

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА АВІОНІКИ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

_____ С.В. Павлова

“ _____ ” _____ 2022 р

ДИПЛОМНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 173 «АВІОНІКА»

Тема: «Датчики для дистанційно пілотованих авіаційних систем»

Виконавець: Катрушенко М. М.

Керівник: Михальчук Інна Івановна

Нормоконтролер: Левківський Василь Васильович

Київ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації електроніки та телекомунікацій

Кафедра авіоніки

Напрямок (спеціальність) 173 «Авіоніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ С.В. Павлова

«__» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Катрушенко М. М.

1. Тема роботи: «Датчики для дистанційно пілотованих авіаційних систем», затверджена наказом ректора від «04» квітня 2022р. № 352/ст.

2. Термін виконання роботи: з 16 травня 2022 р. по 19 червня 2022 р.

3. Вихідні дані роботи: ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНО ПІЛОТОВАНОГО ЛІТАКА ЯК ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

1. Практична цінність дистанційно пілотованих авіаційних систем.

2. ІНЕРЦІЙНА НАВІГАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНО ПІЛОТУВАННЯ ЛІТАКІВ

3. НАДІЙНІСНІСТЬ INS З ДАТЧИКАМИ ПОЛОЖЕННЯ НА ДИСТАНЦІЙНО ПІЛОТОВАНИХ СИСТЕМАХ ЛІТАКА

4. Висновок

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: таблиці, рисунки, графіки.

6. Календарний план-графік

№ пп	Етапи виконання роботи	Термін виконання етапів	Відмітка про виконання
1	Підбір літератури	16-22.05.2022	
2	Підготовка та написання розділу 1	23-27.05.2022	
3	Підготовка та написання розділу 2	28-31.06.2022	
4	Підготовка та написання розділу 3	01-05.06.2022	
5	Підготовка та написання розділу 4	06-11.02.2022	
6	Перевірка на плагіат, оформлення та отримання рецензії	11-14.06.2022	
7	Підготовка презентації та доповіді	15-19.06.2022	

8. Дата видачі завдання «16» травня 2022 р.

Керівник дипломної роботи

Михальчук І. І.

Завдання прийняв до виконання

Катрушенко М. М.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Датчики для дистанційно пілотованих авіаційних систем»:

Ключові слова: ДАТЧИК, АВІАЦІЙНА СИСТЕМА, ОПЕРАТОР, УПРАВЛІННЯ, АВІАЦІЙНА БЕЗПЕКА, ПРОСТОРОВЕ ПОЛОЖЕННЯ, INS, RPAS.

Мета дипломної роботи – є розробка датчика просторового положення, оцінити характеристики операторів авіаційних беспілотних систем.

Об'єктом дослідження – об'єктом даного дослідження є безпосередньо інерційний датчик і як його можна застосувати на дистанційно керованих системах літака.

Предмет дослідження – ДПАС, оснащена новою технологією інерційних датчиків.

Методологічний принцип – порівняння, статистичний аналіз, робота з експертними групами.

Інновація проекту – нове використання відомих технологій. Актуальність наукової роботи полягає в необхідності отримання в реальному часі просторового положення авіаційних систем під час первинної та середньої підготовки експлуатантів з управління зазначеними системами.

Це дозволить не тільки отримати характеристики кожного оператора і виявити закономірності його діяльності, але й продовжити прогнозування виникнення систематичних помилок, притаманних конкретному оператору. І надалі сприяти їх скороченню, що суттєво вплине на процес навчання операторів авіаційних систем і сприятиме підвищенню рівня авіаційної безпеки в цілому.

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ ТЕРМІНОВ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	11
ВСТУП.....	12
1. РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНО ПІЛОТУВАННОГО ЛІТАКА ЯК ОБ’ЄКТУ УПРАВЛІННЯ	17
1.1. Практична цінність дистанційно пілотованих авіаційних систем	17
1.2. Склад бортового обладнання ДПАС.....	23
1.3. Опис об’єкта дослідження	26
1.4. Висновок.....	29
2. РОЗДІЛ 2. ІНЕРЦІЙНА НАВІГАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНО ПІЛОТУВАННЯ ЛІТАКІВ.....	31
2.1. Інерціальна навігаційна система (INNS).....	31
2.2. Застосування просторових датчиків	33
2.3. Класифікація аеродинамічних схем ДПАС	35
2.4. Визначення вимог до автоматизованої системи керування (АСУ).....	36
2.5. Висновок.....	40
3. РОЗДІЛ 3. НАДІЙНІСНІСТЬ INS З ДАТЧИКОМ ПОЛОЖЕННЯ НА СИСТЕМАХ ДИСТАНЦІЙНО ПІЛОТОВАНОГО ЛІТАКА	41
3.1. Калібрування датчиків.....	41
3.2. Етапи процесу безпеки системи.....	52
3.3. Військові та авіаційні стандарти.....	57
3.4. Висновок.....	60
4. РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	62
4.1. Опис електромагнітних перешкод	63
4.2. Електромагнітні перешкоди під час технічного обслуговування	66
4.3. Способи захисту від електромагнітного випромінювання	69
4.4. Висновок	70

5. РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	73
5.1. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів	74
5.2. Заходи щодо зменшення впливу шкідливих і небезпечних виробничих факторів	76
5.3. Інструкція з охорони праці	78
5.4. Висновок	81
ВИСНОВКИ.....	82
ЛІТЕРАТУРА.....	84

СПИСОК УМОВНИХ ТЕРМІНОВ ТА СКОРОЧЕНЬ

RPAS – дистанційно пілотовані авіаційні системи

БПЛА – безпілотна авіаційна машина

ВСТУП

Ця доповідь знайомить з галуззю інерціальних датчиків у дистанційно пілотованих авіаційних системах (ДПАС) і розділена на три основні глави.

У першому розділі читач знайомиться з дистанційно пілотованими авіаційними системами, їх історією, поточними та потенційними застосуваннями; також описані основи інерційної навігаційної технології, визначення її та перспективи розвитку. Проблеми людського фактора та експлуатаційні ризики щодо проблем пілотованої авіації ДПАС є однією з головних проблем, що вивчаються в цьому розділі.

У цій частині описується зародження застосування RPAS та його подальший підйом, падіння та відродження в комерційному транспорті за останні 50 років.

Дрони — це безпілотні літальні апарати, якими або керує оператор дистанційно, або рухаються за заздалегідь визначеним маршрутом. Зараз ці пристрої на піку популярності. Не дивуйтеся, адже їх можна використовувати для розваг, фото- та відео зйомки (у тому числі професійної), військової розвідки та за промисловими системами.

За сучасним (2010-і роки) визначенням, «безпілотником» є тільки той апарат, який знаходиться під постійним дистанційним контролем пілота або пілотів і призначений для повернення на аеродром і для подальшого повторного використання. Тобто крилата ракета до категорії «безпілотників» не належить (JDN 2/11 2011, р. 2-1)

У авіації після 2000 року йде стрімке розширення саме останнього типу апаратів, й про них йдеться, коли вживають термін «безпілотник», «дрон» (англ. drone), або абревіатуру UAV. Тобто, під терміном «безпілотник», «БпЛА», «UAV» мається на увазі саме повітряне судно, яким через канали зв'язку керує один або декілька пілотів. Екіпаж БпЛА може також включати командира, оператора сенсорів, оператора вогневих засобів. Екіпажі БпЛА під час довготермінових місій змінюються — як на загал, кожні 4 години.

Дрони не є новим для 21 століття. Перші прототипи з'явилися навіть не в 20-му, а в 19-му столітті, коли «цифрового» ще не існувало. Коптери того часу могли

брати участь лише в випробувальних польотах без подальшої практичної реалізації. Як виявилось, системи мають три основних недоліки:

дуже складна трансмісія, яка повинна передавати крутний момент від двигуна до всіх роторів відразу. Вона працювала, але часто ламалася.

Пристрої ніяк не стабілізувалися в повітрі, тому найменший подих вітерця міг вивести літак з ладу.

Безпілотні (англ. unmanned — без людини на борту) літальні апарати, відповідно до стандартів НАТО, так само, як і літаки із пілотом на борту (англ. manned aircraft), керуючись значенням повної злітної маси розділено на 3 класи: I — повна злітна маса до 150 кг, II — повна злітна маса до 600 кг, III — повна злітна маса більше 600 кг. (JDN 2/11 2011, р. 2-5)

Станом на початок російської збройної агресії проти України, Збройні сили України фактично не мали власних сучасних безпілотних літальних апаратів. Наявні на озброєнні Ту-141 «Стриж» були морально застарілі. Гостру потребу в безпілотних літаках-розвідниках спершу взялися задовольняти волонтери, адаптуючи цивільні апарати до вимог військових. Були створені, зокрема, БпЛА «Фурія», «Кажан-1», PD-1.

26 серпні 2015 р. державний концерн «Укроборонпром» повідомив про початок серійного виробництва 2-х зразків вітчизняних БпЛА.

В 2015 році студентами Київського політехнічного інституту були створені безпілотні авіаційні комплекси Spectator (укр. спостерігач). Виробництво налагоджене у ВАТ «Меридіан» імені С. П. Корольова, що входить до складу ДК «Укроборонпром».

У результаті законодавці багатьох країн поспішили ухвалити нові закони, що регулюють продаж і експлуатацію безпілотників. У кожній країні свої закони, але в більшості випадків власникам дронів заборонено знімати людей без їх явної згоди; ДПАС не можна використовувати поблизу аеропортів, вокзалів, військових і промислових об'єктів. У більшості випадків безпілотник не може злетіти на висоту більше 150 метрів, виробники встановлюють обмеження як на відстань, яку проходить дрон, так і на максимальну швидкість.

У цьому звіті йдеться про новітню область MEMS, що є мініатюрними пристроями, які об'єднують виконавчі механізми, датчики та процесори для формування інтелектуальних систем. Функціональні підсистеми можуть бути електронними, оптичними, механічними, тепловими або рідинними. MEMS характеризуються їх тісним зв'язком з компонентами інтегральних схем як з точки зору технологій виробництва, так і їх потенціалу для інтеграції з електронікою.

У другому розділі розглядається інерціальна навігаційна система (INS) і короткий опис основних механізмів датчиків і спрацьовування технології MEMS, які можуть визначити та допомогти вирішити ці проблеми електромагнітних перешкод, викликаних випромінюванням.

Інерціальні навігаційні системи використовуються в багатьох різних рухомих об'єктах. Однак їх вартість і складність накладають обмеження на середовище, в якому вони практичні для використання.

Гіроскопи вимірюють кутову швидкість датчика по відношенню до інерційних систем відліку. Використовуючи вихідну орієнтацію системи в інерціальній системі відліку як початковий стан і інтегруючи кутова швидкість, поточна орієнтація системи відома в усі часи. Це можна розглядати як здатність пасажира з зав'язаними очима відчувати, як автомобіль повертається вліво і вправо або нахиляється вгору і вниз, коли автомобіль піднімається або спускається з пагорбів. На основі лише цієї інформації пасажир знає, в якому напрямку рухається автомобіль, але не знає,

У третьому розділі розглядається етапи процесу безпеки системи та найбільш поширені стандарти військової та цивільної авіації. Величезна частина глави полягає у вивченні тестів на надійність.

Основною метою системи безпеки є запобігання нещасним випадкам. Проактивне виявлення, оцінка та усунення або контроль загроз, пов'язаних з безпекою, до прийнятних рівнів, може забезпечити запобігання нещасним випадкам. Небезпека — це умова, подія або обставина, які можуть призвести до незапланованої або небажаної події чи сприяти її виникненню. Ризик — це вираження впливу небажаної події з точки зору тяжкості події та її ймовірності.

Протягом цього процесу визначаються ризики, аналізуються, оцінюються, визначаються пріоритети, а результати документуються для прийняття рішень.

Але надійність означає ступінь, до якого шкала дає послідовні результати, якщо вимірювання повторюються кілька разів. Надійність у науковому дослідженні зазвичай означає стабільність і повторюваність вимірювань або здатність тесту давати однакові результати за тих самих умов.

Усі етапи випробувань надійності, представлені в цьому дипломі, є даними та обговореннями проведених експериментів щодо надійності. Питання, яке необхідно поставити, полягає в тому, «як ці MEMS-пристрої виходять з ладу?», і закінчилося акцентом на впливі на навколишнє середовище. Рушійною силою тестів є бажання знайти відповідь на питання.

РОЗДІЛ 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСТАНЦІЙНО ПІЛОТОВАНИХ СИСТЕМ ЛІТАЦІВ ЯК ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ

1.1. Практична цінність дистанційно пілотованих авіаційних систем

Коптери (так називають цивільні ДПАС) поділяються на групи за кількістю двигунів: трикоптери, квадрокоптери, гексакоптери і октокоптери, які мають відповідно 3, 4, 6 і 8 двигунів. Асортимент моделей дуже різноманітний, але основних елементів небагато: базова рама, електродвигун з пропелерами і польотний контролер. Найпоширенішим є квадрокоптер – дрон, який приводиться в рух чотирма променями з пропелерами.

Сьогодні квадрокоптери широко використовуються у всьому світі. Вони розглядаються як корисне обладнання, яке значно полегшує діяльність людини. Наприклад, є дрони для фотографів і відеооператорів, дрони для детективів і кур'єрів. На рис. 4 зображено сучасний безпілотник, пристосований для зйомок.

Сама ДПАС є лише частиною складного багатофункціонального комплексу. На відміну від пілотованих літаків, ДПАС потребує додаткових елементів системи підтримки. До них відноситься сам безпілотний літальний апарат, робоче місце

оператора, програмне забезпечення, лінії передачі даних та елементи, необхідні для виконання цілей польоту. Спектр використання безпілотних літальних апаратів у цивільному секторі не обмежений, але при сучасному стані законодавчої бази використання повітряного простору літати важко. Ферми RPAS можна використовувати в таких сферах:

- Для проведення пошукових робіт;
- Проведення геологорозвідувальних робіт;
- Аерофотозйомка територій;
- Виконання повітряних хімічних робіт;
- Моніторинг територій та об'єктів;
- Моніторинг територій та об'єктів;
- Ведення відеоспостереження.

Безпілотні літальні апарати мають ряд переваг:

По-перше, для виконання тих самих завдань легкий безпілотник коштує значно дешевше пілотованих, які потрібно оснастити системами життєзабезпечення, захисту, кондиціонування повітря тощо. Пілотів потрібно готувати, це коштує великих грошей. В результаті виходить, що відсутність екіпажу на борту істотно знижує витрати на виконання того чи іншого завдання, а також збільшується корисне навантаження літака. Подруге, легкі (порівняно з пілотованими) дрони споживають менше палива, по-третє, на відміну від пілотованих літаків, безпілотним літакам потрібні аеродроми з бетонним покриттям. Більшість аеродромів потребують реконструкції, темпи ремонту сьогодні не встигають відстежити наявність злітно-посадкових смуг. по-четверте,

1.2.Склад бортового обладнання ДПАС

Для забезпечення виконання завдань спостереження підстильної поверхні Землі в режимі реального часу під час польоту та цифрового фотографування виділених

ділянок місцевості, у тому числі важкодоступних, а також визначення координат досліджуваних ділянок місцевості, корисне навантаження БПЛА має включати:

- Супутникова навігаційна система (ГЛОНАСС/GPS);
- Пристрій командно-навігаційної радіозв'язку з антено-фідерним пристроєм;
- Пристрій для обміну командною інформацією;
- Бортовий цифровий комп'ютер.

Вбудований блок живлення забезпечує узгодження напруги і струму бортового блоку живлення та пристроїв, що входять до складу корисного навантаження, а також оперативний захист від коротких замикань і перевантажень в електромережі. Залежно від класу БПЛА, корисне навантаження може бути доповнено різними типами радіолокаційних станцій (радар), екологічних, радіаційних і хімічних датчиків моніторингу.

Комплекс управління БПЛА є складною багаторівневою структурою, основним завданням якої є забезпечення виведення БПЛА в заданий район і виконання операцій відповідно до польотного завдання, а також забезпечення доставки інформації, що надходить бортовими засобами БПЛА до пункту управління.

Управління БПЛА здійснюється на базі контролера ArduPilot mega2560 [2], призначеного для використання в автономних літаках, автомобілях або кораблях. Бортовий комплекс «Ардупілот» є повноцінним засобом навігації та управління безпілотним літальним апаратом авіаційної схеми. Бортовий комплекс «Ардупілот» — це повнофункціональний засіб навігації та управління безпілотним літальним апаратом. Комплекс забезпечення: визначення навігаційних параметрів, кутів орієнтації та параметрів руху БПЛА (кутових швидкостей і прискорень); навігація та керування БПЛА по заданій траєкторії; стабілізація кута орієнтації БПЛА в польоті; доставка в канал передачі телеметричної інформації про навігаційні параметри, кути орієнтації БПЛА. Центральним елементом бортового комплексу (БК) «Ардупілот» є малогабаритна інерційна навігаційна система (ІНС), інтегрована з приймачем супутникової навігаційної системи. Система побудована на основі мікроелектромеханічних датчиків (гіроскопів та акселерометрів) за принципом ШНМ, це

унікальний високотехнологічний продукт. Вбудований датчик статичного тиску забезпечує динамічне визначення висоти та вертикальної швидкості.

ArduPilot був обраний через можливість вільно виправляти код і вносити зміни в алгоритм. Також однією з причин є доступність на ринку. Автоматичний зліт і посадка полегшує контроль. Також є повна підтримка симуляторів Xplane і Flight Gear [. Специфікації Atmega:

- Цифрові входи/виходи 54;
- Аналогові входи 16;
- Тактова частота 16 МГц.

Устаткування включає наступне:

- триосьовий гіроскоп;
- триосьовий акселерометр;
- Датчик барометричного тиску для визначення висоти;
- GPS модуль 10 Гц; -Моніторинг напруги акумулятора;
- Набір пам'яті 16 Мб для зберігання журналів польотів. Завдання будуть автоматично записані та експортовані в KML.
- Можливість автоматичного повернення до вихідної точки при втраті сигналу;
- Реле для включення і вимикання пристроїв за сценарієм;
- 3-осьовий компас (магнітометр) HMC5883L.

1.3.Опис об'єкта дослідження

БПЛА відноситься до класу «міні», оскільки має масу близько 4 кілограмів (рис. 1.5). Згідно з розрахунковими характеристиками, літак зможе перебувати в повітрі не менше двох з половиною годин, у режимі «зависання» – до 30 хвилин. Номінальна висота 1 кілометр.



Рис. 1.5. Дистанційно керований літак

Вихідні геометричні параметри досліджуваної ДПАС представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

Розмах крил, м	1.2
Довжина літака, м	0,875
Висота літака, м	0,24
Площа крила, м ²	2.02
Середня аеродинамічна довжина хорди, м	0°
Хрест V крило	13°
Кут крила	0,286
Площа Елеронів	NACA-W-5 68009[8]
Профіль крила	0,12
площа середньої секції, м ²	
Вага, кг	3.06

- Порожній літак	8
- максимальний зліт	Електричні
Тип двигуна	2.2
потужність, кВт	200
Максимальна швидкість, км/год	150
Крейсерська швидкість, км/год	400
Практична дальність, км	2500
Практична стеія, м	5 кг

За конструкцією БПЛА можна класифікувати як літак вертикального зльоту і посадки (VTOL) або англійський VTOL — Vertical Take-Off and Landing — літак, здатний злітати та приземлятися на нульовій горизонтальній швидкості за допомогою тяги двигуна. Принципова відмінність літаків VTOL від різних вертольотів полягає в тому, що в горизонтальному режимі польоту на крейсерській швидкості, як і в традиційних літаках, підйомна сила створюється нерухомим крилом.

Ця особливість техніки пілотування ставить перед льотчиком VTOL складні завдання. Крім того, в режимах висіння та перехідних режимів літаки VTOL, як правило, нестабільні, схильні до бокового ковзання, велику небезпеку в ці моменти становить можливий вихід з ладу підйомних двигунів. Така відмова часто була причиною аварій на серійних та експериментальних літаках VTOL. Також до недоліків можна віднести значно меншу вантажопідйомність і дальність польоту літака VTOL в порівнянні зі звичайним літаком, велику витрату палива у вертикальних режимах польоту, загальну складність і дорожнечу конструкції літака VTOL. Що ускладнює проектування та експлуатацію літака цієї конструкції.

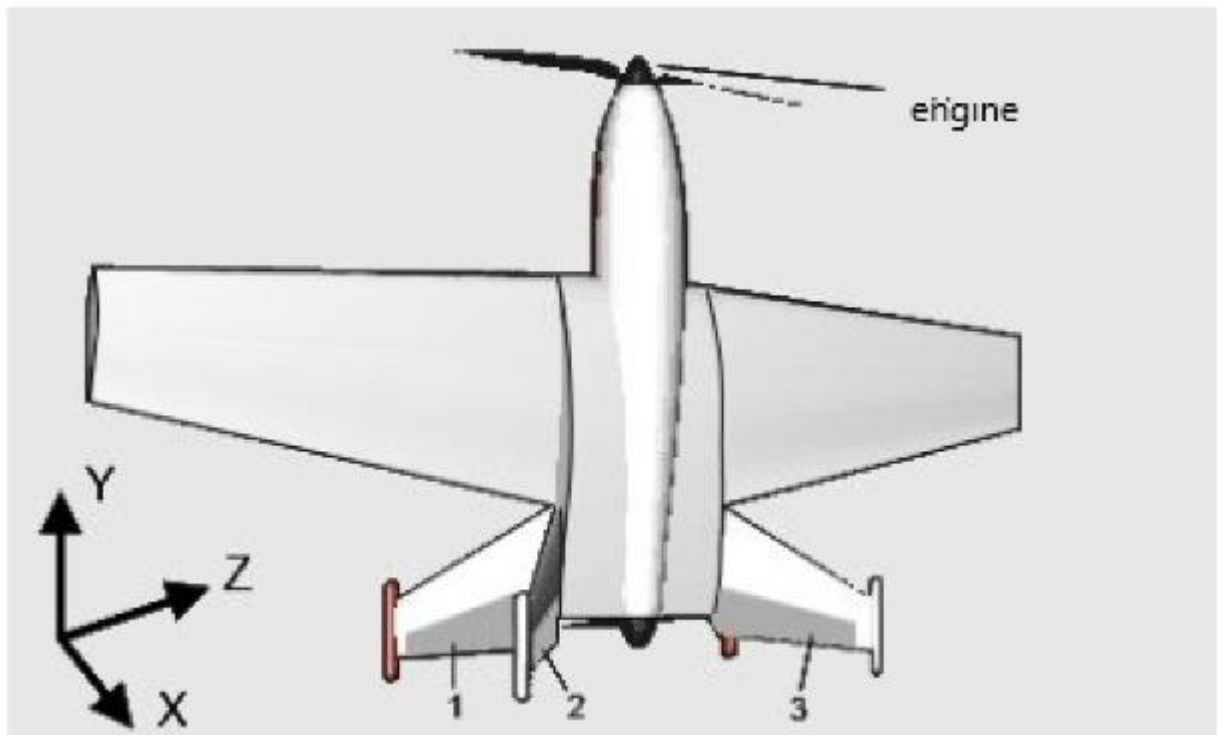


Рис. 1.6.Хвостовий блок RPAS (цифри 1-3 позначають елерони)

БПЛА, як і більшість літаків класичної конструкції, має два крила, з'єднані з фюзеляжем літака, які забезпечують підйомну силу. Однак ці крила не мають менших плечей.

У класичних схемах управління використовуються кермо, руль вильоту (аеродинамічне керування літаком, що обертається навколо поперечної осі) і елерони (аеродинамічні органи управління, симетрично розташовані на задній кромці консолей крил класичних літаків, які призначені для створення керуючих моментів навколо трьох ортогональних осей літака.

Хвостовий блок БПЛА складається з чотирьох крил-елевонів (аеродинамічних органів управління літаком, симетрично розташованих на задній кромці консолей крил) (рис. 1.6), розташованих перпендикулярно один до одного на рівній відстані один від одного, у вигляді хреста. Елевони відіграють роль елеронів при керуванні кутом крену (поворотом об'єкта навколо поздовжньої осі) літака, а ліфта - при регулюванні нормального перевантаження по тангажу (кутове переміщення літального апарата відносно головної поперечної осі) і ристання (кут повороту корпусу літака в горизонтальній площині). Таке керування літаком створює великі

труднощі для ручного пілотування, тому було запропоновано розробити алгоритм управління БПЛА.

1.4. Висновки

Протягом останніх 60 років надзвукові комерційні літаки збільшувалися і занепадали. Проблеми надзвукового польоту, здавалося б, звели надзвукові подорожі до прийняття бажаного за дійсне. Однак, поки SST залишався на задньому плані, високошвидкісні дослідження NASA, серед інших, продовжували розвиток надзвукових технологій, і сьогодні ми маємо інструменти, які значно перевершили часи Concorde.

Проблеми, пов'язані з тепловим бар'єром, слід вирішувати комплексно. Будь-який прогрес у цій сфері розсуває бар'єр для цього типу літаків на шляху до збільшення швидкості польоту, не виключаючи її як такої. Однак прагнення до ще більших швидкостей призводить до створення ще більш складних конструкцій та обладнання, які вимагають використання більш якісних матеріалів. Це помітно відбивається на масі, закупівельній ціні та витратах на експлуатацію та обслуговування літака.

РОЗДІЛ 2

ІНЕРЦІЙНА НАВІГАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНО ПІЛОТУВАННЯ ЛІТАЦІВ

2.1. Інерціальна навігаційна система (INS)

Інерціальна навігаційна система (INS) — це пристрій, який обчислює в реальному часі стан транспортного засобу, що рухається, за допомогою датчиків руху. Під станом ми маємо на увазі положення, швидкість та орієнтацію транспортного засобу. INS може використовуватися або як ізольований блок для надання безперервної інформації про стан пілота, або в поєднанні з системою керування автономним рухом. INS широко використовуються у військових і комерційних проектах і постійно розвиваються та переглядаються протягом кількох

десятиліть, але лише нещодавно ця технологія стала доступною для любителів. INS можна логічно розкласти на одиницю інерційного вимірювання (IMU), яка вимірює миттєві прискорення або швидкості в каркасі тіла, і систему оновлення стану, яка використовує значення IMU для оновлення положення, швидкості, і орієнтація транспортного засобу в навігаційній рамці. [16]

Існує кілька різних способів розробки IMU, і вибраний конкретний дизайн часто є рушійним фактором у вартості всього INS. Нещодавнє поширення датчиків MEMS дозволило конструювати недорогі IMU зі зниженою точністю. MEMS IMU зазвичай вимагають трьох ортогональних вимірювань прискорення і трьох вимірювань швидкості обертання навколо одних і тих самих ортогональних осей. Акселерометри та гіроскопи відповідно можуть проводити ці вимірювання. Обидва використовують мікрооброблені поверхневі конденсатори для вимірювання сил, пов'язаних із прискоренням чи ефектом Коріоліса.

Однією з наших основних цілей для INS було використання компонентів датчиків положення. Є багато варіантів для конкретних датчиків MEMS. Ми врахували наступні параметри, перш ніж прийняти рішення про конкретні датчики:

INS. Давайте перевіримо нижче кожен з цих переваг:

- Ряд вимірювальних осей. Багато виробників створили дво- або триосьові акселерометри та гіроскопи. Вони надзвичайно корисні, оскільки зменшують необхідну кількість мікросхем і підтримуючих пасивних компонентів, а також усувають помилки зміщення.
- Секаційні дошки. Щоб усунути труднощі пайки різних пакетів і прискорити час створення прототипу, датчики зручно встановлювати на комбайній платі. Ці плати також зазвичай забезпечують необхідні фільтруючі конденсатори.
- Напруга джерела. Вхідна напруга на датчики має бути в межах нашого джерела, і найзручніше, якщо вона точно дорівнює напрузі джерела. Напруга нашого первинного джерела становила 5 В від регулятора. Багато датчиків вимагають номінального входу 3,3 В або 3 В.

- Тип виходу. Датчики MEMS зазвичай забезпечують цифровий або пропорційний напрузі аналоговий вихід.
- Вартість. Ми хотіли, щоб витрати були якомога нижчими. За більш точні датчики можна заплатити сотні доларів, але вони виходять за межі нашого бюджету.
- Пропускна здатність. Різні датчики мають різну пропускну здатність. Для систем від середньої до дуже точної пропускну здатність є важливим фактором, який слід враховувати. Однак для нашого проекту це обмеження було менш важливим, ніж інші.
- Виробник. Не всі виробники пропонують однакову якість продукції та технічні характеристики. [17]

2.2. Застосування просторових датчиків

Пілотування літального апарата в сліпому польоті, тобто за відсутності видимості землі, можливе лише за наявності приладів, що вказують пілотне положення судна в просторі. Положення літального апарата в просторі визначається трьома основними кутами: креном, тангажом і справжнім курсом.

Масивний маховик (ротор), який швидко обертається навколо своєї осі симетрії, має властивості, відмінні від властивостей нерухомого маховика. Нові властивості проявляються лише в тому випадку, якщо вісь обертання маховика має здатність обертатися в просторі, тобто якщо маховик має більше одного ступеня свободи.

Пристрій, у якому ротор, що має більше одного ступеня свободи, швидко обертається навколо своєї осі симетрії, називається гіроскопом. Гіроскоп може мати два або три ступені свободи в залежності від того, як влаштована підвіска ротора.

Гіроскоп - пристрій, здатний реагувати на зміну орієнтації основи, на якій він встановлений, відносно інерційного простору.

Кутова швидкість прецесії може бути розрахована за формулою:

$$\omega_p = \frac{L}{H} \quad (1)$$

, де L – момент зовнішньої сили; H — кінетичний момент гіроскопа.

Акселерометр - це пристрій, який вимірює проекцію видимого прискорення на одну або кілька осей, які називаються осями чутливості. Під терміном уявне прискорення слід розуміти прискорення, обумовлене сумою всіх сил, прикладених до об'єкта, крім сили тяжіння. Термін в основному використовується в навігаційних системах. Якщо на акселерометр діятиме лише сила тяжіння, він вимірює прискорення вільного падіння, оскільки під дією цієї сили чутливий елемент відхилиться від стану рівноваги.

Існує кілька типів акселерометрів, які відрізняються чутливими елементами і принципами перетворення фізичної величини в електричний сигнал. Щоб краще зрозуміти принцип роботи акселерометра, його слід представити у вигляді вантажу, встановленого на пружинах. Принцип буде той же – відбувається зміщення чутливого елемента під дією будь-якої сили. На рис. 2.3. представлена блок-схема одновісного акселерометра [3].

Слід зазначити, що акселерометр можна зустріти в конструкції безпілотних пристроїв. За рахунок роботи датчика здійснюється контроль площини переміщення приладу. Це значно полегшує дистанційне керування, особливо якщо пристрій знаходиться поза полем зору. Наявність акселерометра дозволяє уникнути неправильного напрямку руху пристрою, а також дозволяє йому автоматично повертатися в початкову точку, якщо було втрачено управління або була натиснута відповідна кнопка.

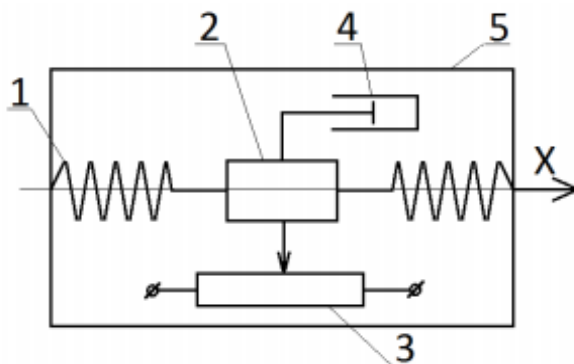


Рис. 2.3. Внутрішня конструкція одновісного акселерометра. Де 1 - пружина, 2 - чутливий елемент, 3 - потенціометр, 4 - демпфер, 5 - корпус

2.3. Класифікація аеродинамічних схем ДПАС

Сьогодні в Україні не існує загальноприйнятої класифікації ДПАС. Сайт Missiles.UA [5] спільно з Uav.UA [6] пропонує сучасну класифікацію ДПАС авіаційного типу, розроблену на основі підходів організації RPAS International [7] з урахуванням специфіки та ситуації російський ринок. Пропонована класифікація включає такі категорії:

- мікро- і міні ДПАС малої дальності (злітна маса до 5 кг, дальність 25 ... 40 км);
- легкі ДПЛА малої дальності (злітна маса 5 ... 50 кг, дальність 10 ... 70 км);
-
- легкі ДПАС середньої дальності (злітна маса 50 ... 100 кг, дальність 70 ... 150 км);
- середня ДПАС (злітна маса 100 ... 300 кг, дальність 150 ... 1000 км);
- середньоважка ДПАС (злітна маса 300. ..500 кг, дальність 70 ... 300 км);
- важкі ДПАС середньої дальності (злітна маса понад 500 кг, дальність 70...300 км);
- важкі ДПАС великої тривалості польоту (злітна маса понад 1500 кг, дальність близько 1500 км);
- бойовий безпілотний літак (злітна маса понад 500 кг, дальність дії близько 1500 км).

2.4.Визначення вимог до САУ

Під час управління рухом літака виникають аеродинамічні сили і моменти. Кути тангажу, ристання і тяги двигуна використовуються як регулюючі фактори, що дозволяють впливати на літак для контролю його руху.

БПЛА як об'єкт управління є складною динамічною системою через наявність великої кількості взаємопов'язаних параметрів і складних перехресних взаємодій між ними. Складні рухи часто поділяють на найпростіші види: кутові переміщення і

переміщення центру мас, поздовжнє і поперечне переміщення. Органи управління, які створюють контрольні дії, можна розділити на дві групи:

- поздовжні органи управління, що забезпечують переміщення в поздовжній площині;
- органи управління бічним рухом, що забезпечують необхідний характер зміни кутів крену, ковзання та рискання.

Такий розподіл органів управління є умовним, оскільки можна навести режими польоту, в яких органи управління мають перехресний вплив на інші рухи. Водночас такий підхід дає змогу виокремити основні функції окремих органів і каналів управління та самостійно вирішувати багато відносно простих і практичних завдань.

Для забезпечення повної автоматизації управління польотом необхідні чотири канали управління:

- канал управління двигуном (тягу);
- канал управління висотою звуку;
- канал управління креном;
- канал управління рисканням.

Канал управління двигуном контролює тягу відповідно до заданої програми польоту. Наступні три канали керування забезпечують необхідне кутове положення апарату в просторі.

Інформація про рух БПЛА надходить у відповідні канали, де формуються команди для рулів, елеронів і важеля управління двигуном, які забезпечують задане управління польотом. Стабільне керування польотом неможливо без створення автоматичної системи управління прийнятної якості.

Система управління літальним апаратом використовується для забезпечення польоту по заданій траєкторії шляхом створення необхідних аеродинамічних сил і моментів на крилі та оперенні [10]. Існує три види систем управління - ручні, напіваавтоматичні та автоматичні.

У системі ручного керування пілот-оператор, оцінюючи обстановку, формує керуючі імпульси і за допомогою командних важелів через пульти управління

відхиляє рульові поверхні, утримуючи їх у потрібному положенні. У напіваавтоматичній системі сигнали керування пілот-оператор перетворюються та посилюються різними типами автоматів і підсилювачів, забезпечуючи оптимальні характеристики стійкості та керованості літака.

Автоматичні системи забезпечують повну автоматизацію окремих етапів польоту, звільняючи оператора-пілота від безпосередньої участі в управлінні літаком. У процесі регулювання керування за кутами або висотою польоту літака в автоматичній системі потрібні значення кутів або висот надходять на вхід контролера, а вихідні змінні контролера будуть відхиляти кути елеронів уздовж кроку, канали крену та ристання.

Вимоги до системи управління:

- мінімальний час перехідного процесу,
- відсутність перельоту (аперіодичний процес).

Необхідно, щоб система управління забезпечувала задані параметри перехідного процесу.

Приводи є невід'ємною частиною систем автоматичного керування рухом LBLA. Включення в об'єкт керування математичних моделей цих пристроїв дає змогу врахувати їх динамічні та статичні властивості.

Виконавчі приводи рульових органів вибираються з умови, що їх навантажувальні характеристики забезпечують необхідну динаміку процесів керування, тобто вони необхідні для забезпечення руху при заданій швидкості навантаженого зовнішніми силами або зовнішніми моментами рульового органу.

На малюнку 2.4 показана спрощена схема регулювання каналів управління і тяги двигуна. U_1 і U_2 позначають відповідно вектори стану руху приводів, які є вхідними сигналами окремих каналів керування. На діаграмі також показано перехресні ефекти каналів керування. На основі отриманих даних керуючі регулюючі дії на літак надсилаються з САУ через вектори δ_1 і δ_2 .

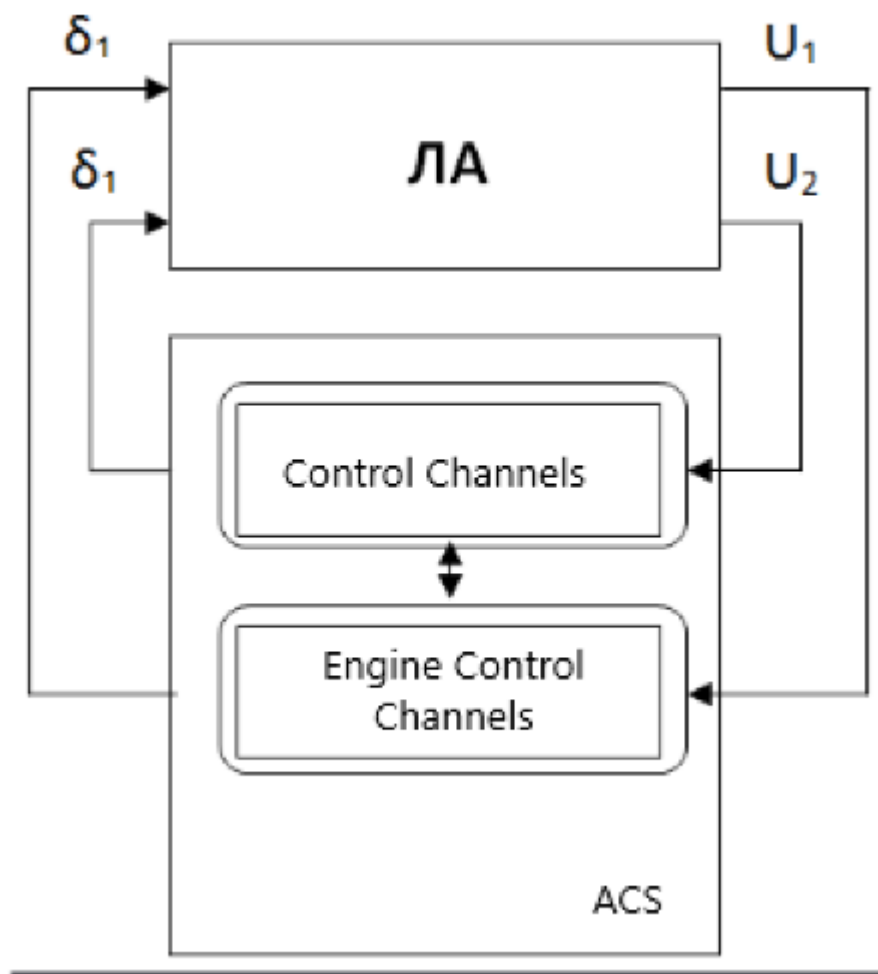


Рис. 2.4. Функціональна схема автоматичного керування польотом

Для БПЛА, що розглядається, класичне регулювання каналів управління не підходить через нестандартну конструкцію управління польотом. Існує потреба в трансляції стандартної системи управління через канали для управління чотирма елеронами. Виходячи з цього, постає проблема складання алгоритмів керування чотирма елевонами на каналах крену, тангажу та ристання. Основним завданням є створення повністю автоматичної САУ, яка буде регулювати відхилення поверхонь керування для польоту літака по бажаній траєкторії.

Вже зараз пілотовані літаки набагато дорожчі, ніж дрони, як з точки зору обслуговування, так і виробництва. У той час як звичайні літаки вимагають систем захисту та життєзабезпечення пілотів, безпілотний літальний апарат коштує мало. І останнє, але не менш важливе, це витрати на навчання та навчання пілотів, що займає набагато більше часу, ніж навчання оператора БПЛА.

У той час як пілотований літак необхідно посадити на величезну посадочну площадку, дрон вільно приземляється на невелику злітно-посадкову смугу не більше 600 метрів, не кажучи вже про мікродрони, які можуть сідати навіть на поріг або підвіконня.

Високі швидкості надзвукового польоту за своєю суттю викликають проблеми в конструкції літака, як для планера, так і для двигуна. Перш за все, аеродинаміка вимагає довгого, тонкого планера, щоб зменшити опір і зробити політ ефективним. Як згадувалося раніше, польоти з високими числами Маха підвищують температуру на планері через тертя, і відбувається утворення ударів. Оскільки надзвукові транспортні засоби рухаються на високих швидкостях і висотах, двигуни повинні забезпечувати більшу тягу, ніж комерційні літаки, мінімізуючи викиди NO_x, щоб бути життєздатними. Впускні отвори двигуна повинні бути аеродинамічно ефективними і повинні бути сконструйовані так, щоб обробляти необхідний масовий потік при надзвукових крейсерських і дозвукових швидкостях. Часто необхідний вхідний отвір зі змінною геометрією, особливо при круїзі вище 1,6 Маха.

Складність конструкції призводить до високих витрат на технологічність, що в поєднанні з витратами на паливо призводить до ціни на квитки на надзвукові подорожі десь близько 5-10 тисяч доларів. Нижче описано, що робиться для подолання проблем, які виникають при проектуванні надзвукового літака.

2.4. Висновок

В даний час досліджуються різні методи, включаючи нанесення ізоляційного шару з вогнетривких матеріалів методом плазмового напилення. Інші, які вважали перспективними підходи, не знайшли застосування. Серед іншого пропонувалося використовувати «захисний шар», створюваний наддувом газу на кожух, охолодження шляхом «пітіння» шляхом подачі на поверхню рідини з високою температурою випаровування через пористу оболонку, а також охолодження, створюване плавленням і захоплююча частина оболонки (абляційні матеріали).

РОЗДІЛ 3

НАДІЙНІСТЬ INS З ДАТЧИКОМ ПОЛОЖЕННЯ НА ДИСТАНЦІЙНО ПЛОТОВАНИХ СИСТЕМАХ ЛІТАКА

3.1. Калібрування датчиків

Похибкою гіроскопа є відхилення його головної осі «X» від заданого напрямку відносно землі. Технічний гіроскоп має помилки через:

- тертя в підшипниках осей карданної підвіски;
- дисбаланс ротора щодо осей обертання;
- добове обертання Землі навколо своєї осі.

Для усунення або зменшення похибок гіроскопів в гіроскопічних приладах застосовують слідкуючі пристрої, які повертають головну вісь у заданому напрямку, від якого вона відхилилася внаслідок прецесії. Такі пристрої називаються коригуючими.

Коли акселерометр працює, його показники вимірювання можуть бути перевищені. На це в першу чергу можуть вплинути вологість і температура навколишнього середовища. При цьому змінюються властивості матеріалів, що використовуються при виготовленні приладів. Інтерференція також створює зовнішнє магнітне поле. Щоб мінімізувати його вплив, конструкція датчика може мати різні технічні доповнення. Крім того, похибка вимірювання виникає внаслідок вібрації об'єкта вимірювання.

Калібрування акселерометра

Для калібрування акселерометра можна уникнути дорогого обладнання. Досить зняти кілька показань акселерометра, якщо на нього впливає тільки сила тяжіння.

Беручи до уваги початкове зміщення і чутливість датчика, всі значення, отримані з акселерометра, можна представити наступним чином:

$$A_1 = A_0 + K \cdot A_{\text{дійсне}} \cdot \sin(\alpha) \quad (2)$$

де - A_0 початковий зсув; K – коефіцієнт чутливості; Фактичне-фактичне значення прискорення, що діє на датчик, також становить $1g$; - кут між прискоренням струму та віссю чутливості датчика.

Завданням початкового калібрування є знаходження значень K . Щоб знайти ці значення, ми отримуємо показання з акселерометра в положеннях, де вісь чутливості послідовно повертається на кут 0° , 90° , 180° і 270° відносно оригіналу. Математично отримані значення можна записати в такому вигляді:

$$A_2 = A_0 + K \cdot A_{\text{дійсне}} \cdot \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{2}\right) \quad (3)$$

$$A_3 = A_0 + K \cdot A_{\text{дійсне}} \cdot \sin(\alpha + \pi) \quad (4)$$

$$A_4 = A_0 + K \cdot A_{\text{дійсне}} \cdot \sin\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right) \quad (5)$$

Враховуючи це та після додавання виразів (2), (3), (4) та (5) отримуємо:

$$A_0 = \frac{1}{4} \cdot (A_1 + A_2 + A_3 + A_4) \quad (6)$$

Щоб знайти коефіцієнт чутливості, ми використовуємо такі тригонометричні

тотожності: $\sin\left(\alpha + \frac{\pi}{2}\right) = \cos(\alpha)$; $\sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha) = 1$.

Записуючи суму квадратів різниць $A_1 - A_3$ і $A_2 - A_4$, отримуємо, що:

$$(A_1 - A_3)^2 + (A_2 - A_4)^2 = 4 \cdot K^2 \cdot A_{\text{дійсне}}^2 \cdot (\sin^2(\alpha) + \cos^2(\alpha)) \quad (7)$$

Де

$$K \cdot A_{\text{дійсне}} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(A_1 - A_3)^2 + (A_2 - A_4)^2} \quad (8)$$

Розглянутий спосіб калібрування акселерометра не вимогливий до початкової орієнтації осі чутливості, що значно спрощує його виконання. Описану послідовність дій необхідно виконати для кожної з осей чутливості акселерометра.

Комбінований модуль гіроскопа та акселерометра

За допомогою комбінованого модуля гіроскопа та акселерометра можна виміряти орієнтацію роботи в просторі за кутами повороту навколо трьох осей: поздовжньої осі «X» (кут нахилу), поперечної осі «Y» (кут нахилу), вертикальної вісь «Z» (кут).

Орієнтація осей X і Y щодо корпусу вказана на платі датчика. «Стрілка» повороту вказує в бік збільшення кута. Тут «Z» спрямована вертикально вгору відносно «лицьової» сторони плати, на якій розташовані всі компоненти. Кут повороту навколо осі збільшується при повороті за годинниковою стрілкою.

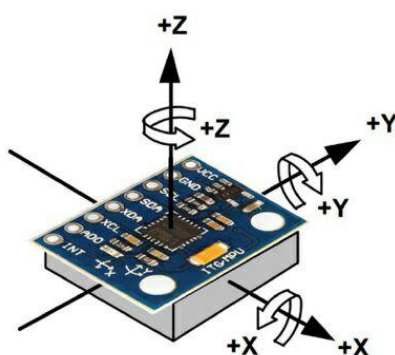


Рис. 3.1. Орієнтація осей акселерометра

Завдяки тому, що датчик поєднує два прилади (гіроскоп і акселерометр), він може видавати свідчення на основі кожного з них (режими «тільки акселерометр» і «тільки гіроскоп») або комбінуючи ці індикації для усереднення та стабілізації (режим «Усереднений »)

Режим лише акселерометра: кути вимірюються лише за допомогою акселерометра на основі вимірювання вектора тяжіння.

Плюси: немає накопичених помилок часу.

Мінуси: показання вкрай нестабільні, чутливі до вібрації і поперечного прискорення.

Оскільки неможливо визначити обертання навколо вертикальної осі Z на основі інформації про положення гравітаційного вектора, ви завжди отримаєте «0», коли спробуєте прочитати вісь Z в режимі «лише акселерометр». Визначення обертання навколо Z можливе лише в режимах «тільки гіроскоп» і «усереднений».

Режим «Тільки гіроскоп»: кути вимірюються за допомогою гіроскопа шляхом вимірювання кутових швидкостей та інтегрування їх у часі.

Плюси: показання стабільні і менш сприйнятливі до випадкових прискорень і вібрацій.

Мінуси: Помилка накопичується з часом. Показання залежать від інтервалів часу між вимірюваннями. Чим частіше проводяться вимірювання, тим точніший результат.

«Середній» режим (рекомендований у більшості випадків): показання обох датчиків програмно об'єднуються, взаємно усуваючи недоліки один одного. Показання акселерометра, в яких помилка не накопичується з часом, «фільтруються» показаннями гіроскопа, тому стрибки показань при випадкових прискореннях і вібраціях ігноруються.

Плюси: показання стабільні і менш сприйнятливі до випадкових прискорень і вібрацій.

Мінуси: вісь Z все одно накопичує помилку, оскільки використовує тільки гіроскоп.

Фільтр Калмана

Фільтр Калмана, ймовірно, є найпопулярнішим алгоритмом фільтрації, який використовується в багатьох галузях науки і техніки. Завдяки своїй простоті та ефективності його можна знайти в приймачах GPS, зчитувачах датчиків, системах керування тощо.

Будь-який вимірювальний прилад має деяку похибку, на нього може впливати велика кількість зовнішніх і внутрішніх впливів, що призводить до того, що інформація з нього виходить зашумлена. Чим гучніший шум, тим складніше обробити таку інформацію.

Фільтр – це алгоритм обробки даних, який усуває шум і непотрібну інформацію. У фільтрі Калмана можна апріорно задати інформацію про природу системи, взаємозв'язок змінних і на цій основі побудувати більш точну оцінку, але навіть у найпростішому випадку (без введення апріорної інформації) вона дає відмінну результати.

Для формування оптимальної оцінки стану фільтр Калмана використовує динамічну модель системи (наприклад, фізичний закон руху), відомі керуючі дії та безліч послідовних вимірювань. Алгоритм складається з двох повторюваних фаз: прогнозування та коригування. Перший розраховує прогноз стану в наступний раз (з урахуванням неточності їх вимірювання). У другому нова інформація від датчика коригує прогнозоване значення (також враховуючи неточність і шум цієї інформації) (рис. 3.2).

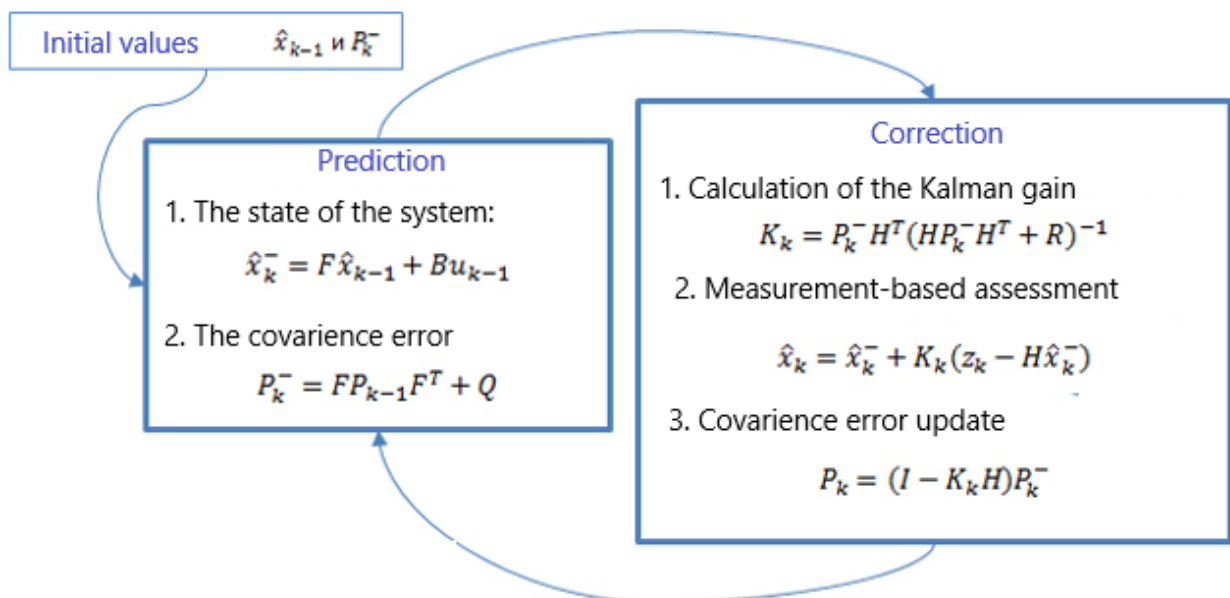


Рис. 3.2. Алгоритм фільтра Калмана

Рівняння представлені в матричному вигляді, якщо ви не знаєте лінійної алгебри - не проблема, то буде спрощений варіант без матриць для випадку з однією змінною. У разі однієї змінної матриця вироджується в скалярні значення.

Розберемося спочатку в позначенні: нижній індекс вказує час: k - поточний, $(k-1)$ - попередній, знак «мінус» у верхньому індексі вказує, що це передбачене проміжне значення.

Розглянемо схему фільтра Калмана для його дискретної форми (рис. 3.4).

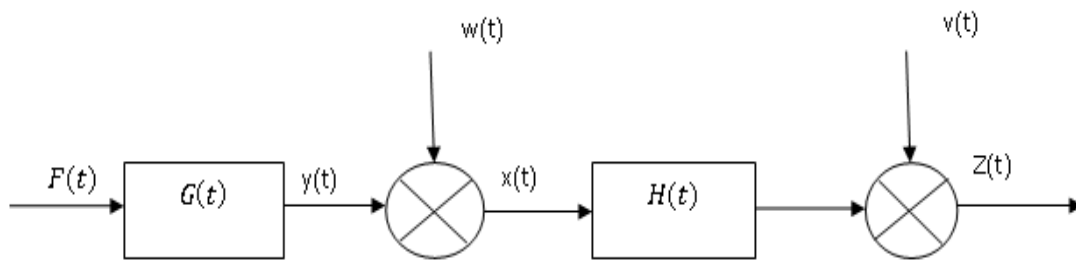


Рис. 3.4. Фільтр Калмана для дискретної форми

```

Z :=
y ← 0
x1 ← 0
Q ← 0.1
R ← 0.1
z ← dnorm(rnd(2·√Q), y, √Q) + dnorm(rnd(2·√R), 0, √R)
P ←  $\frac{Q \cdot R}{Q + R}$ 
x1 ←  $\frac{Q \cdot z + R \cdot x1}{Q + R}$ 
T ← 5
[ for k ∈ 1..100
  x1 ←  $1 - \exp\left(\frac{-1}{T}\right) + x1 \cdot \exp\left(\frac{-1}{T}\right)$ 
  P ←  $P - \frac{P^2}{P + Q + R}$ 
  y ←  $1 - \exp\left(\frac{-1}{T}\right) + y \cdot \exp\left(\frac{-1}{T}\right)$ 
  z ← dnorm(rnd(2·√Q), y, √Q) + dnorm(rnd(2·√R), 0, √R)
  x1 ←  $\frac{(P \cdot z + R \cdot x1)}{P + R}$ 
  P ←  $P \cdot \frac{R}{P + R}$ 
  Zk ← z
  Yk ← y
  X1k ← x1
k
]
Z

```

Рис. 3.5. Список Mathcad з обчисленням фільтра Калмана

G (t) блок, робота якого описується лінійними співвідношеннями. На виході блоку формується не випадковий сигнал y (t). Цей сигнал підсумовується з

шумом $w(t)$, що виникає всередині контрольованого об'єкта. В результаті цього додавання отримуємо новий сигнал $x(t)$. Цей сигнал є сумою не випадкового сигналу та шуму і є випадковим сигналом. Далі сигнал $x(t)$ перетворюється лінійним блоком $H(t)$, підсумовуючи з шумом $v(t)$, розподіленим інакше, ніж $w(t)$ закону. На виході лінійного блоку $H(t)$ отримуємо випадковий сигнал $z(t)$, який визначає не випадковий сигнал $y(t)$. Слід зазначити, що лінійні функції блоків $G(t)$ і $H(t)$ також можуть залежати від часу.

Будемо вважати, що випадкові шуми $w(t)$ і $v(t)$ є випадковими процесами з дисперсіями Q , R і нульовими математичними очікуваннями. Сигнал $x(t)$ після лінійного перетворення в блоці $G(t)$ розподіляється в часі за нормальним законом. Враховуючи вищевикладене, співвідношення для вимірюваного сигналу буде виглядати так:

$$z(t) = H(x(t)) + v(t)$$

Моделювання та фільтрація за алгоритмом фільтра Калмана можна виконувати в програмному середовищі Mathcad. Приклад переліку наведено на рис. 3.5.

Розподіл Вейбулла

На рис. 3.6 зображено відповідність даних про відмову мікродвигуна до моделі розподілу Вейбулла. Отримана пряма підгонка вказує на те, що розподіл Вейбулла є розумною моделлю для циклів до відмови цих пристроїв. Підгонка Вейбулла дає оцінку «характерного терміну служби» $\alpha = 66$ мільйонів циклів (характерний термін служби визначається як момент часу, коли $(1-e^{-1})$ очікується, що $100\% = 63,2\%$ деталей вийдуть з ладу), і оцінка параметра форми $\beta = 0,22$. Параметр форми, по суті, є мірою дисперсії, а нижчі значення відповідають більшому розкиду за логарифмічний час життя. Типові значення β для готових до виробництва електронних і механічних виробів лежать у діапазоні від 0,5 до 5 [28].

Слід очікувати значно широкій дисперсії в термінах служби для мікродвигунів, оскільки в цій новонародженій технології все ще існує значний процес навчання.

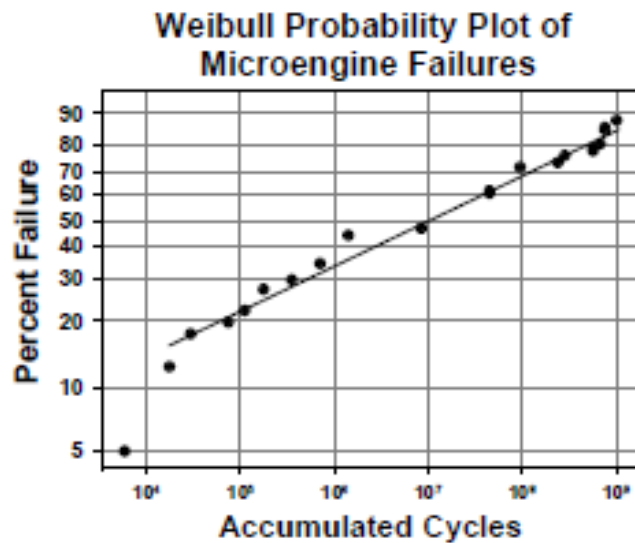


Рис. 3.6. Дані про несправність мікродвигуна відповідають розподілу Вейбулла

Логнормальний розподіл

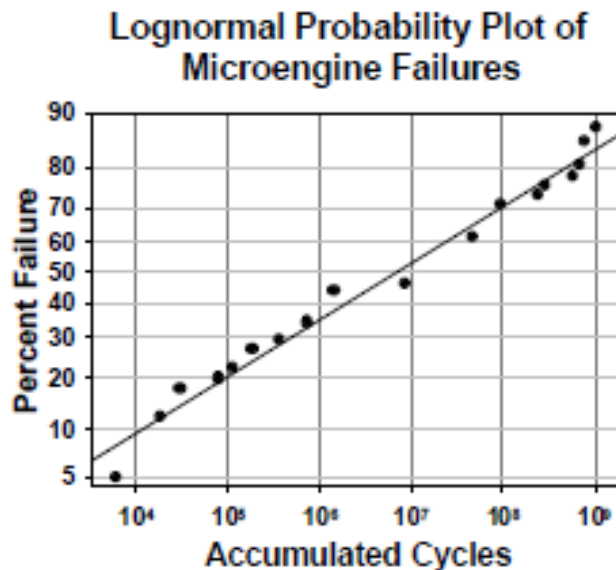


Рис. 3.7. Дані про несправність мікродвигуна відповідають логнормальному розподілу

На рис. 3.7 зображено відповідність даних про відмову мікродвигуна до моделі логнормального розподілу. Отримана пряма підгонка вказує на те, що логнормальний розподіл також є розумною моделлю. Логнормальна підгонка призводить до оцінки середнього терміну служби $t_{50\%} = 7\,800\,000$ циклів, що

означає, що очікується, що 50% деталей вийдуть з ладу через 7 800 000 циклів. Оцінка для параметра логнормальної форми $s = 5,2$. У цьому випадку відносно високе значення логнормального стандартного відхилення знову вказує на великий розкид у часі життя журналу. Типові напівпровідникові вироби мають логарифмічні стандартні відхилення в діапазоні від 0,1 до 1,0[28].

У випадку відповідності логнормального розподілу непросто визначити, зменшується частота відмов, постійно чи зростає, оскільки логнормальний розподіл може виявлятися все це в одному унімодальному випадку. За фізичним аргументом, розумно очікувати, що перехід від дитячої смертності (зменшення частоти відмов) до зношування (збільшення частоти відмов) буде пов'язано зі зміною механізму фізичної відмови, і бімодальність буде спостерігатися у відповідності розподілу. Тим не менш, збільшення та зменшення частоти відмов неможливо легко розрізнити на графіку логнормальної ймовірності.

Розгляньте логнормальний графік більш уважно, можна спостерігати бімодальний розподіл, як показано на рис. 3.8. Це типова «формована» крива, яка передбачає наявність двох популяцій. Схили еквівалентно мають на увазі один домінуючий вид відмови. Верхня популяція мала середній час до відмови $t_{50\%}$ від $2,5 \times 10^8$ із сигмою 0,8. Нижча популяція мала середній час до відмови $1,4 \times 10^5$ із сигмою 1,0. Подальше вивчення даних показало, що більшість товстих вигинів були попередніми поломками. Тонкі вигини були населенням, яке тривало довше. Це буде пояснено пізніше.

3.2. Етапи процесу безпеки системи

Основною метою системи безпеки є запобігання нещасним випадкам. Проактивне виявлення, оцінка та усунення або контроль загроз, пов'язаних з безпекою, до прийнятних рівнів, може забезпечити запобігання нещасним випадкам. Небезпека — це умова, подія або обставина, які можуть призвести до незапланованої або небажаної події чи сприяти її виникненню. Ризик — це вираження впливу небажаної події з точки зору тяжкості події та її ймовірності.

Протягом цього процесу визначаються небезпеки, аналізуються, оцінюються, визначаються пріоритети, а результати документуються для прийняття рішень

Для успіху будь-яких зусиль щодо безпеки системи має бути прихильність з боку керівництва. Повинна існувати взаємна довіра між керівниками програм і управлінням безпеки системи. Керівники програм повинні бути впевнені, що рішення щодо безпеки приймаються з професійною компетентністю. Управління безпекою системи та інженери повинні знати, що їхні дії отримають повну увагу та підтримку з боку керівництва програми. Персонал з безпеки повинен мати чітке розуміння завдання системи безпеки, а також повноваження та ресурси для виконання завдання. Особи, які приймають рішення, повинні повністю усвідомлювати ризик, на який вони йдуть, коли приймають рішення. Вони повинні керувати ризиками безпеки програми. Для ефективного управління ризиками безпеки керівники програм повинні:

- Переконайтеся, що компетентні, відповідальні та кваліфіковані інженери призначені в програмних офісах та підрядних організаціях для управління програмою безпеки системи.
- Переконайтеся, що менеджери з безпеки системи розміщені в організаційній структурі, щоб вони мали повноваження та організаційну гнучкість для ефективної роботи.
- Переконайтеся, що всі відомі небезпеки та пов'язані з ними ризики визначені, задокументовані та відслідковані як програмна політика, щоб особи, які приймають рішення, були обізнані про ризики, які припускаються, коли система починає працювати.
- Вимагати, щоб оцінка ризику для безпеки була представлена як частина переглядів програми та на етапах прийняття рішень. Прийміть рішення щодо прийнятності ризику для програми та візьміть на себе відповідальність за це рішення.

Сучасне управління безпекою, тобто «управління безпекою системи» - використовує методи теорії систем, статистичного аналізу, поведінкових наук та концепції постійного вдосконалення. Двома елементами, які вирішують для

цього сучасного підходу, є хороша культура безпеки організації та залучення людей. [29]

Створення робочих груп з безпеки системи, груп аналізу та груп продуктів забезпечує позитивне культурне залучення, коли є консенсусні зусилля щодо проведення аналізу небезпеки та управління програмами безпеки системи.

Програма безпеки системи використовує моделі для опису досліджуваної системи. Ці моделі відомі як модель 5М і модель SHELL. Хоча існує багато інших доступних моделей, ці дві визнають взаємозв'язок та інтеграцію апаратного забезпечення, програмного забезпечення, людини, середовища та процедур, притаманних системам FAA.

Опис системи має як широту, так і глибину. Ширина опису системи відноситься до кордонів системи. Глибина відноситься до рівня деталізації опису. Загалом рівень деталізації опису змінюється пропорційно широті системи. Для такої широкої системи, як Національна система повітряного простору (NAS), наш опис буде дуже загальним за характером з невеликою кількістю деталей щодо окремих компонентів. З іншого боку, проста система, така як клапан у конструкції шасі, може включати багато деталей для підтримки оцінки.

- Місія. Місія є метою або центральною функцією системи. Це є причиною того, що всі інші елементи з'єднані разом.
- Людина. Це людський елемент системи. Якщо система потребує людей для експлуатації, обслуговування або встановлення, цей елемент слід враховувати в описі системи.
- Машина. Це апаратний і програмний (включаючи мікропрограмне забезпечення) елемент системи.
- Менеджмент. Управління включає процедури, політику та правила, пов'язані з експлуатацією, обслуговуванням, встановленням та виведенням системи з експлуатації. [30]

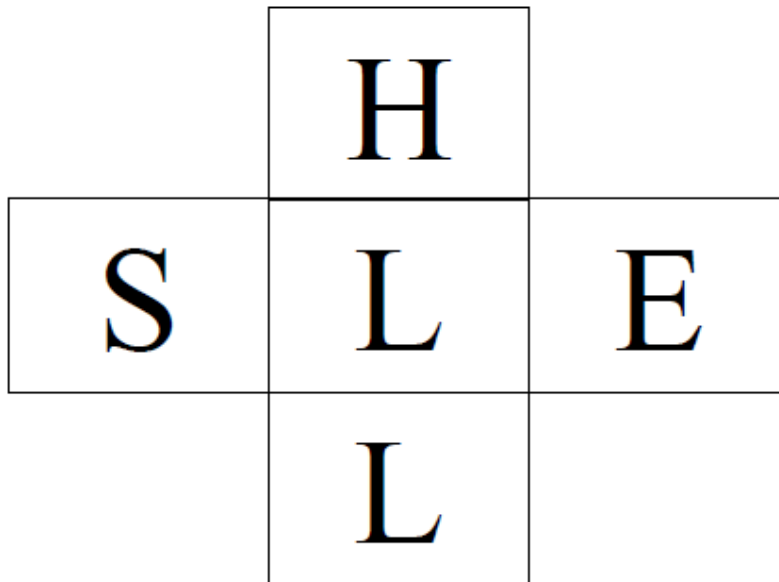


Рис. 3.11. SHELL модель системи

S= Програмне забезпечення (процедури, символіка тощо).

H= апаратне забезпечення (машина)

E= Навколишнє середовище (експлуатаційне та навколишнє)

L= Живий посуд (людський елемент)

У моделі SHELL відповідність або невідповідність блоків (інтерфейсу) настільки ж важлива, як і характеристики, описані самими блоками. Ці блоки можуть бути переупорядковані відповідно до потреби для опису системи. З'єднання між блоками вказує на інтерфейс між двома елементами.

Кожен елемент системи слід описати як функціонально, так і фізично, якщо це можливо. Функція визначається як дія або мета, для виконання якої призначена система, підсистема або елемент. Обидві моделі описують інтерфейси. Ці інтерфейси бувають у багатьох формах. [30]

Вимоги безпеки системи повинні відповідати іншим вимогам програми. Збалансована програма намагається оптимізувати безпеку, продуктивність і вартість. Баланс програми безпеки системи є продуктом взаємодії між безпекою системи та іншими трьома знайомими програмними елементами: вартість, графік і продуктивність, як показано на малюнку 3-1. Програми не можуть дозволити собі нещасні випадки, які завадять досягненню цілей основної місії. Однак ми також не можемо дозволити собі системи, які не можуть працювати

через необґрунтовані та непотрібні вимоги безпеки. Безпека має бути поставлена в належній перспективі. Правильний баланс безпеки не може бути досягнутий, якщо прийнятні та неприйнятні умови не будуть встановлені досить рано в програмі, щоб дозволити вибрати оптимальне проектне рішення та/або експлуатаційні альтернативи.

3.3. Військові та авіаційні стандарти

Було визначено три вирішальні області як проблеми для інтеграції ДПАС у європейську систему цивільної авіації.

По-перше, загальні концепції інтеграції дистанційно пілотованих літаків у європейський повітряний простір, включаючи розвиток концепції U-space. По-друге, сфера правового регулювання, без якої неможливе функціонування ДПАС як частини європейської авіаційної системи. У цьому контексті виправданим є продовження реалізації Дорожньої карти для інтеграції цивільних дистанційно пілотованих авіаційних систем до Європейської авіаційної системи, запропонованої ЄК у 2013 році. Також актуальними є пропозиції EASA щодо категоризації ДПАС та виконання польотів на основі щодо підходу ризику, який є новим рішенням. Обговорення може виникнути через перехід усіх регуляторних повноважень до EASA, без урахування специфіки національних систем. По-третє, соціальна сфера. Повна інтеграція ДПАС у європейську систему цивільної авіації вимагає соціального визнання повітряних операцій із ДПВС. Незважаючи на беззаперечні соціальні переваги використання ДПАС, зокрема у забезпеченні безпеки та громадського порядку, необхідно буде вирішувати питання, пов'язані із сприйняттям ДПВС громадськістю, зокрема, конфіденційність та захист даних, правоохоронні органи, пов'язані із застосуванням ДПВС, відповідальності перед третіми особами та вимоги страхування RPAS.

Коло завдань використання ДПВ у цивільних цілях є дуже широким і має тенденцію до подальшого швидкого розширення: моніторинг навколишнього

середовища, дистанційна діагностика, пошуково-рятувальні роботи, охорона об'єктів та інші.

Швидкий прогрес у створенні безпілотних авіаційних систем різного призначення значною мірою зумовлений двома факторами (економічними та науково-технічними):

- значне збільшення витрат на експлуатацію пілотованої авіації в мирний і воєнний час;
- загальний науково-технічний прогрес і розвиток обчислювальної техніки.

На продуктивність, спостережливість і доступність більшості військових транспортних засобів впливає фізика рідини або безпосередньо від їх взаємодії з навколишнім повітрям/водою, або опосередковано через багато систем на основі рідини, які вони включають. Здатність маніпулювати потоком рідини для підвищення ефективності або продуктивності має величезне технологічне значення і в даний час є однією з найпопулярніших тем у гідродинаміці. Потенційні переваги контролю потоку включають покращену продуктивність і маневреність, доступність, збільшення дальності та корисного навантаження, а також відповідність екологічним вимогам. Намір контролю потоку може полягати в тому, щоб затримати/випередити перехід, придушити/посилити турбулентність або запобігти/сприяти поділу.

Незважаючи на більш ніж століття інтенсивних досліджень, турбулентність залишається в основному загадкою, яка аналітично недоступна, але практично дуже важлива. Загадки турбулентності тільки зараз розв'язуються за допомогою фізичних і чисельних експериментів, що є далеко не тривіальним завданням при високих числах Рейнольдса, що цікавить аерокосмічного інженера. Контролювати практичний турбулентний потік для досягнення бажаного ефекту, такого як зниження опору, підвищення підйому або зниження шуму, є дуже складним завданням. Пасивні методи контролю, незважаючи на те, що вони завжди є кращими, загалом обмежені у своїй корисності. Придушення грубої сили або приборкання турбулентності за допомогою активних

енергоспоживаючих пристроїв управління завжди можливо, але покарання за це часто перевищує будь-яку потенційну економію. Завдання полягає в тому, щоб досягти бажаного ефекту з мінімальними витратами енергії, використовуючи властиві нестабільності всередині рідинних структур для посилення керуючих входів.

3.4.Висновок

Більшість надзвукових літаків, у тому числі багато військових винищувачів, призначені для проведення більшої частини свого польоту на дозвукових швидкостях і лише для перевищення швидкості звуку протягом коротких періодів, наприклад, при перехопленні ворожого літака. Менше число, наприклад Lockheed SR-71 Blackbird. Літак-розвідник і надзвуковий авіалайнер Concorde були розроблені для безперервного крейсерського польоту зі швидкістю вище швидкості звуку, і з цими конструкціями проблеми надзвукового польоту є більш серйозними.

MEMS сприятиме розвитку цих нових військових можливостей. Такі можливості дозволять впровадити недорогу, «високу» функціональність у військові системи, тим самим продовживши їх продуктивність та термін служби. Приклади таких нових можливостей включають розробку повних інерціальних навігаційних блоків на одному чіпі. Вони мають розподілені системи зондування для моніторингу, спостереження та контролю. Ці можливості будуть реалізовані за допомогою розробок цивільних застосувань, які, якщо необхідно, будуть вдосконалюватися для задоволення військових потреб Пропорції обох у військовому середовищі навряд чи будуть нижчими, і, швидше за все, будуть ще вищими. Упаковка нерозривно пов'язана з екологічними характеристиками і часто є тим, що стоїть між делікатною та складною мікроструктурою та ворожим світом навколо неї. Правильно розроблений і реалізований, він може захистити мікросистему від найгірших надмірностей військового застосування. Важливо, що для існуючих продуктів MEMS (наприклад, розроблених спеціально для автомобільного використання),

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО СЕРЕДОВИЩА

Охорона довкілля стає комплексною проблемою, що визначається складністю системи, що поєднує природу, суспільство та виробництво. Поряд з екологічними завданнями вона вирішує й соціально-економічні проблеми – покращення умов життя людини, збереження її здоров'я. Очевидно, що для захисту довкілля необхідний письмовий, науково обґрунтований підхід. Будь-який технічний процес так чи інакше впливає на навколишнє середовище, забруднюючи його.

У цій дисертації йдеться про вплив людського фактора на експлуатацію та обслуговування дистанційно керованих авіаційних систем. Крім того, слід зазначити, що проблема ЕМІ тісно пов'язана з однією з найпопулярніших моделей людського фактора, якою є модель SHELL. У виробничих приміщеннях джерелами електромагнітного випромінювання є неекрановані робочі елементи високочастотних установок (дроселі індуктивності, конденсатори, високочастотні трансформатори, фідерні лінії, конденсаторні батареї, котушки генератора тощо). При роботі ВЧ, УВЧ, СВЧ передавачів на радіо- і телецентрах джерелами електромагнітного випромінювання є генератори високої частоти, антенні перемикачі, пристрої для складання ємностей електромагнітного поля, зв'язок (від генератора до антенного пристрою), антени.

Складність даної проблеми можна проаналізувати на прикладі інтегральних мікросхем, де виявляється ряд факторів, що впливають на навколишнє середовище. Елементи схеми змонтовані на друкованих платах з фольгованого скловолокна. При його переробці неминучі відходи: шматки дощок, порошкоподібний пил, який, потрапляючи в ґрунт, зберігається досить

довго. А пари, що утворюються при травленні, згубно впливають на працівників, зайнятих на виробництві, і викидаються в навколишнє середовище.

Під час роботи ЕОМ елементи його конструкції виділяють тепло (нагрівають ланцюги, транзистори, резистори), в результаті чого нагріваються захисні лаки, фарби, створюючи в атмосфері токсичні речовини, у вигляді летких фракцій. Це лише поверхневий аналіз одного з компонентів комп'ютера.

4.1 Опис електромагнітних перешкод

За останні два десятиліття відбулися величезні зміни у впливі електромагнітних перешкод (ЕМІ) на здоров'я людини, особливо під час обслуговування будь-якої авіаційної системи. Настільки важливо, що вивчення ефекту ЕМІ є необхідним для всіх аеронавігаційних інженерів, які відповідають вимогам EASA PART 66 і описані в Модулі 5, тема 5.1 Електромагнітне середовище .

В Україні на підприємствах, що займаються обслуговуванням авіаційної техніки, наприклад «техніки МАУ», мінімальні вимоги безпеки та охорони здоров'я до персоналу при використанні засобів індивідуального захисту на робочому місці з подальшим. Крім того, врегульований наказом від 29.11.2018 № 1804, він набирає чинності з 15 січня 2019 року, опублікований Мінсоцполітики України. Про затвердження Мінімальних вимог техніки безпеки до працівників, які використовують засоби індивідуального захисту на робочих місцях.

Електромагнітні перешкоди (ЕМІ) — це збурення, створене зовнішнім джерелом, яке впливає на електричний ланцюг за допомогою електромагнітної індукції, електростатичного зв'язку або провідності.

Електромагнітні поля шкідливі для здоров'я обслуговуючого персоналу. Низькочастотні, радіочастотні та мікрохвильові частоти можуть викликати

протікання струму через тіло людини. Цей потік струму генерує тепло і викликає термічні травми. Природні низькочастотні поля — це статичні електричні поля між іоносферою та Землею та статичні електромагнітні імпульси, що виникають від блискавки. Ці поля тримали живих істот у невидимій комірці ЕМ хвиль та імпульсів. Наслідки для здоров'я, які може бути наслідком ЕМ-випромінювання, майже напевно є найскладнішими та найважчими для розуміння з усіх наслідків ЕМ-випромінювання.

Ступінь опромінення працівників залежить від кількості розміщених у приміщенні передавачів (до 20 в окремих зонах, радіо- та телецентрах), їх потужності, ступеня екранування, розміщення окремих блоків всередині та зовні приміщення.

Електромагнітне випромінювання є потужним фізичним подразником. Різні організми мають різну чутливість до природних і антропогенних (штучних) ЕМВ: характер і вираженість біологічного впливу залежать від параметрів ЕМВ і рівня організації біосистеми. Міліметрові хвилі ЕМВ впливають переважно на рецепторний апарат, більші довжини хвилі впливають на центральну нервову систему.

Радіочастотне випромінювання по-різному поглинає різні органи і системи організму: істотне значення мають їх форма і лінійні розміри, орієнтація відносно джерела ЕРС. Первинні зміни функцій центральної нервової системи та пов'язані з ними порушення викликають біологічні ефекти на рівні органів і систем. Захисно-приспосувальні реакції, що виникають у людини під впливом електромагнітного випромінювання, неспецифічні. Часто адаптаційними реакціями є збудження центральної нервової системи та підвищення рівня метаболізму.

Ефекти впливу на біологічні тканини людини електромагнітного випромінювання низькочастотного радіочастотного діапазону поділяють на теплові та нетеплові. Тепловий ефект може проявлятися у людини або підвищенням температури тіла, або вибірково (вибірково) нагріванням

окремих органів, терморегуляція яких утруднена (жовчний і сечовий міхур, шлунок, кишечник, яєчка, кристали, склоподібне тіло тощо). Дія електромагнітного випромінювання на біологічний об'єкт проявляється при нижчій інтенсивності випромінювання за його теплові порогові значення, тобто нетеплових ефектів або специфічної дії радіохвиль, що визначається інформаційним аспектом електромагнітного випромінювання, який є сприймається джерелом. виразка. Очевидно, що інформаційні процеси також відіграють роль у тепловій дії електромагнітного поля на організм. Крім того, дія малоінтенсивного електромагнітного випромінювання призводить до локального нагріву – мікронагріву.

Умовно виділяють наступні механізми біологічної дії ЕМП:

- безпосередній вплив на тканини та органи, коли змінюється функція центральної нервової системи та пов'язана з цим 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.

Тому дія електромагнітного випромінювання носить системний характер і потребує відповідного системного захисту від нього.

Біологічна дія електростатичного поля на людину залежить від його тривалості, форми струмопровідних частин обладнання, розташування робочого місця відносно джерела випромінювання, кліматичних умов і т. д. Експериментально на тваринах встановлено, що ЕСП впливає на нервову систему, серцево-судинної, ендокринної та інших систем організму. Зокрема, повідомлялося про зміни електричної активності кори головного мозку та умовно-рефлекторної діяльності. Електростатичне поле викликає зміни артеріального тиску, що мають нестабільний і фазовий характер, швидкість згортання крові, вміст сульфгідрильних груп у крові.

Вплив ЕСФ на працівників призводить до проявів дратівливості, головного болю, порушення сну, зниження апетиту, порушення загальної функції центральної нервової системи, зміни частоти серцевих скорочень (найчастіше у вигляді брадикардії) і вуглеводів, ліпідів, білків і мінеральних речовин. метаболізму, а також зниження активності ферментів.

4.2. Електромагнітні перешкоди під час технічного обслуговування

У виробничих умовах електромагнітне випромінювання характеризується різноманітністю режимів генерації та варіантів дій працівників (випромінювання в ближній зоні, індукційній зоні, загальне та місцеве, яке часто діє разом з іншими несприятливими факторами зовнішнього середовища). Випромінювання може бути ізольованим (від одного джерела ЕМВ), комбінованим (від кількох джерел ЕМВ одного діапазону частот), змішаним (від кількох джерел ЕМВ різних діапазонів частот) і комбінованим (коли одночасно діє інший несприятливий фактор). Ефект ЕМР може бути безперервним або переривчастим. Останні, у свою чергу, можуть бути періодичними та аперіодичними.

Електромагнітне поле негативно впливає на організм людини. У радіочастотному діапазоні розрізняють дві форми електромагнітного випромінювання – гостру та хронічну, яка в свою чергу поділяється на три стадії: легку, середню та важку. Хронічна форма характеризується функціональними розладами нервової, серцево-судинної та інших систем організму, що проявляється астеничним синдромом, і вегетативними розладами, переважно серцево-судинної системи.

Особи, які перебувають під впливом хронічної ЕМВ, частіше (в 1,9 рази чоловіки і в 1,5 рази жінки), ніж ті, хто не зазнає поганого самопочуття, включаючи головний біль (в 1,5 рази у чоловіків і в 1,3 рази у жінок), біль у серці (в 1,8 рази у чоловіків і в 1,5 рази у жінок).), серцебиття, загальна слабкість, сонливість, шум у вухах, парестезії тощо.

Слід зазначити, що підвищена стурбованість ЕМВ. Під час технічного обслуговування в останні роки, як це відбувається через наступний і регламентований «Про затвердження державних санітарних правил і норм при роботі з електромагнітним полем Джерела»:

1. Більша залежність від електричних та електронних систем для подальшого безпечного польоту.
2. Зменшення електромагнітного екранування за рахунок більшого використання композиційних матеріалів.
3. Підвищена сприйнятливість електричних та електронних систем до НІRF за рахунок збільшення швидкодії шини даних і процесора, інтегральних схем і карт більшої щільності та більшої чутливості електронного обладнання;
4. Розширене використання частоти, особливо вище 1 ГГц (ГГц);
5. Збільшення ваги середовища НІRF за рахунок збільшення кількості та потужності випромінювання радіочастотних (РЧ) передавачів; і
6. Побічні ефекти, які відчувають деякі літаки під впливом НІRF.

EMI SOURCES (electromagnetic interference)

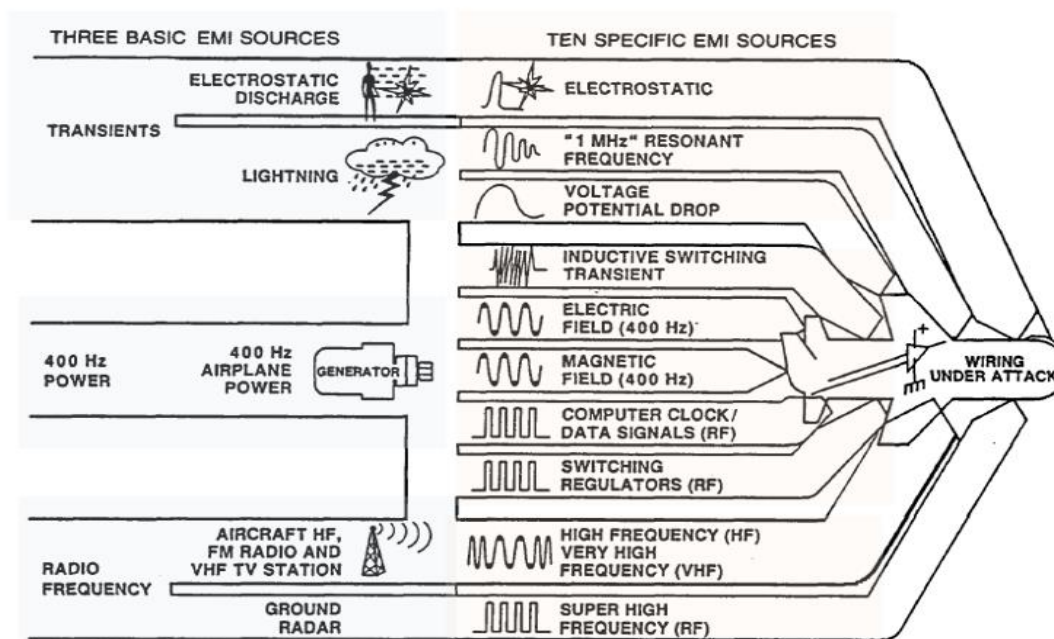


Рис. 4.2.Репрезентативні джерела ЕМІ

4.3. Способи захисту від електромагнітного випромінювання

Якщо характеристики ЕМВ перевищують вимоги нормативних актів, застосовуються різні засоби та методи захисту членів льотного складу.

Найбільшого поширення отримали такі методи захисту від ЕМВ:

1. Зменшення потужності випромінювання в джерелі. Зниження параметрів випромінювання безпосередньо в самому джерелі досягається раціональним вибором генератора, використанням узгоджених навантажень і спеціальних пристроїв – поглиначів потужності (еквівалентних антени та навантаженню). Останні використовуються як генераторні навантаження замість відкритих емітерів. Силові поглиначі є коаксіальними та хвильовими напрямними, частково заповненими абсорбуючими матеріалами.

2. Блок системи дистанційного захисту та монітор повинні бути якомога далі від користувача. Якщо зменшити інтенсивність опромінення цими методами неможливо, використовують захисну дистанцію та її збільшення. Дистанційний захист забезпечується механізацією й автоматизацією виробничих процесів, використанням дистанційного керування та спеціальних маніпуляторів, раціональним розміщенням обладнання на робочих місцях.

3. Екранування джерел радіації та робочих місць. Скринінг є одним з найефективніших і найбільш часто використовуваних засобів захисту від ЕМВ.

4. Використання рідкокристалічного монітора, оскільки його оптичне випромінювання набагато менше, ніж у інших типів моніторів. Цей варіант також широко використовується на борту сучасних літаків.

5. Для захисту від радіації та здоров'я потрібно багато часу проводити на свіжому повітрі, а для захисту від сидячого сидіння за комп'ютером потрібно перервати роботу на фізичні вправи та відпочинок для очей.

6. Також необхідно доглядати за очима, наприклад, користуватися окулярами з відповідними світлофільтрами [3].

4.4. Висновок

Електромагнітне забруднення навколишнього середовища є однією з найактуальніших проблем людства в наш час.

Широке використання різноманітних електроприладів, зокрема персональних комп'ютерів, авіаційних систем, призводить до неспинного зростання електромагнітного фону. Вже доведено, що дія електромагнітних хвиль на організм людини має згубний характер.

Електромагнітні перешкоди (ЕМІ) можуть призвести до погіршення характеристик авіоніки або навіть несправності. ЕМІ може впливати на радіостанції кабіни та радіолокаційні сигнали, заважаючи зв'язку між пілотом і диспетчерською вежею. Повітряні пристрої, які можуть спричинити перешкоди, включають портативні комп'ютери, електронні ігри, мобільні телефони та електронні іграшки, і всі вони підозрювалися у спричиненні таких подій, як відключення автопілота, непостійні індикації кабіни польоту та відхилення літаків з курсу.

Ефекти ЕМІ від блискавки, сонячних спалахів, електростатичного розряду та високоінтенсивних випромінюваних полів (HIRF) від радарів і різного роду передавачів або комунікаційного обладнання – все це призводило до численних авіаційних інцидентів протягом багатьох років. Як наслідок, ефекти електромагнітних перешкод тепер враховуються у всіх аспектах проектування та сертифікації авіоніки.

Генератори електромагнітних перешкод для літака можуть надходити з кількох джерел, наприклад:

- Передавачі радіочастот, які можуть бути встановлені на самому літаку, наприклад, високочастотні (HF) або дуже високочастотні (VHF) лінії зв'язку, або джерела високої енергії, розташовані на землі, такі як наше повсякденне радіо з частотною модуляцією (FM) або HF-VHF-UHF радіостанції високої інтенсивності випромінюваних полів (HIRF);
- Лінія електропередачі літака електричними та магнітними полями 400 Гц;

- Комп'ютер і мікропроцесор авіоніки синхронізують і керують тактовими сигналами, які генерують радіочастоти один МГц або вище;
- Регулятори перемикання потужності літака, які використовуються для перетворення з одного рівня потужності на інший;
- Перехідні процеси електричного перемикання, викликані включенням і вимкненням вогнів, вентиляторів і двигунів літака або спрацюванням поверхонь керування, ламелей елеронів і закрилків;
- Електростатичні розряди, включаючи блискавку.

Провідні шляхи електричної проводки забезпечують шлях для введення електромагнітних перешкод безпосередньо до авіоніки літака та сигнальних входів. Виключить проводку, і електромагнітні перешкоди майже зникнуть. Проводка є найважливішим фактором електромагнітних перешкод і електромагнітної сумісності.

З метою запобігання або зменшення негативного впливу ЕМІ працівники повинні дотримуватися норм електромагнітного випромінювання та особливостей роботи з ним. Також варто переконатися у дотриманні санітарних норм для електроніки та високотехнологічної оптичної техніки.

Оскільки електромагнітне випромінювання літака, щонайменше, відповідає міжнародним нормам і стандартам, але має негативний вплив на здоров'я людини, йому необхідно вжити рекомендованих заходів щодо захисту від ЕМП в радіочастотному та оптичному діапазоні.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі розглядаються питання, пов'язані зі створенням безпечних і здорових умов праці на всіх етапах проектування, створення, ремонту та експлуатації інерційних датчиків на дистанційно керованих повітряних суднах.

Організація заходів з охорони праці на підприємствах цивільної авіації може здійснюватися на високому рівні лише із застосуванням інерційних методів охорони праці. При цьому важливу роль відіграють правові та організаційні методи покращення умов праці.

Необхідно суворе дотримання законодавства про працю, інструкцій, галузевих стандартів, правил і норм, спрямованих на охорону здоров'я працівників. Найважливішими з них є відповідні дії адміністрації щодо організації виконання вимог охорони праці, а також трудової та виробничої дисципліни самих працівників.

Отже, основним завданням охорони праці є створення безпечних і здорових умов праці працівників, вносить великий внесок у підвищення безпеки польотів. Це одна з актуальних проблем цивільної авіації.

Процес людської діяльності здійснюється в тісній взаємодії і формується виробничим середовищем. Інакше кажучи, робоче середовище впливає на трудовий процес людини, а отже, на її здоров'я та працездатність, якою є умови праці.

Фактори можуть бути руйнівними, небезпечними та шкідливими. Фактори, що призводять до різкого погіршення самопочуття, називають шкідливими. До шкідливих факторів виробництва належать: небезпека ураження електричним струмом або статичної електрики.

Фактори, які можуть спричинити травму, можна назвати небезпечними. Небезпечні фактори пов'язані з використанням токсичних речовин, викидами пилу, парів, різного радіовипромінювання.

5.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

До основних небезпечних і шкідливих факторів при роботі з датчиками дистанційно керованих авіаційних систем за ГОСТ 12.0.003-74 належать:

- підвищена або знижена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- підвищена напруга в електричному ланцюзі, коротке замикання якого може статися через тіло людини;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання;
- підвищена напруженість електричного поля;
- підвищена напруженість магнітного поля;
- гострі краї, задирки та шорсткості на поверхнях заготовок, інструментів та обладнання.

Велику небезпеку для нього можуть спровокувати електроприлади, установки, обладнання в датчиках дистанційно керованих авіаційних систем, з якими має справу інженер. Через те, що шкіра людини не може виявити електричну напругу на відстані, наприклад теплову, світлову або механічну енергію. Тому в організмі виникає захисна реакція, яка проявляється лише після прямого впливу електричного струму.

Другий принцип дії електричного струму на організм людини полягає в тому, що струм, що проходить через тіло, діє не тільки в точках дотику і на шляху через тіло, а й викликає рефлекторні порушення нормального функціонування окремих органів (серцево-судинної системи), дихальна система).

Третій принцип – можливість отримання електротравм без безпосереднього контакту з струмоведучими частинами – при русі по землі біля пошкодженої електроустановки (при замиканні на землю), ураження електричною дугою.

Розрізняють три ступені впливу струму при проходженні через тіло людини (змінний струм):

- пальпується струм - початок болю (до 0-1,5 мА);
- нестабільний струм – судоми і біль, задишка (10-15 мА);
- фібриляційний струм - фібриляція серця протягом тривалості дії струм 2-3 с, параліч дихання (90-100 мА).

Електромагнітні хвилі частково відбиваються, а частково поглинаються і поширюються у них взаємодіючи з організмами. Ступінь впливу залежить від величини поглинання енергії тканинами організму, частоти хвиль і розмірів біологічного об'єкта.

При постійній дії електромагнітних хвиль низької інтенсивності виникають розлади нервової та серцево-судинної системи, ендокринних органів та інше. Людина відчуває роздратування, головні болі, втрату пам'яті і т. д. Пристосування до електромагнітного впливу не відбувається. Електромагнітні поля різняться за частотою та інтенсивністю. Їх характеристики з часом змінюються.

Підвищений рівень електромагнітного випромінювання є одним з найважливіших фізичних факторів для інженерів під час обслуговування авіації. Різні організми мають різну чутливість до природних і антропогенних (штучних).

Характер і вираженість біологічного впливу залежать від параметрів електромагнітних полів (ЕМП) і рівня організації біосистеми.

Міліметрові хвилі ЕРС впливають переважно на рецепторний апарат, довгі хвилі - на центральну нервову систему. Електромагнітна енергія випромінюється в навколишній простір, в першу чергу антенним пристроєм. Крім того, джерела електромагнітних полів (ЕМП) розташовані в різних місцях, де можна створити або обслуговувати цифровий комп'ютер, наприклад, лабораторії та центри проектування літаків, на борту тощо.

Дія електромагнітного випромінювання на біологічний організм виявляється, коли інтенсивність випромінювання нижча за його теплові порогові значення, тобто нетепловий ефект або специфічна дія радіохвиль, що

визначається інформаційним аспектом електромагнітного випромінювання, що сприймається організмом. і залежить від джерела та каналу ЕРС. Дія малоінтенсивного електромагнітного випромінювання призводить до локального нагріву – мікронагріву.

Тому дія електромагнітного випромінювання потребує відповідних системних заходів щодо його захисту.

5.2. Заходи щодо зменшення впливу шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Під час роботи на робочому місці важливо дотримуватися рекомендацій щодо теплового комфорту.

Мати «тепловий комфорт» означає, що людина, яка носить звичайну кількість одягу, не відчуває себе ні занадто холодно, ні занадто тепло. Тепловий комфорт важливий як для самопочуття, так і для продуктивності.

Температурні переваги сильно відрізняються між людьми, і не існує єдиної температури, яка могла б задовольнити всіх. Тим не менш, занадто теплий офіс змушує його мешканців відчувати втому; з іншого боку, надто холодний змушує увагу мешканців дрейфувати, роблячи їх неспокійними та легко відволікаючими.

Важливе значення має підтримка постійного теплового режиму в офісах. Навіть незначне відхилення від комфорту може викликати стрес і вплинути на продуктивність і безпеку. Працівники, які вже перебувають у стресовому стані, менш толерантні до незручних умов.

Польотна придатність ДПАС встановлюється під час проектування з урахуванням попереднього досвіду експлуатації та вимог безпеки польотів. Після введення в експлуатацію ДПАС необхідно підтримувати льотну придатність ДПАС шляхом дотримання правил польоту, технічного обслуговування та ремонту.

Змінний струм частотою 50 Гц, проходячи через тіло людини з руки в руку або з руки до ноги, при значенні близько 100 мА може паралізувати серце, якщо дія струму на людину триває не менше 3 секунд. Може виникнути

фібриляція шлуночків, що означає, що окремі волокна серцевого м'яза хаотично сіпаються замість скорочення та розслаблення одночасно. При більш високому струмі серцева недостатність може виникнути швидше, навіть за частку секунди.

Тривалість струму важлива, оскільки ризик серцевої недостатності залежить не тільки від величини струму, а й від того, чи збігається момент струму з цією фазою в серці в кожному циклі стиснення і розширення, коли він особливо чутливий до струму. Якщо струм триває довше одного циклу стиснення і розширення серця, він неминуче співпаде з небезпечною фазою.

При струмі 20-25 мА, що проходить між кистями або між рукою і ногами, пальці судомно стискають предмет, що тримається в руках, який знаходиться в напрузі, виникає параліч м'язів передпліччя, і людина не може звільнитися від дії струму. У багатьох постраждалих виникають спазми гортані: вони не можуть покликати на допомогу. Чим довше триває струм, тим менше електричний опір тіла, і сила струму зростає. Якщо його не зупинити негайно, може настати смерть.

Максимальним вивільненням називають найбільший струм такої величини, при якому людина ще може відірвати руки від живого предмета. Трохи більший струм можна вважати пороговим (мінімальним) невідпускаючим.

Щоб не піддаватися впливу струму, важливо розрахувати контурне заземлення виробничого приміщення. Відповідно до ГОСТ 12.1.030-81 вихідні дані для розрахунку за ПУЕ при $U < 1000\text{В}$ $R = 4\text{ Ом}$; питомий опір ґрунту $0,5\text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 10^2$; сезонно залежний коефіцієнт кліматичної зони - 2,1; заземлювачі - сталеві труби $L = 3,0\text{ м}$; глибина закладання $H = 0,85\text{ м}$; лінія заземлення - стрічкова сталь, ширина $B = 0,04\text{ м}$; Одинарний коефіцієнт заземлення $\eta_{\text{тр}} = 0,85$ і смуги $\eta_{\text{поверх}} = 0,75$;

а) Обчисліть питомий опір ґрунту

$$\rho = \rho_{\text{вим}} \cdot K_c$$

$$\rho = 0,5 \cdot 10^2 \cdot 2,1 = 105 \text{ Ом}$$

б) Визначте опір одного заземлювача - сталеві труби:

$$R_{\text{тр}} = 0,366\rho/l (\lg 2L/d + 1/2 \lg((4H+L)/(4H-L)))$$

$$R_{\text{тр}} = 0,366 \cdot 105/3,0 (\lg(2 \cdot 3,0/0,025) + 1/2 \lg((4 \cdot 0,85+3,0)/(4 \cdot 0,85-3,0)))$$

= 32,81 Ом.

в) Обчисліть необхідну кількість труб:

$$n = R_{\text{тр}}/R \cdot \eta_{\text{тр}}$$

$$n = 32,81/4 \cdot 0,85 = 9 \text{ шт.}$$

г) Визначимо довжину смуги, що з'єднує заземлювачі:

$$l = 1,05 \cdot L \cdot n = 1,05 \cdot 3,0 \cdot 9 = 28 \text{ м.}$$

д) Визначте опір струму витoku від смуги, враховуючи глибину її закладання:

$$R_{\text{пов}} = 0,366 \cdot \rho/l \cdot \lg(2 \cdot l^2/B \cdot H)$$

$$R_{\text{пов}} = 0,366 \cdot 105/28 \lg(2 \cdot 28^2/0,04 \cdot 0,85) = 2,32 \text{ Ом}$$

е) Опір заземлювального пристрою:

$$r_{\text{кз}} = (R_{\text{тр}} \cdot R_{\text{пов}})/(R_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{пов}} + n R_{\text{пов}} \cdot \eta_{\text{тр}})$$

$$r_{\text{кз}} = (32,81 \cdot 2,32)/(32,81 \cdot 0,75 + 9 \cdot 2,32 \cdot 0,85) = 1,78 \text{ Ом.}$$

5.3. Інструкція з охорони праці

Інструкції з охорони праці при роботі з датчиками дистанційно керованих авіаційних систем представлені нижче:

1. Загальні вимоги охорони праці

1.1 Особи, які досягли 18 років, які пройшли обов'язковий медичний огляд, вступний інструктаж, первинний інструктаж на робочому місці, пройшли навчання безпечним методам роботи, пройшли екзаменаційний іспит Посвідчення оператора ДПАС (ОКР) допускаються до самостійної роботи.

1.2 При роботі з ДПАС працівник повинен:

- Дотримуватися всіх вимог, встановлення державою оператора щодо його експлуатації. Ці вимоги повинні відповідати розміру, структурі та складності організації оператора ДПАС.
- Дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку.
- Користуйтеся захисними засобами (якщо потрібно).
- Дотримуватись вимог охорони праці.
- Проходьте обов'язкові періодичні (під час роботи) медичні огляди (оглядів), а також проходити позачергові медичні огляди (огляди) за направленням роботодавця у випадках, передбачених КЗпП та іншими федеральними законами.
- Вміти користуватися первинними засобами пожежогашіння.

1.3 Якщо підлога слизька (полита маслом, емульсією), робітник повинен вимагати, щоб його посипали тирсою, або зробити це самостійно.

1.4 При роботі з ДПАС працівнику забороняється:

- демонтувати або замінити шини, мікропроцесори та інше обладнання, з якого складається ДПАС;

1.5 У випадках травми або дискомфорту необхідно припинити роботу, повідомити керівника робіт та звернутися до медичного закладу.

2. Вимоги з охорони праці перед початком роботи.

2.1 Одягніть спецодяг, уникаючи звисаючих кінців і стиску під час руху, одягніть спеціальне захисне взуття та засоби індивідуального захисту.

2.2 Перевірити та переконатися в справності закріпленого обладнання, інструментів, пристосувань та захисного обладнання. Розташуйте інструмент для максимальної зручності використання, уникаючи непотрібних предметів у робочій зоні.

2.3 Перевірити справність машини на холостому ходу.

2.4 Перед установкою підготуйте гачок для стружки, гайкові ключі та інші інструменти.

Не використовуйте гачок з ручкою-петлею.

2.5 Працівникові забороняється:

-використовувати неналежні та неправильно заточені інструменти та пристосування;

- торкатися рухомих частин предмета.

3. Вимоги охорони праці під час роботи

3.1 Встановлюйте та знімайте деталі лише тоді, коли немає рухомих частин і живлення вимкнено.

3.2 Під час роботи з датчиками ДПАС працівник повинен:

- обережно відкрийте засувки;

-Монтаж і демонтаж деталей і пристроїв слід виконувати тільки за обов'язковими правилами, описаними в інструкції;

4. Вимоги охорони праці в надзвичайних ситуаціях

4.1 У разі обриву заземлення об'єкта та інших несправностей, які можуть призвести до аварійної ситуації та аварій, необхідно:

4.1.1 Негайно припинити роботу систем, вимкнути прилад.

4.1.2 Під керівництвом особи, відповідальної за виконання роботи, своєчасно вживати заходів щодо усунення причин нещасних випадків або ситуацій, які можуть призвести до нещасних випадків чи нещасних випадків.

4.2 У разі пожежі, ганчір'я, обладнання або пожежі:

4.2.1 Негайно повідомити про пожежу на пост охорони.

4.2.2 Відкрити аварійні виходи на робочому місці.

4.2.3 Розпочати гасіння пожежі первинними засобами пожежогасіння, якщо це не пов'язано з небезпекою для життя.

4.2.4 Організувати зустріч для пожежної команди.

4.2.5 Залишити робоче місце та перебувати в зоні евакуації.

5. Вимоги з охорони праці після закінчення роботи

5.1 Перевірити справність об'єкта.

5.2 Наведіть порядок на робочому місці:

- видалити стружку та металевий пил з робочого місця;
- очистити робочі поверхні від забруднень;

5.4 Висновок

Ретельне поводження з охороною праці в середовищі технічного обслуговування повинно служити мінімізації ризиків. Однак, якщо виникнуть проблеми зі здоров'ям та безпекою, весь персонал повинен знати, наскільки це практично, як поводитися з надзвичайними ситуаціями, які можуть включати:

- Поранення собі або колезі;
- Ситуація, яка за своєю суттю небезпечна, яка може спричинити травми (наприклад, вихід шкідливої речовини або пожежа).

Організація також повинна забезпечувати процедури та засоби для боротьби з надзвичайними ситуаціями, і вони повинні бути належним чином повідомлені всьому персоналу. Організації з технічного обслуговування повинні призначити та підготувати одного або кількох працівників першої допомоги.

Дотримання вимог нормативних документів необхідно для забезпечення безпечного та високопродуктивного робочого процесу при виробництві та експлуатації технічних систем. При роботі з датчиками БПЛА рекомендується звертати особливу увагу на крихкість датчика та пов'язані з ним питання пожежної безпеки. Адже, в першу чергу, порушення цих вимог призводить до найтяжчих наслідків як для технічного персоналу, так і для майна підприємства.

ВИСНОВКИ

За останні 60 років надзвукові комерційні літаки зросли та занепали. Проблеми надзвукового польоту, здавалося б, звели надзвукові подорожі до прийняття бажаного за дійсне. Але поки SST залишався на задньому плані, високошвидкісні дослідження NASA, серед інших, продовжували розвиток надзвукових технологій, і сьогодні ми маємо інструменти, які значно перевершили часи Concorde. Тепер відродження надзвукових транспортних літаків починає спостерігатися в таких компаніях, як Boom Technologies і Aerion з його надзвуковими бізнес-джетами, які співпрацюють з Airbus. Разом із цими незалежними компаніями, NASA продовжує просунути цей звуковий бар'єр за допомогою таких проектів, як QueSST, які працюють над зменшенням звукового буму. Оскільки технології продовжують розвиватися, а спрага людини порушити межі можливого стає все сильніше,

Найбільшою проблемою для надзвукового транспортування може бути не приглушення звукового удару або створення магічно ефективного двигуна. Ні, подолати звуковий бар'єр було легкою частиною, а зробити це прибутковим – справжня проблема.

У цій дипломній роботі запропоновано використання технології MEMS як датчиків та виконавчих механізмів для вимірювання параметрів нагріву та випромінювання. За результатами можна зробити наступні висновки:

1. Деякі виробники вже роблять кроки до створення спеціальної системи управління безпекою для використання запропонованої технології на НПВ.
2. Саме зараз провідні авіаційні органи та організації світу працюють над оновленням надзвукового транспорту для підвищення якості пасажирських перевезень.
3. Технологія MEMS виявилася надійною, тобто розподіли Вейбулла і логнормальний розподіл однаково добре відповідають спостережуваним даним.

Насправді, візуальне порівняння функції щільності ймовірності, кумулятивних функцій розподілу та графіків частоти відмов логнормального розподілу та розподілу Вейбулла показують, що вони можуть мати дуже схожі форми.

4. MEMS було визначено як одна з найперспективніших технологій 21-го століття і має потенціал для революції як у промислових, так і в споживчих продуктах, поєднуючи мікроелектроніку на основі кремнію з технологією мікрообробки. Його методи та пристрої на базі мікросистем можуть суттєво вплинути на все наше життя та спосіб життя.

5. Було помічено, що з узгодженими характеристиками тривалості життя та відповідними параметрами форми, які були отримані з логарифмічної норми та відповідності розподілу Вейбулла, ці два розподіли майже не відрізняються у спостережуваному діапазоні даних про відмову. Той факт, що рівень відмов постійно зменшується, свідчить про те, що деталі містять дефекти, які призводять до спостережуваних відмов.

6. Щоб мати можливість запропонувати персональне рішення проблеми, завжди необхідно вивчити та проаналізувати існуючі рішення та системи, провести дослідження та знайти нові технології, які можуть допомогти у вирішенні проблеми, скласти алгоритм роботи та на основі кроки, перелічені вище, створюють індивідуальне рішення. У майбутньому важливо внести деякі зміни та оновлення в систему, щоб система працювала якнайкраще.

ЛІТЕРАТУРА

1. История развития беспилотных летательных аппаратов [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.sciencedebate2008.com/development-of-unmanned-aerial-vehicles/>.
2. Как все начиналось: история летающих дронов [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: <https://habr.com/ru/post/446520/>.
3. Federal Aviation Administration. (2013). Integration of Civil Unmanned Aircraft Systems (UAS) in the National Airspace System (NAS) Roadmap. Washington, DC: Author.
4. International Telecommunications Union (2010). Characteristics of unmanned aircraft systems and spectrum requirements to support their safe operation in non segregated airspace. Report ITU-R M.2171. Geneva: Author. Retrieved from: <http://www.itu.int>
5. Hobbs A. Human Factor Challenges of Remotely Piloted Aircraft / A. Hobbs, R. Shively. // San Jose State University/NASA Ames Research Center.
6. Future challenges For remotely Piloted aircraft. // Air Power Development Centre. – 2012. – №187. – С. 2.
7. Nick Ters, статья для журнала TomDispatch «American empire project-Robot Warfare» 2012г.
8. The Unmanned Aerial Vehicle Systems Association(UAVS) [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.uavs.org/>.
9. Аэродинамические профили [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://www.ae.illinois.edu/m-selig/ads/coord_database.html.

- 10.Официальный сайт магазин симулятора. [Электронный ресурс], 2011
Microsoft CorporationРежим доступа,
<http://www.microsoft.com/games/flight/>
- 11.Мирошник. И. В. «Теория автоматического управления. Линейные системы» -СПб, учебное пособие, Питер 2005г, -336с.
- 12.Официальный сайт представитель Ardupilot, [Электронный ресурс],
содержит данные о контроллере Ardupilot.2012.Режим доступа:
<http://ardupilot.com/>,свободный
- 13.PRIME Faraday Partnership. An Introduction to MEMS (Micro-electromechanical Systems) / PRIME Faraday Partnership. – Loughborough: PRIME Faraday Partnership Wolfson School of Mechanical and Manufacturing Engineering Loughborough University, Leics LE11 3TU, 2002. – 56 с.
- 14.Aircraft General Knowledge 4. Part 022. Instrumentation. Second Edition, First Impression, Oxford Aviation Training/Theoretical Knowledge Manual. Joint aviation authorities airline transport pilot's license. - Oxford, England: Jeppesen, 2001.
- 15.Авиационные приборы и измерительные системы. В.Г. Воробьев. – М.: Транспорт. – 1981.
- 16.Андрусевич А.О., Касьян В.С., Стадник В.В. Інформаційно-вимірювальні прилади, системи і комплекси авіоніки. Навчальний посібник. Кривий Ріг, 2011 р.
- 17.Memsleadership.com operated by Standard MEMS Corporation (William Trimmer, CTO) contains over 200 industry and academic links, as well as an excellent MEMS Glossary and an updated calendar of global MEMS events (<http://www.memsleadership.com>).

18. MEMS Aerospace Applications / A. EL-FATATRY, M. MEHREGANY, C. WARSOP, P. SMITH. – San Clemente: Copyright © RTO/NATO, 2004. – 64 c.
19. Collinson, R.P.G. Introduction to Avionics; Chapman & Hall: London, UK, 1996.
20. Demoz, G.E. A Low-Cost GPS/Inertial Attitude Heading Reference System (AHRS) for General Aviation Applications. In Proceedings of IEEE Position Location and Navigation Symposium, Palm Spring, CA, USA, 20–23 April 1998.
21. Caruso, M.J. Application of Magnetic Sensors for Low Cost Compass Systems. In Proceedings of IEEE Position Location and Navigation Symposium, San Diego, CA, USA, 13–16 March 2000.
22. Demoz, G.E.; Abriel, G.; Elkaim, H.; Powell, J.D.; Parkison, B.W. A Gyro-Free Quaternion-Based Attitude Determination System Suitable for Implementation Using Low Cost Sensors.
23. Антонец Е.В., Смирнов В.И., Федосеева Г.А. Авиационные приборы и пилотажно навигационные комплексы. Часть 2. Учебное пособие. - В 2-х ч. Ч. 1. – Ульяновск: Изд-во УВАУ ГА(И), . – 2007.
24. Гироприборы и автоматические бортовые системы управления. Алтухов В.Ю., Стадник В.В. – М. Машиностроение . – 1992.
25. In Proceedings of IEEE Position Location and Navigation Symposium, San Diego, CA, USA, 13–16 March 2000.
26. MEMS actuators and sensors: observations on their performance and selection for purpose / D. Bell, T. Lu, N. Fleck, S. Spearing. // JOURNAL OF MICROMECHANICS AND MICROENGINEERING. – 2005. – С. 15.
27. Crittenden J. MEMS Inertial Navigation System / J. Crittenden, P. Evans. – 2008. – [Web source] – Resource Access Mode:

https://people.ece.cornell.edu/land/courses/eceprojectsland/STUDENTPROJ/2007to2008/pae26_jsc59/final.pdf.

28. E. J. Garcia and J. J. Sniegowski, "Surface micromachined microengine", Sensors and Actuators A, Vol. 48, pp. 203-214 1995.
29. S. L. Miller, J. J. Sniegowski, G. LaVigne, and P. J. McWhorter, "Performance tradeoffs for a surface micromachined microengine", Proc. SPIE Micromachined Devices and Components II, Vol. 2882, Austin, October. 14-15, pp. 182-191, 1996.
30. W. Nelson, Applied Life Data Analysis, Chapter 9, J. Wiley & Sons, New York, 1982.
31. W. Nelson, Accelerated Testing, Chapter 3, J. Wiley & Sons, New York, 1990.
32. D. S. Peck and O. D. Trapp, Accelerated Testing Handbook, Chapter 6, Technology Associates, Portola Valley, 1987.
33. P. A. Tobias, D. Trindade, Applied Reliability, Van Nostrand Reinhold, New York, 1986.
34. System Safety Process Steps – 2005 – [Web source] – Resource Access Mode: [ssprocdesrv103.doc](#).
35. Principles of System Safety // FAA System Safety Handbook. – 2000 – [Web source] – Resource Access Mode: https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/risk_management/ss_handbook/media/Chap3_1200.pdf.
36. Army Aviation Medical Standards and Flight Physicals – 2018. – [Web source] – Resource Access Mode: <https://www.thebalancecareers.com/army-aviation-medical-standards-and-flight-physicals-4056557>.
37. Military ATM: Meeting Civil Standards – 2006. – [Web source] – Resource Access Mode: <https://www.aviationtoday.com/2006/06/01/military-atm-meeting-civil-standards/>.

- 38.Sanders, M.S., McCormick, E.J. (1993) Human Factors in Engineering and Design. New York: McGraw-Hill.
- 39.Council Directive 89/656 / EEC of 30 November 1989 on the minimum safety and health requirements for the use of personal protective equipment by employees at work (third separate Directive within the meaning of Article 16 (1) of Directive 89/391 / EEC).
- 40.Hot Environments - Control Measures [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа до ресурсу:
https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/heat_control.html.
- 41.Thermal Comfort for Office Work [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/thermal_comfort.html.
- 42.Order No. 1804 of 11/29/2018 is valid from 01/15/2019 published by Ministry of Social Policy of Ukraine. On approval of the Minimum Safety and Health Requirements when employees use personal protective equipment at the workplace.
- 43.Law of 10/14/1992 No. 2694-XII ‘About labour protection’ from the Verkhovna Rada of Ukraine
44. Order of the State Committee of Ukraine for Industrial Safety, Labor Protection and Mining Supervision No. 62 of April 16, 2009, registered with the Ministry of Justice of Ukraine on May 12, 2009 under No. 424/16440
- 45.Regulation (Ec) No 216/2008 of the European Parliament and of the council of 20 February 2008 on common rules in the field of civil aviation and establishing a European Aviation Safety Agency. Di L 79, 19.3.2008, p. 1, recital 30.
- 46.Common Aviation Area Agreement between the European Union and its Member States and Ukraine, initialled on 28 November 2013 in Vilnius (сАА Agreement).
- 47.Thermal Comfort for Office Work [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/thermal_comfort.html.

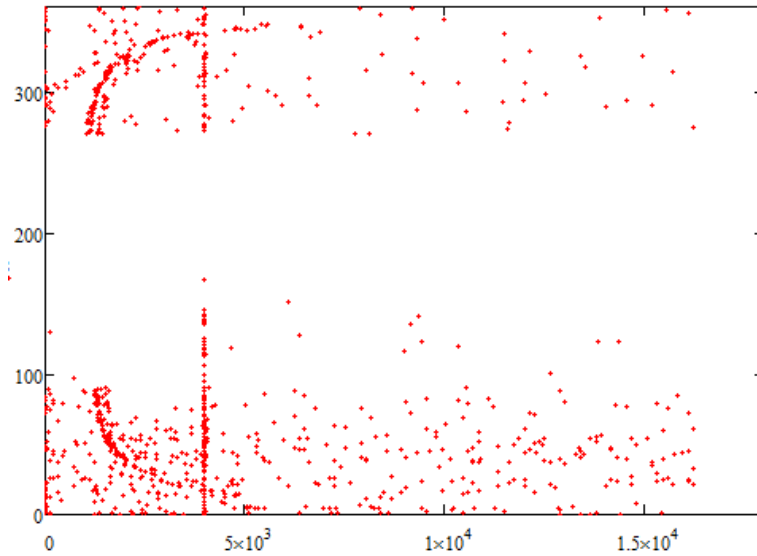
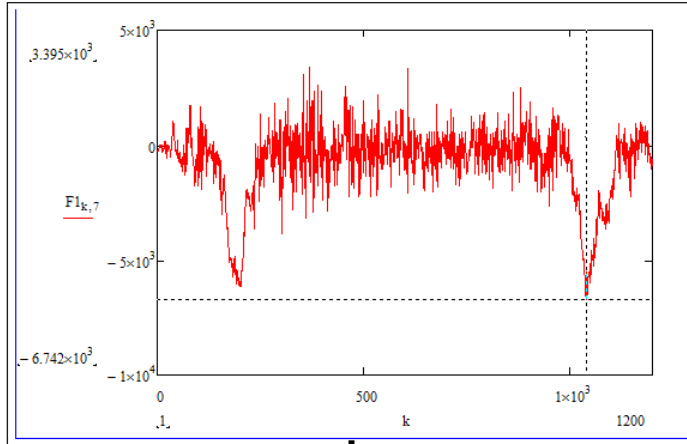
Додаток 1. Ризики

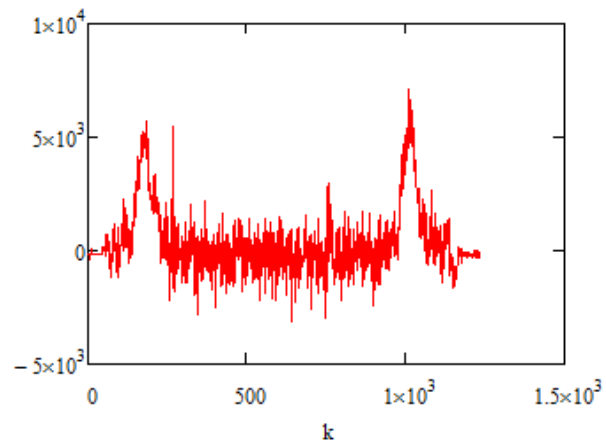
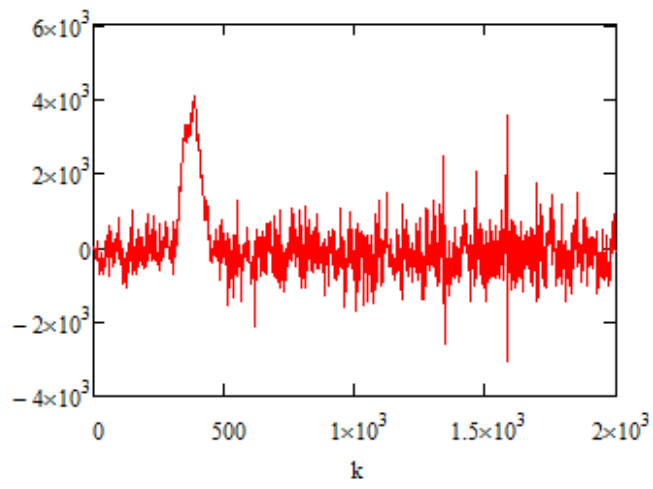
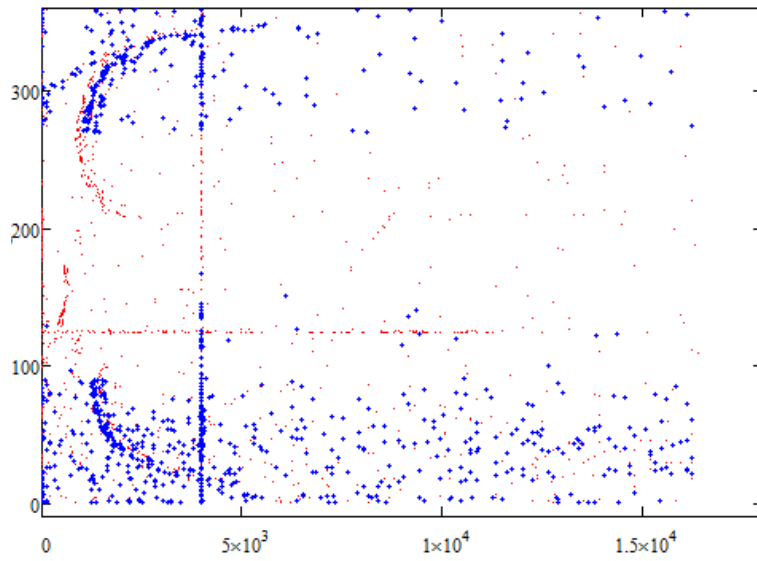
F1 := READCSV("18-14-47-43s.csv")

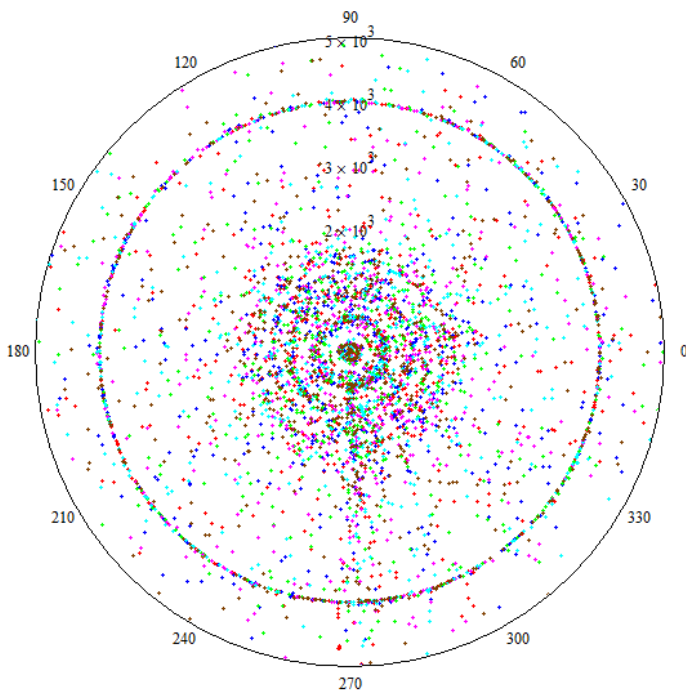
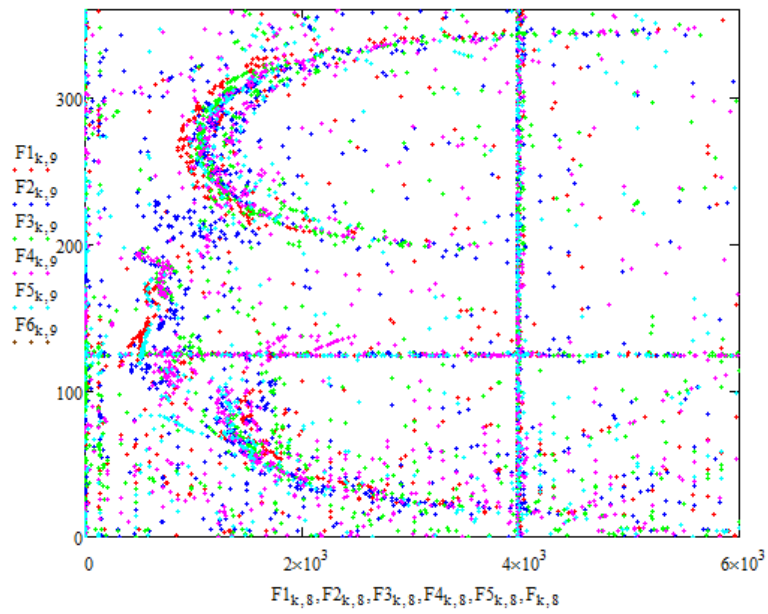
Трассировка графика X-Y

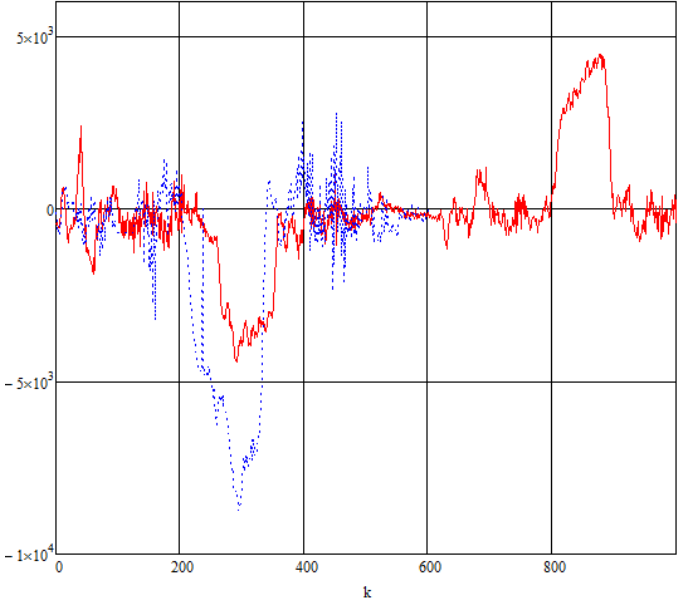
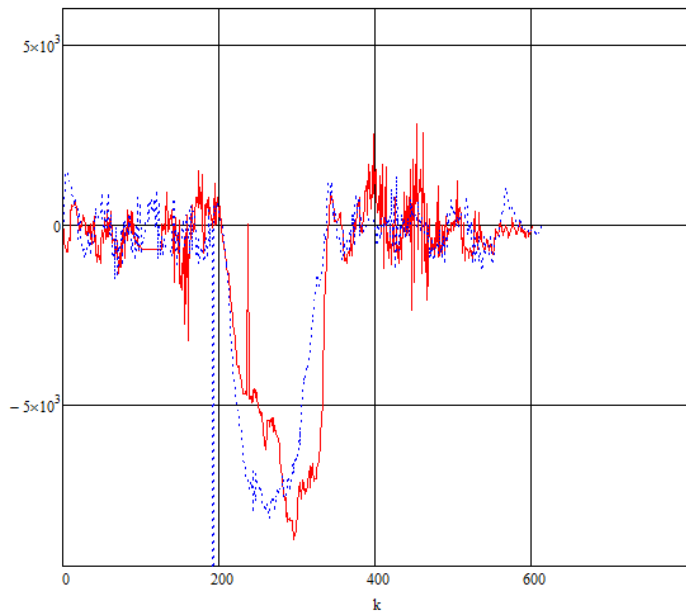
X-коорди	1041	Копировать X
Y-коорди	-6742	Копировать Y
Y2-коорд		Копировать Y2
<input checked="" type="checkbox"/> Отслеживать точки данных		Закрыть

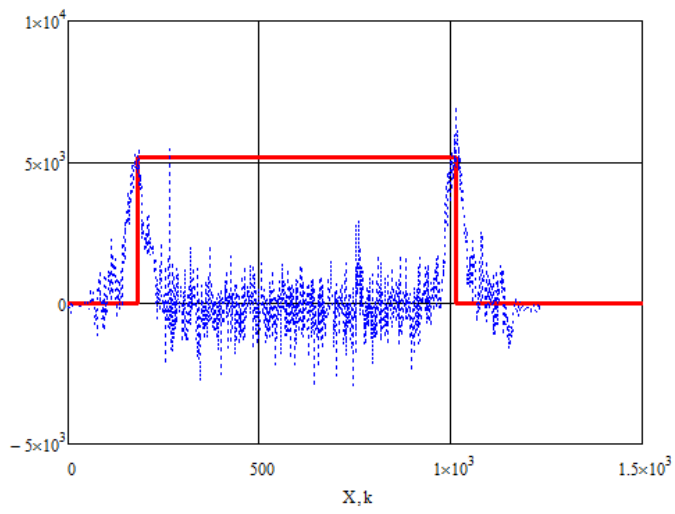
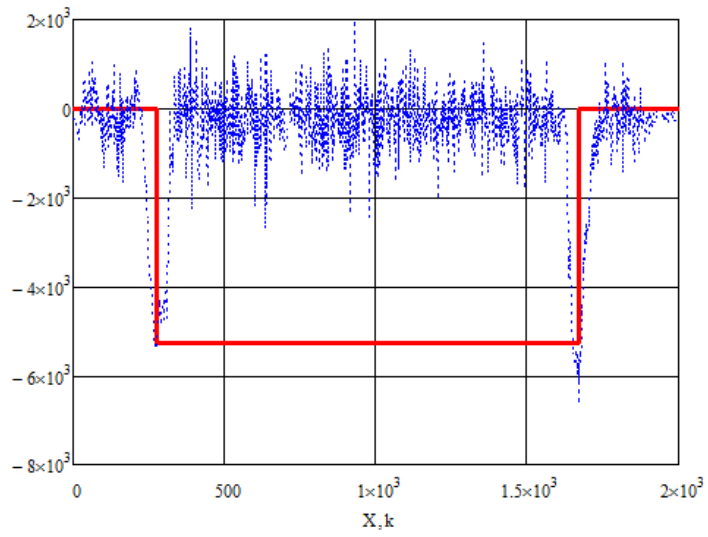
gtZ - z-axis turn velocity











Додаток 2. Графіки

