагає знизити когнітивне навантаження на пілотів та покращує зручність використання системи.



## **РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕРГОНОМІКИ**

Ергономіка є важливою наукою, спрямованою на оптимізацію взаємодії людини та технічних систем. В авіаційній галузі, особливо в контексті авіоніки, ергономіка відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки, ефективності та комфорту польотів. Розглянемо теоретичні основи ергономіки авіоніки, охоплюючи основні засади, методи та аспекти їх застосування.

### **2.1. Основні принципи ергономіки**

**Зручність використання:** системи повинні бути інтуїтивно зрозумілими та легкими у використанні.

**Мінімізація навантаження:** фізичне та когнітивне навантаження на користувача має бути мінімізовано.

**Безпека:** системи повинні запобігати помилкам та мінімізувати ризики.

**Ефективність:** системи повинні сприяти підвищенню продуктивності та точності виконання завдань.

#### **Принцип зручності використання**

Зручність використання має на увазі, що система має бути інтуїтивно зрозумілою та легкою в освоєнні. Це включає логічне розташування елементів керування та відображення інформації, використання стандартних символів та позначень, а також мінімізацію необхідності складних маніпуляцій. В авіаційній ергономіці це особливо важливо, тому що пілоти повинні швидко та точно сприймати та інтерпретувати інформацію, щоб приймати правильні рішення в умовах високого стресу.

#### **Принцип мінімізації навантаження**

Мінімізація фізичного та когнітивного навантаження на користувача є ключовим принципом ергономіки. Це досягається за рахунок використання зручних та ергономічних елементів керування, мінімізації необхідності постійного контролю за системами, а також використання автоматизації для виконання рутинних завдань. У кабіні літака це включає використання

зручних сидінь, легко доступних елементів керування та інформативних дисплеїв, які не потребують постійної уваги.

#### Принцип безпеки

Безпека одна із найважливіших принципів ергономіки, особливо в авіації. Системи повинні бути розроблені таким чином, щоб запобігати помилкам та мінімізувати ризики. Це включає використання надійних та перевірених технологій, забезпечення можливості швидкого доступу до важливої інформації та елементів управління, а також проведення регулярних тренувань та навчання пілотів.

#### Принцип ефективності

Ефективність систем має на увазі, що вони повинні сприяти підвищенню продуктивності та точності виконання завдань. Це досягається за рахунок використання сучасних технологій, автоматизації рутинних процесів, а також оптимізації інтерфейсів для швидкого та зручного доступу до необхідної інформації. В авіації це особливо важливо, тому що висока продуктивність та точність пілотів безпосередньо впливають на безпеку польотів.

## **2.2. Ергономічні критерії оцінки засобів відображення інформації**

Ергономічні критерії включають:

**Читання:** інформація повинна бути легко читаною та зрозумілою за будь-яких умов освітлення.

**Доступність:** інформація має бути доступною та легко сприйманою без необхідності складних маніпуляцій.

**Логічність розташування:** інформація має бути розташована логічне та послідовно, що дозволяє пілоту швидко знаходити потрібні дані.

**Мінімізація когнітивного навантаження:** інтерфейси повинні бути розроблені таким чином, щоб мінімізувати навантаження на когнітивні ресурси пілота.

## Читання

Читання інформації є ключовим аспектом ергономіки. Це включає використання шрифтів, які можуть бути легко прочитані за будь-яких умов освітлення, а також оптимальний розмір тексту та символів. В авіації це особливо важливо, тому що пілоти повинні швидко сприймати та інтерпретувати інформацію, щоб приймати правильні рішення.

## Доступність

Доступність інформації передбачає, що вона має бути легко сприймається і доступна без необхідності складних маніпуляцій. Це включає логічне розташування елементів інтерфейсу, використання стандартних символів та позначень, а також мінімізацію необхідності перемикання між різними дисплеями та інтерфейсами.

## Логічність розташування

Логічність розташування інформації дозволяє пілотові швидко знаходити потрібні дані. Це включає використання інтуїтивно зрозумілих схем та компоновок, а також мінімізацію необхідності пошуку інформації на різних дисплеях та в різних інтерфейсах. В авіації це особливо важливо, тому що пілоти повинні швидко та точно сприймати та інтерпретувати інформацію.

## Мінімізація когнітивного навантаження

Мінімізація когнітивного навантаження є ключовим аспектом ергономіки. Це досягається з допомогою використання інтуїтивно зрозумілих інтерфейсів, мінімізації необхідності постійного контролю над системами, і навіть використання автоматизації до виконання рутинних завдань. В кабіні літака це включає використання зручних дисплеїв, які не потребують постійної уваги, та елементів керування, які легко доступні та інтуїтивно зрозумілі.

### 2.3. Принципи проектування кабіни пілота

Сучасні авіаційні компанії активно застосовують ергономічні принципи підвищення безпеки та ефективності. Наприклад, компанії Airbus і Boeing розробляють кабіни пілотів з урахуванням ергономічних вимог, що включає зручне розташування дисплеїв, оптимальне освітлення і комфортні сидіння.

Проектування кабіни пілота ґрунтується на кількох ключових принципах:

- ергономіка: кабіна має бути спроектована так, щоб усі елементи керування та дисплеї були легко доступними та зрозумілими для пілотів. Це допомагає знизити фізичне та психічне навантаження.

- безпека: проектування має враховувати всі аспекти безпеки, включаючи захист пілотів у разі аварійних ситуацій та забезпечення резервування критичних систем.

- людський фактор: важливо враховувати можливості та обмеження людини при розробці інтерфейсів та систем керування, щоб мінімізувати ймовірність помилок.

- інтеграція систем: усі системи кабіни повинні працювати як єдине ціле, забезпечуючи безперервний обмін даними та узгодженість роботи.

- надійність та довговічність: використовувані матеріали та технології повинні забезпечувати тривалий термін служби та високу надійність усіх компонентів кабіни.

Сучасні тенденції в проектуванні кабіни пілота:

- цифровізація та автоматизація: перехід від аналогових до цифрових систем та автоматизація багатьох функцій управління польотом, що підвищує точність та знижує навантаження на пілотів.

- використання скляних кабін: скляні кабіни з великими електронними дисплеями замінюють традиційні механічні прилади, надаючи більш інтуїтивне та наочне відображення інформації.

– інтеграція зі штучним інтелектом: впровадження систем штучного інтелекту для допомоги пілотам у прийнятті рішень та автоматизації рутинних завдань.

– поліпшення ергономіки та комфорту: розробка нового дизайну сидінь та інтер'єрів кабіни для покращення комфорту та зменшення стомлюваності пілотів.

Розробка інтерфейсів нового покоління: використання технологій доповненої реальності (AR) та віртуальної реальності (VR) для покращення взаємодії пілота із системами управління.

Проектування кабіни пілота є складним і багатогранним процесом, що вимагає врахування багатьох факторів для забезпечення безпеки, надійності та зручності використання. Сучасні технології та тенденції відкривають нові можливості для покращення кабіни пілота, роблячи польоти ще більш безпечними та ефективними. Важливо продовжувати дослідження та розробки в цій галузі, щоб відповідати зростаючим вимогам авіаційної індустрії та підвищувати рівень безпеки польотів.

## **РОЗДІЛ 3. ЕРГОНОМІЧНІ ФАКТОРИ ПРОЕКТУВАННЯ КАБІНИ ПІЛОТА**

Ергономічні чинники проектування кабіни пілота відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки, ефективності та комфорту пілотів під час польоту. Ці фактори спрямовані на оптимізацію взаємодії людини та машини, мінімізацію стомлюваності та зниження ризику помилок.

### **3.1. Принципи розташування приладів та органів управління**

1. Основні аспекти ергономіки у проектуванні кабіни пілота включають:

- доступність – всі важливі прилади та органи керування повинні бути легко доступними для пілота без значного переміщення тіла;

- розподіл за важливістю – критично важливі індикатори та перемикачі повинні розташовуватись у найбільш видимих та легкодоступних місцях;

- стандартизація – єдине розташування та функціонування органів управління допомагають зменшити час на адаптацію пілота до різних моделей літаків.

2. Читання та сприйняття інформації:

- розмір та чіткість дисплеїв – інформація на дисплеях повинна бути легко прочитана за будь-яких умов освітлення;

- кодування кольорів – використання різних кольорів для позначення різної інформації допомагає швидко і точно інтерпретувати дані;

- аудіо-індикація – звукові сигнали та голосові сповіщення можуть привертати увагу пілотів до важливих подій або змін стану системи.

3. Фізичний комфорт:

- крісло пілота – регульоване по висоті, нахилу та глибині крісло з підтримкою поперекової області допомагає знизити стомлюваність та покращити концентрацію;

- температура та вентиляція – підтримка комфортної температури та гарної вентиляції в кабіні запобігає перегріву та втомі.

– антивібраційні заходи – мінімізація вібрації та шуму в кабіні для підвищення комфорту та зниження стресу.

#### 4. Зір та огляд:

– поле зору – максимально широке поле зору, що забезпечує хороший огляд довкілля та приладів;

– антиблікове покриття – використання матеріалів та покриттів, які зменшують відблиски та відображення на дисплеях та вікнах.

#### 5. Психологічні аспекти:

– зручність використання – простота та інтуїтивність у використанні всіх систем керування та дисплеїв;

– моральний стан – дизайн кабіни, що сприяє зниженню стресу та підвищенню впевненості пілота.

Ці фактори враховуються при розробці нових авіалайнерів та модернізації існуючих моделей, щоб створити оптимальні умови для роботи пілотів, сприяючи їх продуктивності та безпеці польотів.

### **3.2. Фізичне розташування приладів та органів керування**

Розташування приладів та органів управління в кабіні пілота відіграє вирішальну роль у забезпеченні ефективного управління повітряним судном, безпеки та комфорту пілотів. Правильна ергономічна компоновка знижує ризик помилок, підвищує оперативність реакції та знижує стомлюваність. Основні принципи та аспекти розташування авіоніки включають:

#### 1. Центральна панель приладів (Main Instrument Panel):

А) Основні польотні інструменти (Primary Flight Display, PFD), Primary Flight Display (PFD) (рис. 3.1) – це ключовий елемент сучасних систем авіоніки, який інтегрує основну інформацію про політ на одному екрані, що суттєво покращує ситуаційну обізнаність пілотів і спрощує управління літаком. Розташовуються прямо перед пілотом, зазвичай на рівні очей. Сюди відносяться індикатори швидкості, висоти, курсу, вертикальної швидкості та кута нахилу літака.



Рис. 3.1. Primary Flight Display літака Boeing 737

Б) Багатофункціональний дисплей (Multi-Function Display, MFD):

Multi-Function Display (рис. 3.2) є важливим елементом сучасних авіаційних технологій, що забезпечує пілотам доступ до різноманітної і інтегрованої інформації про політ, навігацію, метеорологічні умови та стан літака. Завдяки своїм перевагам, таким як покращена ситуаційна обізнаність і зниження робочого навантаження на пілотів, MFD значно підвищує безпеку та ефективність польотів.



Рис. 3.2. Multi-Function Display

2. Управління двигунами (Engine Control Panel):

А) Ручки управління двигунами або Дроселі (Throttle Levers) (рис. .3.3), є важливими елементами управління літаком, що дозволяють пілотам контролювати потужність двигунів і, відповідно, швидкість та висоту польоту. Ці ручки розташовані на центральній консолі в кабіні літака і безпосередньо впливають на продуктивність повітряного судна.





Рис. 3.3. Ручки управління двигунами Boeing 747

Б) Індикатори роботи двигунів (рис. 3.4) є важливою частиною авіаційних приладових панелей, що дозволяють пілотам контролювати і оцінювати стан двигунів під час польоту. Вони надають критичну інформацію, необхідну для забезпечення безпечного і ефективного управління літаком, а саме індикатор обертів двигуна, Індикатор температури газів за турбіною, індикатор тиску масла, індикатор температури масла, індикатор витрати палива, індикатор тиску в колекторах, індикатор положення дросельної заслінки



Рис. 3.4. Індикатори роботи двигунів Ан-225 Мрія



#### 4. Органи управління польотом (Flight Controls):

А) Стикові керма або штурвали (рис. 3.7) є основними елементами системи управління літаком, що дозволяють пілотам контролювати рух літака в просторі. Вони використовуються для маніпулювання поверхніми керування, такими як елерони, рулі висоти і напрямку, що дозволяє здійснювати керування літака. Кермо висоти, напрямки та елерони: Керуються через стикові керма або штурвали, які зазвичай інтегровані в центральну панель.



Рис. 3.7. Стикове кермо Airbus (ліворуч), штурвал Boeing (праворуч)

Б) Автопілот (рис. 3.8) є системою автоматичного управління літаком, яка дозволяє зменшити навантаження на пілотів, забезпечуючи більш стабільний та безпечний політ. Автопілот здатен контролювати різні параметри польоту, включаючи висоту, курс, швидкість та навігацію за заданим маршрутом.



Рис. 3.8. Панель керування автопілотом

## 5. Управління системою шасі:

Управління системою шасі (рис. 3.9) є критично важливим аспектом роботи пілота, особливо під час зльоту та посадки. Система шасі включає механізми, що дозволяють висувати та втягувати шасі, а також систему амортизації та гальмування для забезпечення безпеки під час приземлення і рулювання на землі.



Рис. 3.9. Управління системою шасі

## 6. Електричні та гідравлічні системи:

Індикатори стану гідравлічної системи (рис. 3.10) літака відіграють критичну роль у безпеці польоту. Розташовані на центральній панелі або бічних панелях, щоб пілоти могли швидко перевірити стан систем.

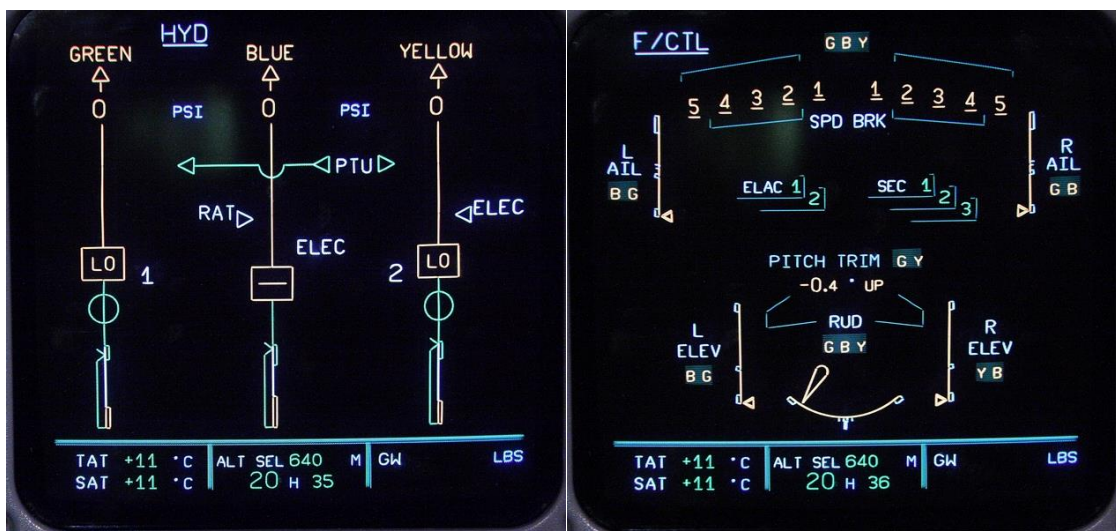


Рис. 3.10. Індикатори стану гідравлічної системи

## 7. Перемикачі та запобіжники:

Панелі АЗС (рис. 3.11) організовані в логічні групи та розташовані на доступних панелях для швидкого доступу в екстрених ситуаціях.



Рис. 3.11. Панель АЗМ

## 8. Система пожежогасіння:

Система пожежогасіння (рис. 3.12) - одна із стаціонарних бортових аварійних систем, призначена для гасіння пожежі на борту літального апарату. Керування системою розташовується над кріслом пілота що дозволяє швидко реагувати на нештатні ситуації на літаку.

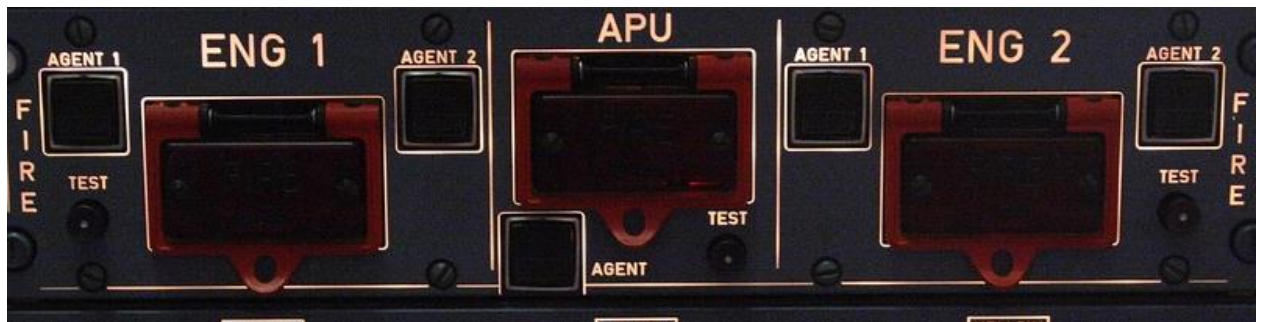


Рис. 3.12. Система пожежогасіння двигунів

## 3.3. Ієрархія систем відображення польотної інформації

Всі системи відображення польотної інформації мають певну ієрархію в розташуванні на приладовій дошці в кабіні пілота. Вони забезпечують пілотів необхідними даними про стан літака, навігацію, погодні умови та

інші важливі параметри. У сучасній авіації існує кілька рівнів ієрархії цих систем, кожен з яких виконує свої специфічні функції.

Безпосередньо на рівні очей пілота розташовуються основні польотні параметри, такі як швидкість, висота, курс, горизонтальне положення та вертикальна швидкість. Ці параметри відображає основний польотний дисплей (Primary Flight Display, PFD). Для підвищення безпеки польотів цей дисплей та знаходяться у зоні найкращої видимості.

Нарівні з основним польотним дисплеєм знаходиться навігаційний дисплей (Navigation Display, ND). Навігаційні дисплеї (ND) забезпечують пілотів інформацією про маршрут польоту, поточну позицію літака, навігаційні точки, а також про погодні умови і повітряний трафік. Вони є важливим інструментом для планування і виконання польотів.

Основні польотні та навігаційні дисплеї відображають першочергові дані польоту тому дублюються для кожного пілота окремо (рис. 3.13).

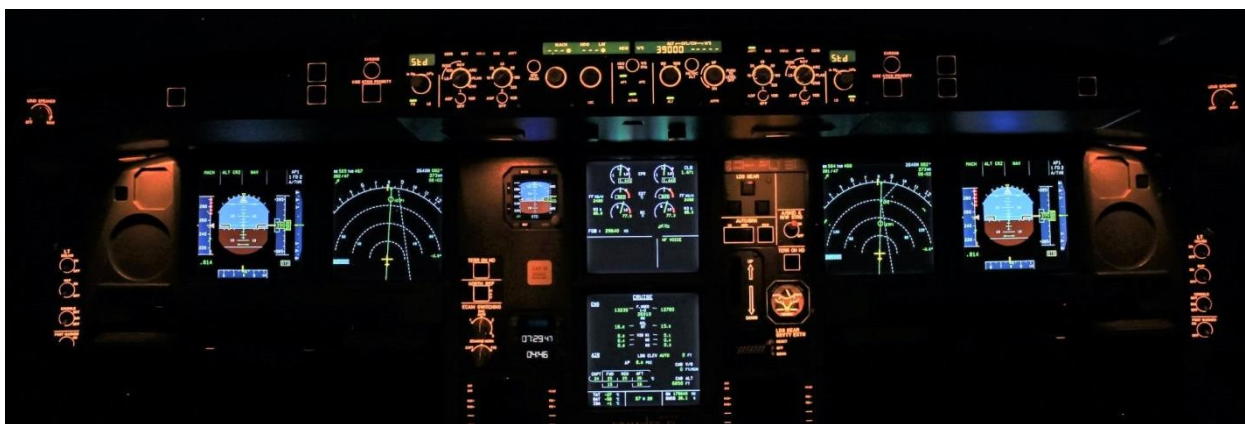


Рис. 3.13. Приклад дублювання дисплеїв на літаку Airbus A320

Більш віддалено від рівня зору очей знаходиться система відображення інформації про двигуни та польотні параметри (Engine Indication and Crew Alerting System, EICAS). Вона забезпечує пілотів даними про стан двигунів, системи літака та сигналами тривоги. Для зручності цей дисплей розташовують біля ручок управління двигунів.

## **РОЗДІЛ 4. ВИКОРИСТАННЯ ТА РОЗВИТОК АВІАЦІЙНИХ ДИСПЛЕЇВ**

Авіаційні дисплеї майже повністю замінили аналогові прилади в кабіні літака. Перехід до принципу “Скляної кабіни” дав змогу зменшити кількість приладів та покажчиків на приладовій дошці літака. Проте перші дисплеї, що встановлювались на борт повітряних суден мали певні проблеми, а саме: недостатня роздільна здатність екрану, мала яскравість та контраст спричиняє недостатню видимість для зчитування пілотом польотної інформації. Саме тому для інженерів постало питання у виборі найбільш оптимальних типів дисплею та покращення їх характеристик. Дисплеї авіоніки є важливим компонентом сучасних літаків, оскільки вони забезпечують пілотів необхідною інформацією для управління літаком, навігації та забезпечення безпеки польотів. Вимоги до дисплеїв авіоніки постійно зростають разом із розвитком технологій, що сприяє підвищенню їх функціональності, надійності та зручності використання. У цьому розділі ми розглянемо основні характеристики та вимоги до дисплеїв авіоніки, включаючи технічні параметри, ергономічні аспекти та вимоги до безпеки.

### **4.1. Характеристики дисплеїв авіоніки**

До основних характеристик дисплеїв авіоніки відносяться:

– роздільна здатність і якість зображення

Однією з ключових характеристик дисплеїв авіоніки є роздільна здатність, яка визначає чіткість і деталізацію відображуваної інформації. Висока роздільна здатність дозволяє пілотам краще розрізняти дрібні деталі і підвищує загальну якість зображення.

- Роздільна здатність: від 1024x768 пікселів для базових дисплеїв до 1920x1080 і більше для сучасних високоякісних систем.

- Якість зображення: використання високоякісних матриць (наприклад, LCD, OLED) для забезпечення чітких і контрастних зображень.

– яскравість і контрастність

Для забезпечення хорошого читання інформації за різних умов освітлення дисплеї повинні мати високу яскравість і контрастність. Це особливо важливо для польотів вдень, коли сонячне світло може знижувати видимість дисплеїв.

- Яскравість: від 600 до 1000 кд/м<sup>2</sup> і вище для забезпечення видимості при яскравому сонячному світлі.

- Контрастність: високий коефіцієнт контрастності для забезпечення чіткого розрізнення інформації навіть при високій яскравості.

– розмір і формат екрану

Розмір і формат екрану повинні забезпечувати достатній обсяг інформації без перевантаження пілота.

- Розмір екрану: від 5 до 20 дюймів діагоналі в залежності від типу дисплея і його призначення.

- Формат: співвідношення сторін 4:3 або 16:9, що дозволяє оптимально розмістити інформацію.

– інтерфейси підключення

Дисплеї повинні мати сучасні інтерфейси для підключення до інших систем авіоніки згідно сучасних стандартів та вимог швидкості та надійності.

- Інтерфейси: ARINC 429, ARINC 661, Ethernet, HDMI, DisplayPort.

– відповідність стандартам

Дисплеї авіоніки повинні відповідати міжнародним стандартам і сертифікаціям, що визначають вимоги до надійності та безпеки.

- Стандарти: RTCA DO-160, DO-178, DO-254

– інтерфейс користувача

Інтерфейс дисплеїв повинен бути інтуїтивно зрозумілим, з мінімальною кількістю кроків для доступу до важливої інформації.

- Дизайн інтерфейсу: логічна структура меню, використання кольорових кодів для різних типів інформації.



- Функціональні можливості: можливість налаштування відображення інформації під індивідуальні потреби пілота.

- запобігання перевантаженню інформацією

Дисплеї повинні забезпечувати чітку і лаконічну інформацію, щоб уникнути перевантаження пілота надмірною кількістю даних.

- Фільтрація інформації: відображення тільки важливої інформації в залежності від фази польоту.

- Ієрархія інформації: чіткий поділ на основну і додаткову інформацію.

#### **4.2. Вимоги до дисплеїв авіоніки**

- надійність та відмовостійкість

- Висока надійність

Дисплеї повинні працювати безперебійно протягом тривалого часу. Висока надійність досягається через використання якісних матеріалів та передових технологій виробництва.

- Відмовостійкість

Системи дисплеїв повинні мати можливість резервування, тобто мати дублюючі компоненти, які автоматично вмикаються у разі відмови основних.

- Захист від зовнішніх впливів

Дисплеї повинні бути захищені від екстремальних температур, вологи, пилу, вібрацій та електромагнітних завад.

- ергономічність та зручність використання

- Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс

Інтерфейс дисплеїв повинен бути зручним та інтуїтивно зрозумілим, щоб пілоти могли швидко знайти необхідну інформацію та прийняти правильне рішення.

- Налаштування яскравості та контрастності

Дисплеї повинні мати можливість регулювання яскравості та контрастності для забезпечення видимості за різних умов освітлення, включаючи яскраве сонячне світло та нічні польоти.

- **Мінімізація відблисків**

Поверхня дисплеїв повинна бути покрита антибліковим шаром для мінімізації відблисків та поліпшення видимості.

– якість зображення

- **Висока роздільна здатність**

Дисплеї повинні мати високу роздільну здатність, що забезпечує чітке та детальне відображення інформації.

- **Широкі кути огляду**

Дисплеї повинні забезпечувати широкі кути огляду, щоб пілоти могли бачити інформацію з будь-якого положення в кабіні.

- **Точність передачі кольорів**

Точність передачі кольорів є важливою для відображення різних типів інформації, включаючи попередження та сигнали тривоги.

– стійкість до зовнішніх умов

- **Температурна стійкість**

Дисплеї повинні працювати в широкому діапазоні температур, що важливо для використання в різних кліматичних умовах та на різних висотах.

- **Вологозахист**

Дисплеї повинні бути захищені від впливу вологи, що забезпечується через герметичність корпусу та використання водонепроникних матеріалів.

- **Захист від механічних впливів**

Дисплеї повинні бути стійкими до вібрацій та ударів, що можуть виникати під час польоту або посадки.

– вимоги до електроживлення

- **Енергоефективність**

Дисплеї повинні мати низьке споживання енергії для забезпечення тривалої автономної роботи системи.

- Стійкість до перепадів напруги

Дисплеї повинні працювати стабільно при перепадах напруги в системі електроживлення літака.

– інтеграція з іншими системами

- Підключення до систем авіоніки

Дисплеї повинні підтримувати стандартні інтерфейси підключення для інтеграції з іншими системами авіоніки, такими як автопілот, навігаційні системи, системи управління польотом тощо.

- Підтримка програмного забезпечення

Дисплеї повинні бути сумісними з програмним забезпеченням, яке використовується для управління та моніторингу польоту.

– зручність обслуговування та модернізації

- Легкість обслуговування

Дисплеї повинні бути спроектовані так, щоб їх обслуговування та ремонт можна було здійснювати швидко та з мінімальними затратами часу та ресурсів.

- Модульна конструкція

Модульна конструкція дисплеїв дозволяє легко здійснювати їхню модернізацію та заміну окремих компонентів.

Характеристики бортових дисплейних модулів повинні відповідати низці певних вимог. Насамперед, це зумовлено жорсткими умовами роботи приладів у кабіні літального апарату. До них відносяться наявність підвищеної вібрації, широкий температурний діапазон, зміни тиску повітря в кабіні, широкий діапазон зміни яскравості підсвічування фону.

Рівень надійності дисплейного обладнання має відповідати певним нормам, що регламентує рівні надійності для бортового обладнання. Найчастіше на дисплеях приладової панелі керування емулюються звичні механічні або електромеханічні прилади, призначені для навігації та керування, а також світлові табло з попереджувальними повідомленнями. Специфіка застосування визначає для дисплеїв свої формати для

відображення символної, символно-графічної та графічної інформації, що не збігаються зі звичними форматами дисплеїв для настільних комп'ютерів.

Дисплеї, розташовані на панелі приладів кабіни літака, повинні забезпечувати зчитування інформації під час польотів у нічний час. Фонове підсвічування є тільки від сусідніх приладів на дошці у кабіні літального апарату. При польоті над білими хмарами рівень фонові яскравості сонячного світла в кабіні може досягати  $27400 \text{ кд/м}^2$ . Таким чином, перепад яскравості фонового освітлення становить декілька десятків тисяч разів. Тому для дисплеїв авіоніки потрібне автоматичне регулювання яскравості, причому в дуже широкому діапазоні -  $20000:1$ . При цьому потрібно забезпечувати підтримку контрасту на рівні щонайменше  $100:1$ .

Відповідно до прийнятих ергономічних норм прийнятний рівень яскравості дисплейного зображення по відношенню до фонового рівня повинен співвідноситися як:  $1.2 \text{ D/LB}$

де LD – рівень яскравості дисплея, а LB – рівень яскравості фону.

Підставляємо в нерівність величину  $27400 \text{ кд/м}^2$  та отримуємо максимальний рівень яскравості для дисплеїв, що застосовуються в кабіні літака близько  $5480 \text{ кд/м}^2$ . Механічна стійкість дисплейних модулів до вібрації та ударів забезпечується використанням спеціальної конструкції кріплення панелі у модулі

Від систем відображення польотної інформації також вимагається витримувати широкий спектр температур (від  $-40$  до  $+55$  градусів за Цельсієм), витримування перевантажень до  $15g$  та довготривалих вібрацій. Неодмінним фактором дисплею є велика частота оновлення кадрів для своєчасного оновлення польотної інформації.

### **4.3. Різновиди матриць дисплеїв**

Вибір матриць для дисплеїв авіоніки є критично важливим, оскільки вони повинні забезпечувати високу якість зображення, надійність та стійкість

до зовнішніх впливів. У цьому розділі ми розглянемо основні типи матриць, які використовуються в авіації, їхні переваги та недоліки.

#### А) Рідкокристалічні дисплеї (LCD)

Рідкокристалічні дисплеї (LCD) є одними з найпоширеніших типів дисплеїв, які використовуються в авіації. Вони забезпечують високу якість зображення, надійність та енергоефективність, що робить їх ідеальними для використання в кабіні пілота. Дисплей складається з довільної кількості кольорових або монохромних точок (пікселів), і джерела світла або відбивача (рефлектора) (рис. 4.1).

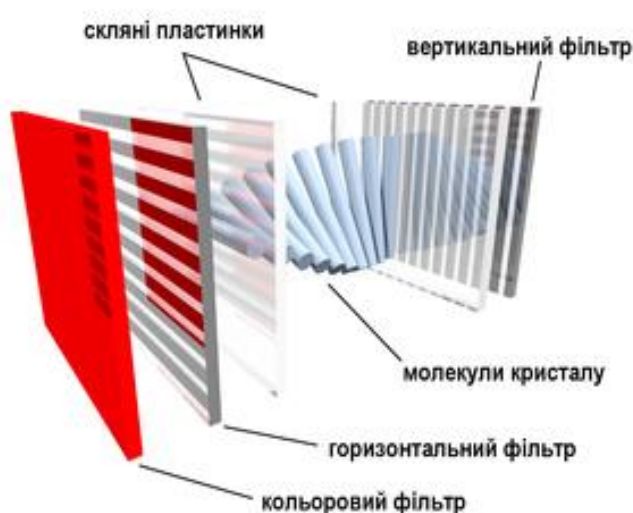


Рис. 4.1. Структура LCD дисплею

Рідкокристалічні дисплеї є одними з найпоширеніших і найбільш підходящих типів дисплеїв для авіації завдяки їхнім численним перевагам, таким як висока якість зображення, енергоефективність, надійність та широкі кути огляду. Роздільна здатність LCD дисплеїв може варіюватися від 1024x768 до 3840x2160 пікселів і більше, що забезпечує чітке та детальне відображення інформації. Дисплеї цього типу забезпечують високу яскравість (до 1000 кд/м<sup>2</sup> і більше) і високий коефіцієнт контрастності, що дозволяє використовувати їх при яскравому сонячному світлі та в умовах низького освітлення. Сучасні LCD дисплеї, особливо ті, що використовують IPS технологію, забезпечують кути огляду до 178 градусів, що є важливим для забезпечення видимості інформації з різних положень у кабіні пілота, є

енергоєфективними та мають доволі великий ресурс. Незважаючи на деякі недоліки, такі як обмежені кути огляду в TN дисплеях та більший час реакції порівняно з іншими технологіями, сучасні LCD дисплеї забезпечують пілотам необхідну інформацію для безпечного та ефективного управління повітряним судном.

У свою чергу LCD дисплеї поділяються на:

- Twisted Nematic (TN)

TN дисплеї є найстарішою і найпростішою технологією LCD. Вони працюють за принципом закручування рідких кристалів під впливом електричного поля, що змінює прозорість пікселів. Мають низьку вартість та швидку швидкість реакції. Натомість в дисплеях цього типу малий кут огляду та менша насиченість зображення.

- In-Plane Switching (IPS)

IPS дисплеї використовують рідкі кристали, розташовані паралельно площині дисплея, що забезпечує кращу передачу кольорів і широкі кути огляду. Найбільш поширені в авіації, але мають більшу собівартість та більший час реакції порівняно з TN

- Vertical Alignment (VA)

VA дисплеї використовують рідкі кристали, розташовані вертикально у вимкненому стані, що забезпечує високий контраст і глибокі чорні кольори. Натомість програють IPS за якістю кутів огляду та швидкістю реакції.

## Б) Органічні світловипромінювальні діоди (OLED)

Органічні світловипромінювальні діоди (OLED) є однією з найсучасніших технологій дисплеїв, які поступово знаходять застосування в авіації. OLED технологія використовує для освітлення екрану плівку із органічних світлодіодів. OLED освітлення утворюється з кількох шарів органічних полімерів, здатних випромінювати світло під час подачі на них електричного струму (рис. 4.2).

Вони забезпечують високу якість зображення, широкий діапазон кольорів і відмінні кути огляду, що робить їх перспективним варіантом для

використання в кабіні пілота. Органічні світловипромінювальні діоди (OLED) є перспективною технологією дисплеїв для авіації завдяки своїм численним перевагам, таким як висока якість зображення, широкий діапазон кольорів, широкі кути огляду, тонкість та гнучкість. Проте їх висока вартість і обмежена тривалість служби можуть бути значними недоліками, які обмежують їх застосування в авіації. Незважаючи на це, OLED дисплеї мають великий потенціал для поліпшення ергономічності та ефективності систем авіоніки, що робить їх важливим напрямком розвитку дисплейних технологій в авіації.

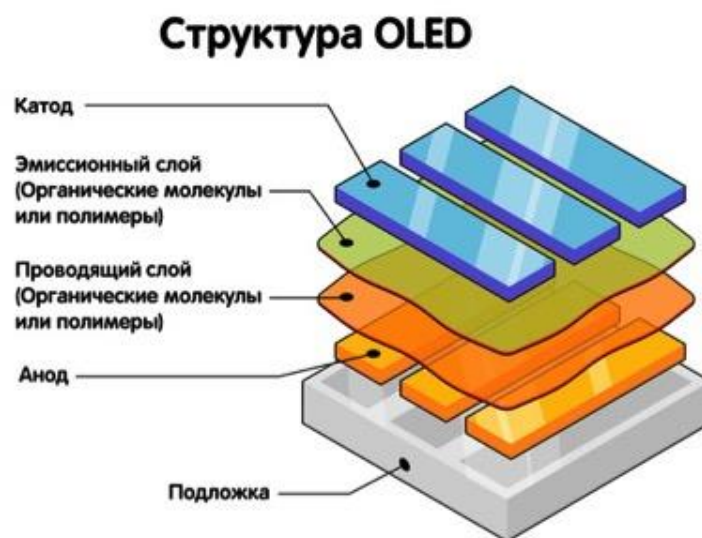


Рис. 4.2. Структура OLED дисплею

OLED дисплеї мають високий коефіцієнт контрастності завдяки тому, що кожен піксель випромінює власне світло і може бути повністю вимкнений для створення глибоких чорних кольорів. Вони забезпечують широкий діапазон кольорів і точну передачу кольорів, що є важливим для відображення різноманітної інформації. OLED дисплеї можуть бути енергоефективними, особливо при відображенні темних зображень, оскільки чорні пікселі не випромінюють світло. Завдяки своїй тонкості і гнучкості, OLED дисплеї можуть бути легкими, що є перевагою для використання в авіації, де вага має велике значення. Дисплеї цього типу також мають такі недоліки:

- висока вартість виробництва є одним з основних недоліків OLED дисплеїв. Це може впливати на загальну вартість систем авіоніки.
- OLED дисплеї мають обмежену тривалість служби порівняно з LCD через деградацію органічних матеріалів, що може призвести до зниження яскравості і появи "вигорілих" пікселів.
- органічні матеріали, що використовуються в OLED дисплеях, можуть бути чутливими до вологості, що вимагає додаткових заходів захисту.

### В) Світловипромінювальні діоди (LED)

Світловипромінювальні діоди (LED) є ключовою технологією в авіоніці завдяки своїй надійності, енергоефективності, яскравості та довговічності. LED-дисплеї широко використовуються для відображення польотної інформації та інших важливих даних в кабіні пілота. Світлодіодний дисплей (Light Emitting Diode) - пристрій відображення і передачі візуальної інформації, в якому кожною точкою, пікселем є один або кілька напівпровідникових світлодіодів (рис. 4.3).

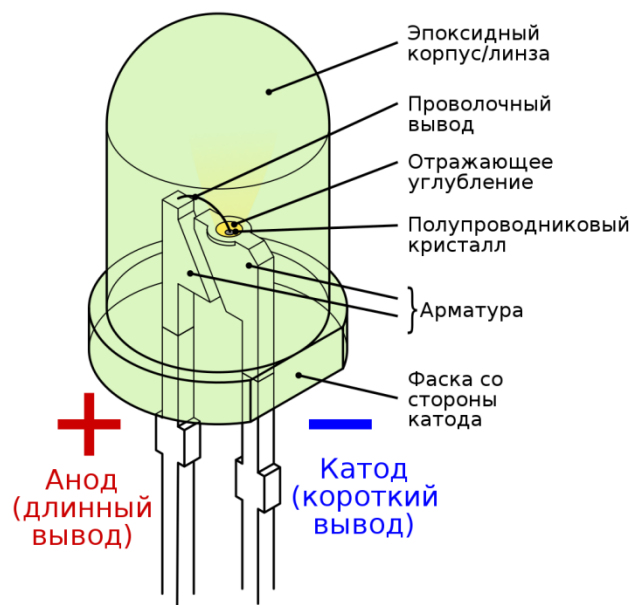


Рис. 4.3. Напівпровідниковий світлодіод

Світловипромінювальні діоди працюють на основі електролюмінесценції, коли електричний струм проходить через напівпровідниковий матеріал, який випромінює світло.



Світловипромінювальні діоди (LED) є важливою технологією в авіації завдяки своїм численним перевагам, таким як висока яскравість, енергоефективність, довговічність та надійність. Незважаючи на деякі недоліки, такі як вартість і тепловиділення, LED-дисплеї забезпечують високу якість відображення інформації і є невід'ємною частиною сучасної авіоніки. Їх широке застосування в різних системах літака покращує безпеку та ефективність польотів, що робить їх ключовим елементом в розвитку авіаційної індустрії.

#### **4.4. Вплив різних типів дисплеїв на працездатність авіаційних спеціалістів**

Ми вже розглянули різні типи авіаційних дисплеїв, їх переваги та недоліки. Але важливим фактором авіаційної безпеки є комфорт та стан втомленості авіаційних працівників. Стосовно до галузі авіації втома – це фізіологічний стан зниженої розумової або фізичної працездатності в результаті групи факторів, що може погіршити активність та здатність людини належним чином виконувати службові обов'язки, пов'язані із забезпеченням безпеки польотів. Втома може бути мінущою і кумулятивною.

Як правило, мінуща втома відчувається здоровим організмом після певного часового періоду роботи, хвилювання або фізичної напруги, що може бути знято шляхом поодинокого сну. Кумуляція втоми виникає при нетривалому чи запізнілому відпочинку внаслідок надмірного обсягу та кількості роботи, хвилювання та фізичної напруги без достатньо необхідної можливості відновлення сил організму. Кабіни пілотів повітряних суден проектується таким чином, щоб члени льотного екіпажу могли здійснювати свою роботу не тільки в нормальних, а й у критичних умовах, наприклад, при піковому робочому навантаженні. Основна частина даних надходить через орган зору, отже, обмеження зору щодо гостроти, розмірів і полів периферичного зору, а також правильне сприйняття кольорів повинні

розглядатися в контексті доступу до візуальної інформації всередині та за межами кабіни повітряного судна.

Робоче навантаження диспетчерів обслуговування повітряного руху схильне до значних коливань. Воно залежить від такої групи факторів, як інтенсивність повітряного руху, складність маршрутів обслуговування повітряного руху, швидкості окремих повітряних суден тощо. При виконанні роботи від авіадиспетчерів потрібні хороша нервово-м'язова координація, достатня гострота зору для читання на відстані, а велика кількість закодованою за допомогою кольорів інформації зумовлює необхідність хорошого сприйняття кольору.

Приблизно 80% польотної інформації сприймається пілотами візуально. Більше того, робота авіадиспетчерів та деяких інших фахівців безпосередньо пов'язана з дисплеями. Тому одним з найважливішим фактором безпеки польотів є коректне відображення польотної інформації та зменшення навантаження авіаційних спеціалістів при роботі в великою кількістю дисплеїв. Найчастіше кабіна сучасного повітряного судна також обладнана LCD-дисплеями, проте тут характеристики бортових дисплеїв або дисплейних модулів повинні відповідати ряду ще більш жорстких вимог, пов'язаних з особливостями експлуатації, включаючи широкий температурний діапазон, наявність підвищеної вібрації, зміна рівня тиску повітря в кабіні, а також заломлення та відображення сонячного світла. У кабінах можуть встановлюватись різні дисплеї таких фірм, як Image Quest Technologies, Honeywell та MOOG Component Group, Arnav System, Rockwell Collins, а також Garmin.

До професійно важливих якостей, необхідним для успішної діяльності пілота або авіадиспетчера, можна віднести хорошу швидкість реакції. Реакція на об'єкт, що рухається – різновид сенсомоторної реакції, коли необхідно здійснити рух у певний момент часу, що відповідає положенню об'єкта який рухається. З урахуванням аналізу літературних джерел було встановлено, що існує безліч методик для оцінки швидкості реакції, при цьому оцінка

результатів може відбуватися по-різному, включаючи обчислення середньої величини помилок запізнення та попередження, відсотка точних, випереджальних і запізнюваних реакцій, а також середньоарифметичного значення всіх типів помилок.

Для оцінки реакції людини на об'єкт, що рухається було проведене дослідження в якому взяли участь п'ять чоловік віком 20 років.

Всі учасники мали нормальний зір, проблеми з колірним сприйняттям були відсутні. Суть дослідження полягала у тому, щоб відобразити залежність працездатності авіаційного персонала від типів інформаційного дисплея. Відстань між дисплеями та учасниками експерименту була однаковою і становило 60 см. Кількість повторень у спробах досліджуваних дорівнювало 20. Учасникам перед початком серії експериментів давалася установка виключно на точність реагування, таким чином, при виконанні тестів передчасність або запізнення реакції були мимовільними. При цьому наростання кількості передчасних реакцій свідчить про стан підвищеної збудливості, а збільшення кількості запізнених реакцій є ознакою переважання процесів гальмування у центральній нервовій системі.

Тестування в програмі представляє собою методику, призначену для оцінки точності динамічного окоміру та балансу основних нервових процесів.

В тесті 1 (рис 4.4) по центру екрану розташовується мета – коло червоного кольору. Випробуваному пропонується зупинити рухається прямолінійно по екрану зліва направо об'єкт у вигляді вертикальної риси синього кольору в момент перетину з метою. Місце появи об'єкта на екрані та початок його руху задаються автоматично, а відгук (зупинка планки) здійснюється за допомогою клавіші «пробіл» на клавіатурі.

В тесті 2 (рис 4.4) було поставлено аналогічне завдання, але як рухомий об'єкт виступав прямокутник, а в як мету – вертикальна характеристика. В обох тестах програма вважає відхилення зупиненого об'єкта, що рухається, від центрального положення мети. Значення береться за модулем і

переводиться у відсотки, де 100% відповідають точному попаданню в ціль, а 0 - непопаданню в ціль.

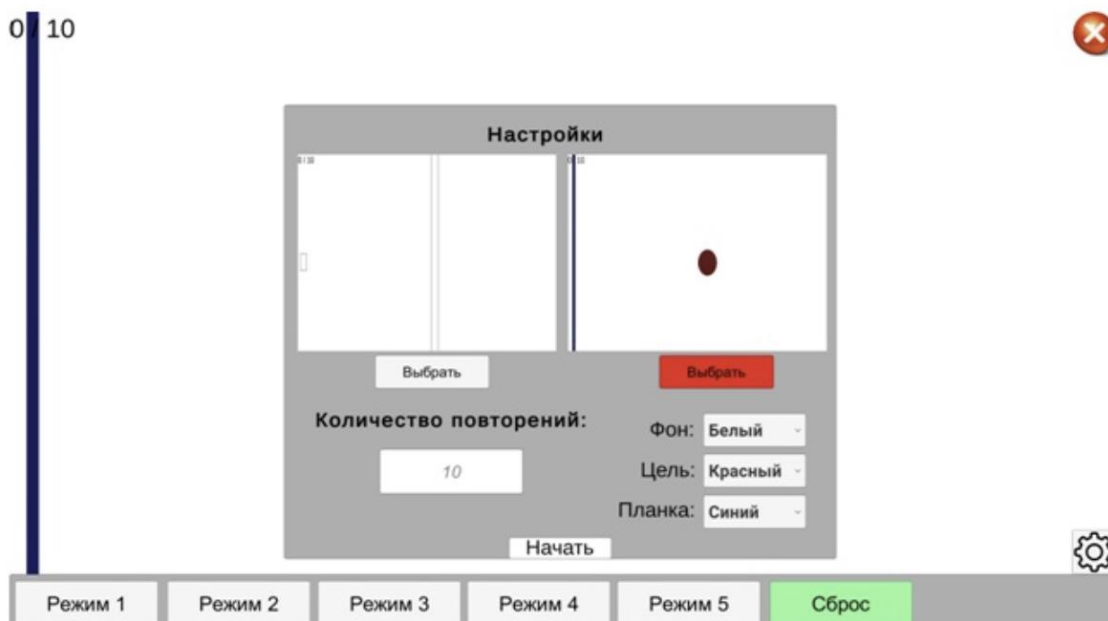


Рис. 4.4. Интерфейс программы тестування

Два описані тесту на швидкість реакції виконували групою випробуваних на різних типах інформаційних дисплеїв з різними характеристиками, що відображаються в таблиці 1. Усі типи дисплеїв, що використовуються в серії експериментів, що відповідають нормативним вимогам, виключаючи дисплей 2 з найгіршими характеристиками.

Табл. 1

Характеристики дисплея	Номер дисплея			
	1	2	3	4
Тип матрицы	LCD (IPS)	LCD (IPS)	LED	LCD (тип TN)
Диагональ экрана (дюйм)	15,6	13,3	32,0	32,0
Разрешение	1920 × 1080	1920 × 1080	1920 × 1080	1440 × 900
Частота обновления (Гц)	59	59	60	75

В результаті проведення серії експериментів було встановлено наступне:

1. Найбільший відсоток якості виконання тестів відзначено на LCD-дисплеї з матрицею IPS-типу з діагоналлю екрану 15.6'.

2. У разі збільшення діагоналі екрану серед LCD (IPS) дисплеїв якість виконання тестів зростає. Проте збільшення діагоналі екрану може бути

актуальним лише до певних меж, оскільки далі починається процес розсіювання уваги авіаційного фахівця, що підтверджують результати дисплеїв 1 та 3. Найбільш оптимальним середнім значенням діагоналі можна вважати 20' (моделі MultiSync PA242W 24.1', MultiSync 2190UXp 21.3', застосовувані на робочих місцях авіадиспетчерів у центрах обслуговування повітряного руху).

3. Роздільна здатність екрана у перших трьох типів екранів більша, ніж у четвертого, і практично у всіх експериментах якість виконання тестів у LCD (TN) дисплея було гірше, незважаючи на найбільше значення частоти оновлення серед інших дисплеїв.

4. При рівній діагоналі екрана (32,0') перевага у LED-дисплеїв, так як у даному випадку якість виконання завдань вище, ніж у LCD-дисплеїв.

Результати проведених експериментів зібрані в таблиці 2. Середнє значення якості виконання тестів від типу інформаційного дисплея зображено на рисунку 4.5.

Табл. 2

Тест на реакцію 1					
Номер испытуемого	Номера попыток				Среднее значение, %
	1	2	3	4	
1	74,70	82,35	76,80	81,60	78,86
2	85,30	86,55	82,55	84,15	84,64
3	82,05	86,20	84,10	83,05	83,85
4	73,17	78,55	72,25	77,70	75,42
5	78,60	70,10	78,00	70,05	74,19
Тест на реакцію 2					
Номер испытуемого	Номера попыток				Среднее значение, %
	1	2	3	4	
1	79,45	78,55	86,90	81,55	81,61
2	80,35	82,95	82,55	86,15	83,00
3	83,55	74,45	80,45	88,05	81,63
4	81,40	85,70	80,45	86,80	85,59
5	71,10	77,45	81,90	71,35	75,45

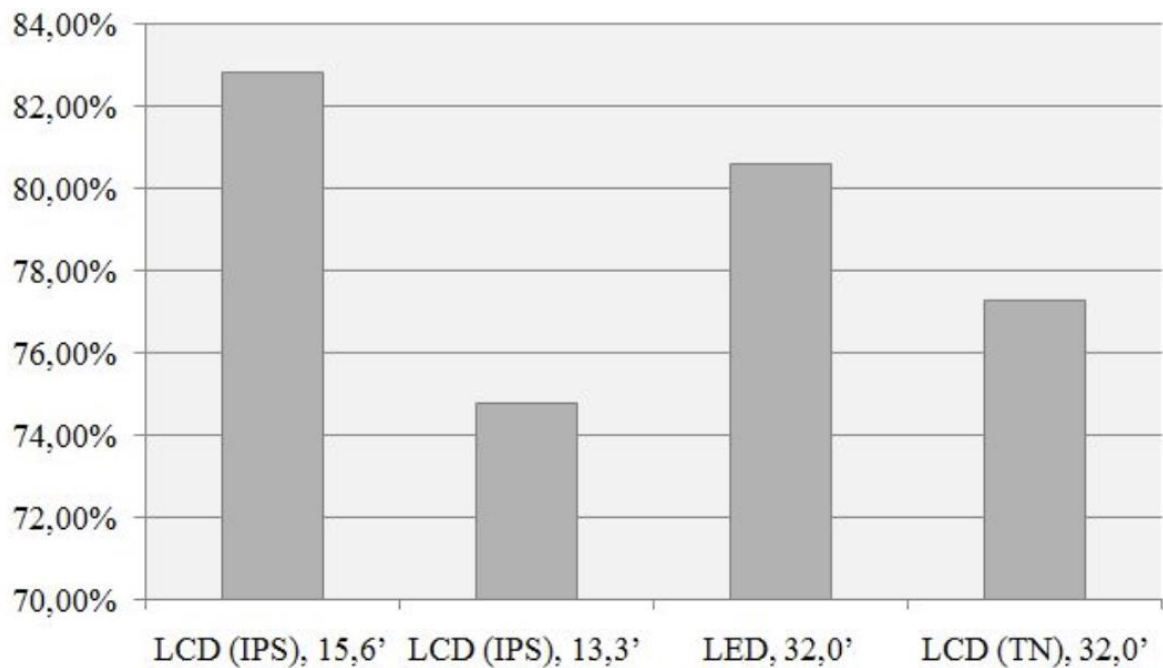


Рис. 4.5. Залежність якості виконання тестів від типу інформаційного дисплея

Виходячи з отриманих результатів, варто відзначити, що застосовувані інформаційні дисплеї безпосередньо впливають на діяльність авіаційних фахівців, при цьому використання LCD-дисплеїв з матрицею IPS та більшою діагоналлю екрану є кращим. Тим не менш оптимальним середнім значенням діагоналі вважатимуться 20'. Також варто звернути увагу і на LED-дисплеї, які характеризуються більш яскравими та насиченими кольорами зображення в порівнянні з РК-дисплеями, що може бути застосовано для конкретних завдань авіаційного персоналу, наприклад, у діяльності служби авіаційної безпеки під час перевірки багажу, вантажів та пошти. Незважаючи на облік у нормативних документах яскравих показників, контрастності, кута огляду та інших характеристик, слід оцінювати та враховувати технологію виготовлення екрану, яка визначає час відгуку, дозвіл та однорідність структури.

#### **4.5. Ефективність систем візуалізації інформації в кабіні літака**

Одним з головних напрямків розвитку суспільства є удосконалення різних видів цілеспрямованої діяльності людей. Звичайно та чи інша мета може бути досягнута різними шляхами, але завжди бажано знати кращий з

них, так як в реальних умовах доводиться рахувати з обмеженістю матеріальних ресурсів і часу, які витрачаються на досягнення цілі. Поняття “кращий” відносно, воно починає дещо визначати тоді, коли призначений показник або критерій якості рішень, що приймаються системою підтримки прийняття рішень (СППР). Роль показника якості цим не вичерпується, як правило тому, що має інтерес його кількісна оцінка. Якщо вона існує з’являється можливість оцінки ефективності функціонування системи, чи ефективності прийняття того, чи іншого рішення СППР. Тому пропонується загальний підхід до оцінки ефективності систем: аналізу, обробки та синтезу зображень, якщо визначений показник їх ефективності, тоді він дозволяє це робить в інших наукових напрямках.

Показник ефективності системи – це міра якості рішення системою проблеми, яка перед нею стоїть. (Показник ефективності – це міра ефективності системи). Показники ефективності системи повинні бути обчислювальними. Їх значення можуть бути розмірними або безрозмірними величинами, які дозволяють кількісно оцінювати ефект застосування системи. Основною вимогою при визначенні показника ефективності системи є відповідність (адекватність) цього показника цілі операції, яка відображається потрібним результатом  $A_{TP}$ . Крім того, показник повинен задовольняти вимогам змістовності (повноти), чутливості та вимірності. Форма показника повинна бути за можливістю простою, а зміст показника – відповідати здоровому глузду (бути легко інтерпретувемим). Адекватний показник дозволяє оцінювати ефективність системи по ступеню досяжності нею основної, а не другорядної, мети. Змістовний показник дозволяє дослідити ефективність системи без залучення інших її характеристик. Показник повинен бути чутливим до змін основних характеристик зовнішнього середовища і системи, які впливають на ефективність останньої. Вимога вимірності очевидна.

За визначенням системи: аналізу, обробки та синтезу зображень призначені для визначення задачі мінімізації розбіжностей між потрібним

(бажаним) результатом  $A_{TP}$  і тим, який досягається (реальним)  $A_U$ . Для опису відповідності результату, який досягається, потрібному, можна формально ввести числову функцію  $\rho$  на множині можливих результатів (стратегій операції)  $\rho = \rho(A(u), A_{TP})$ ,  $u \in V$ , яку називають функцією відповідності. Вона визначає ступінь відповідності результату, який досягається, потрібному. Конкретний вигляд функції залежить від класу системи, мети операції, задачі дослідження та впливу зовнішніх інших факторів.

Тому, виходячи з вищевикладеного, показник ефективності, суворо кажучи, треба визначати як міру розбіжностей  $A_{TP}$  і  $A$  в результаті застосування системи. Але в більшості випадків перевагу віддають оцінці ефективності системи за досягнє ним ефектом її застосування, тобто шляхом оцінки результату  $A$ , який досягається. Як в першому, так і в другому випадках  $\rho$  функціонально пов'язана з великою кількістю параметрів (змінних)  $\alpha$ , які відображають фактори, що впливають на процес функціонування системи. Формально це можна показати у вигляді деякої функції (функціонала)  $\varphi(\alpha)$ , визначеного на множині вказаних змінних. Функція  $\varphi(\alpha)$  дозволяє оцінити ступінь досяжності мети, яка стоїть перед системою, з урахуванням факторів, які впливають на процес її функціонування. Конкретний вид такої функції залежить від призначення системи і проблемних задач дослідження.

В багатьох випадках  $\alpha$  є випадковою перемінною (випадковим вектором), і тоді  $\varphi(\alpha)$  теж буде випадковою величиною. Найбільш просто в якості показника ефективності системи можна використовувати математичне очікування такої функції  $E(\alpha) = M\{\varphi(\alpha)\}$ . Якщо  $\alpha$  - це випадкова перемінна, то  $E(\alpha) = \varphi(\alpha)$ . Коли результат функціонування системи може бути описаним однією величиною,  $E(\alpha)$  визначає скалярний показник ефективності. Можливі випадки, в яких мета функціонування системи досягається сумісним рішенням задач різними підсистемами. Ефективність рішення



кожної з таких задач оцінюється відповідним частковим показником  $\epsilon_i(\alpha)$  - показником ефективності підсистеми. Крім того, різноманітні задачі можуть вирішуватися однією системою на різних етапах процесу її функціонування. Тоді  $\epsilon_i(\alpha)$  - показник ефективності рішення задачі на  $i$ -му етапі. Згорнути часткові показники в один скалярний не завжди можливо. В таких випадках приходиться вводити багатокomпонентні (векторні) показники ефективності:

$$\epsilon(\alpha) = \{\epsilon_1(\alpha), \epsilon_2(\alpha), \dots, \epsilon_i(\alpha), \dots, \epsilon_N(\alpha)\}, \quad (4.6)$$

де  $N$  - кількість часткових показників  $\epsilon_i(\alpha)$ ,  $i = \overline{1, N}$ .

Введення такого показника ефективності висуває додаткові вимоги щодо мінімальності числа часткових показників і повноти.

Скалярні показники ефективності можна поділити на два класи:

- 1) показники першого класу застосовуються в тих випадках, коли мета функціонування системи описується випадковою подією;
- 2) показники другого класу використовуються тоді, коли мета функціонування системи відображається числовою змінною.

В рамках кожного з цих класів можна визначити велику кількість показників, які розрізняються в залежності від призначення системи і задач дослідження. Тому в кожному конкретному випадку вибір показника ефективності потребує спеціального підходу.

В залежності від призначення системи візуалізації інформації та умов її застосування в авіації України використовують три групи показників ефективності:

1. Показники типу імовірності досягнення успіху.
2. Показники типу середнього значення досягаємого результату.
3. Середньозважені показники.

Оцінка ефективності систем авіоніки проводиться з метою прийняття конкретних рішень СППР при аналізі, обробки і синтезі кольорових зображень, а також в процесі їх функціонування. Такі рішення приймаються в результаті застосування критеріїв ефективності.

Критерій ефективності – це правило, яке дозволяє співвідносити стратегії (системи), які характеризуються різноманітною ефективністю, і дозволяють здійснити спрямований вибір стратегій (систем) із множини припустимих. Критерій засновується на деякому показнику ефективності. Тому звичайно користуються скороченим виразом „критерій  $\mathcal{E}(\alpha)$ ” замість „критерій з показником ефективності  $\mathcal{E}(\alpha)$ ”. Критерії ефективності вводяться на основі певної концепції вироблення рішень в СППР.

Розрізняють три такі концепції: придатності, оптимізації, адаптації.

Згідно концепції придатності раціональне будь-яке рішення „U”, при якому обраний показник приймає значення не нижче деякого припустимого рівня  $\mathcal{E}_0$ , тобто

$$\mathcal{E}(u) \geq \mathcal{E}_0, \quad u \in V, \quad (4.7)$$

де  $V$  – множина припустимих рішень.

Легко бачити, що приведені відношення поділяє множину припустимих рішень на дві підмножини, що не перетинаються:  $V_{np}$  – підмножина припустимих рішень і  $V_{nnp}$  – підмножина не припустимих рішень. Тобто у відповідності до цього правила всі припустимі рішення  $u \in V_{np}$  рівноцінні (однаково задовільні), як і всі неприпустимі рішення з множини  $V_{nnp}$  однаково незадовільні. Подібна концепція призводить до негнучкої та нецілеспрямованої системи дій, тому, що усі  $v \in V_{np} (v \in V_{nnp})$  в загальному випадку не можуть бути однаково ефективними.

Оптимізація зводиться до визначення рішень  $u \in V$ , які реалізують обраний показник ефективності системи аналізу, обробки та синтезу кольорових зображень, що призначені при фіксованих обмеженнях (обмеження звичайно задаються системою рівнянь), тобто

$$\left. \begin{aligned} \{ \mathcal{E}(u^*) = \underset{u \in V}{extr} \mathcal{E}(u), \\ \{ G(u^*) \neq G_0. \end{aligned} \right\} \quad (4.8)$$

Застосування концепції оптимізації виправдано в тих випадках, коли умови функціонування систем аналізу, обробки та синтезу зображень призначені суворо фіксовані, а показник ефективності не змінюється в часі. Ця концепція призводить до цілеспрямованої, але не гнучкої системи дій, тому що не враховується поточна інформація щодо змін, які відбуваються в системі і у зовнішньому середовищі при реалізації рішень  $U^*$ .

Адаптивність передбачає можливість оперативного реагування в процесі функціонування систем аналізу, обробки та синтезу кольорових зображень, що призначені на поточну інформацію, яка надходить щодо змін умов її функціонування. Сутність концепції адаптивності полягає в зміні параметрів, структури і алгоритмів функціонування систем аналізу, обробки та синтезу кольорових зображень, що призначені на основі не тільки апріорної інформації, але і поточної, а також інформації, що прогнозується, з метою досягнення або збереження певної ефективності системи при змінах умов функціонування останньої. Множина припустимих рішень може змінюватися в процесі отримання поточної польотної інформації. Згідно з концепцією адаптивності раціональним слід вважати рішення  $U^*(t)$  із множини  $V(t)$ , яка, наприклад, забезпечує виконання умови

$$\left. \begin{aligned} \{ & \epsilon_t(u^*(t), \tau) = \text{extr} \epsilon_t(u(t), \tau), \\ & G(u^*(t), \tau) \leq G_{t0}. \end{aligned} \right\} \quad (4.9)$$

де  $t$  – час;  $\tau$  – упередження прогнозу.

Запис  $\epsilon_t(*)$  означає, що на різних етапах процесу функціонування систем аналізу, обробки та синтезу кольорових зображень, що призначені, можуть використовуватися різні показники ефективності. В рамках концепції придатності вибір рішення здійснюється у відповідності до певного критерію придатності.

Оволодіння викладеними рекомендаціями щодо вибору показників та критеріїв ефективності, а також методиками оцінки ефективності функціонування систем візуалізації в процесі аналізу, обробки та синтезу

кольорових зображень на дисплеях візуалізації в кабіні літака дозволять в сучасних умовах, адекватно оцінювати ситуацію, що склалася, і творчо, науково обґрунтовано підходити до вирішення складних завдань з метою досягнення безпеки польотів.

## ВИСНОВОК

У кваліфікаційній роботі були розглянуті засоби відображення польотної інформації на борту повітряного судна. Вони забезпечують екіпаж важливою та своєчасною інформацією. Чим точніше та швидше екіпаж повітряного судна буде сприймати цю інформацію тим безпечніше та комфортніше здійснюватимуться польоти. Дуже важливим фактором є ергономіка кабіни пілота, що спрощує сприйняття польотних параметрів, покращує контроль та зменшує навантаження на пілотів. Під час аналізу впливу засобів відображення інформації на безпеку польотів, встановлено, що правильно спроектовані ергономічні системи знижують ризик виникнення помилок пілотами, особливо в умовах високого стресу та втоми. Позитивний вплив на безпеку польотів досягається завдяки зменшенню часу реакції пілотів та підвищенню точності їхніх дій.

Аналогові панелі є основою для відображення польотної інформації, але через велику кількість параметрів та модернізацію кабін, незважаючи на її надійність на заміну прийшли електронні дисплеї. Електронний монітор може замінити десяток аналогових датчиків та полегшити сприйняття екіпажем польотної інформації. Цифрові панелі можуть біти універсальними, тобто на мультимедійний дисплей можна вивести ту інформацію, яка саме зараз повинна бути перед очима. Всі ці фактори привели до створення кабін, де всі аналогові показчики повністю замінили дисплеї, це так звані “Скляні кабіни”.

Перехід до цифрових панелей поставив нове питання у виборі типу матриці, розмірах та розташування. Дослідження показало, що параметри дисплеїв, такі як розмір, контрастність, роздільна здатність та колірна гама, мають суттєвий вплив на швидкість та точність сприйняття інформації. В результаті дослідження було розроблено ряд рекомендацій щодо покращення ергономіки засобів відображення польотної інформації. Зокрема, рекомендовано впровадження адаптивних дисплеїв, які здатні змінювати відображення інформації залежно від умов польоту та стану пілота. Також

рекомендовано підвищення рівня автоматизації деяких систем для зменшення когнітивного навантаження на пілотів. Досліди та експерименти показали що найбільш оптимальним рішенням є використання LCD дисплеїв за матрицею типу IPS. Вони мають високі кути огляду, гарну передачу кольору та невелику затримку. Не гірший результат дали LED дисплеї, проте вони не зайняли основне місце в кабіні пілота. Оптимальний розмір дисплея для гарного і швидкого сприйняття інформації та ергономічному встановленні в кабіні є діагональ від 13 до 20 дюймів.

Ергономічна оцінка засобів відображення польотної інформації є критично важливою для забезпечення ефективності та безпеки авіаційних операцій. Проведене дослідження підтвердило, що вдосконалення ергономічних параметрів дисплеїв сприяє покращенню роботи пілотів та зниженню кількості помилок під час польоту. Запропоновані рекомендації можуть стати основою для подальшого розвитку та вдосконалення авіаційних систем, спрямованих на підвищення безпеки польотів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Harris, D. (Ed.). (2011). *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*. Ashgate Publishing, Ltd.
2. Wickens, C. D., & Hollands, J. G. (2000). *Engineering Psychology and Human Performance*. Prentice Hall.
3. FAA Human Factors Team. (2003). *The Interfaces between Flightcrews and Modern Flight Deck Systems*. Federal Aviation Administration.
4. Norman, D. A. (2013). *The Design of Everyday Things*. Basic Books.
5. Endsley, M. R., & Garland, D. J. (2000). *Situation Awareness Analysis and Measurement* CRC Press.
6. Roscoe, S. N. (1997). *The Adolescence of Engineering Psychology*. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society.
7. Беляев В. В., Чилая Г. С. Жидкие кристаллы в начале XXI века. М. : ИИУ МГОУ, 2015. 136 с. [Belyaev V. V., Chilaya G. S. Zhidkie kristally v nachale XXI veka (Liquid crystals in the beginning of XXI century). М., 2015. 136 p. (in Russian)]. ISBN 978-5-7017-2415-8.
8. Display Design and the Human Vision System [Electronic resource] // Nouvoyance: Nouvoyance Inc. Cupertino, 2008. URL: <http://www.nouvoyance.com/technology.html> (accessed 23.02.2015).
9. Wingelaar-Jagt Y.Q. Fatigue in aviation: Safety risks, preventive strategies and pharmacological interventions / Y.Q. WingelaarJagt, T.T. Wingelaar, W.J. Riedel, J.G. Ramaekers [Електронний ресурс] // *Frontiers in Physiology*. 2021. Vol. 12. ID: 712628. DOI: 10.3389/fphys.2021.712628
10. Zischka W, Finnegan D. System integration for Modular Open System Approach compliant integrated avionics architectures [Електронний ресурс] // 2023 IEEE/AIAA 42nd Digital Avionics Systems Conference. – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10311118/>.
11. Avionic Data Bus Integration Technology [Електронний ресурс] // DTIC. – Режим доступу: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA252406.pdf>.