



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний авіаційний університет**



## **АВІОНІКА (ОБЛАДНАННЯ ПОВІТРЯНИХ КОРАБЛІВ)**

**Методичні рекомендації до виконання  
домашнього завдання  
для здобувачів вищої освіти  
ОС «Бакалавр» спеціальності 272  
«Авіаційний транспорт»**



**VIVERE!  
VINCERE!  
CREARE!**

**Київ 2024**



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

Національний авіаційний університет

**АВІОНІКА  
(ОБЛАДНАННЯ ПОВІТРЯНИХ КОРАБЛІВ)**

Методичні рекомендації до  
виконання домашнього завдання  
для здобувачів вищої освіти  
ОС «Бакалавр» спеціальності 272  
«Авіаційний транспорт»

Київ 2024

УДК 629.735.05:621.38(072)

A 205

Укладачі:

*І. В. Остроумов* — д-р техн. наук, с.н.с.;

*Л. В. Благая* — канд. техн. наук

Рецензент *О. А. Сущенко* — д-р техн. наук, проф.  
професор кафедри аерокосмічних систем управління  
(Національний авіаційний університет)

*Затверджено Науково-методично-редакційною радою Національного авіаційного університету (протокол №7/23 від 18.09.2023 р.).*

**Авіоніка (обладнання повітряних кораблів):** методичні  
А 205 рекомендації до виконання домашнього завдання / уклад.:  
І.В. Остроумов, Л.В. Благая – К.: НАУ, 2024. – 33 с.

Містить теоретичні відомості та методичні рекомендації до виконання домашнього завдання з дисципліни «Авіоніка (обладнання повітряних кораблів)».

Для здобувачів вищої освіти ОС «Бакалавр» спеціальності 272 «Авіаційний транспорт».

## ЗМІСТ

Умовні позначення та скорочення.....	4
Вступ .....	5
Мета та завдання .....	6
Короткі теоретичні відомості.....	7
Порядок виконання.....	10
1. Ознайомлення з заданим планом польоту.....	10
2. Розрахунок параметрів маршруту польоту.....	10
3. Ознайомлення з певним типом обчислювальної системи літаководіння.....	15
4. Порядок програмування обчислювальної системи літаководіння.....	19
Вимоги до оформлення звіту.....	26
Контрольні запитання для самоперевірки.....	26
Список використаних джерел .....	27
<i>Додаток А. Варіанти завдань.....</i>	<i>31</i>

## Умовні позначення та скорочення

- DME – *Distance Measuring Equipment*  
(обладнання вимірювання дальності)
- ETA – *Estimated Time of Arrival*  
(Розрахунковий час прибуття в певну навігаційну точку)
- ETE – *Estimated Time Enroute*  
(розрахунковий час руху між навігаційними точками)
- FMS – *Flight Management System*  
(обчислювальна система літаководіння)
- GNSS – *Global Navigation Satellite System*  
(Глобальна навігаційна супутникова система)
- IAP – *Instrument Approach Procedures*  
(схема руху літака за приладами під час заходу на посадку)
- ICAO – *International Civil Aviation Organization*  
(Міжнародна організація цивільної авіації)
- MCDU – *Multifunction Control and Display Unit*  
(багатофункціональний блок керування та відображення інформації)
- NDB – *Non-Directional Beacon*  
(всеспрямований радіомаяк)
- SID – *Standard Departure Procedures*  
(стандартна схема руху літака під час вильоту)
- STAR – *Standard Terminal Arrival*  
(стандартна схема руху літака під час прибуття)
- VOR – *VHF Omnidirectional Radio Range*  
(надвисокочастотний всеспрямований радіомаяк)
- WP – *WayPoint*  
(навігаційна точка)
- ЛА – літальний апарат

## ВСТУП

Численні переваги повітряного транспорту зумовлюють постійне зростання попиту на авіаперевезення та спонукають до розвитку авіаційних технологій. Бортове електронне обладнання літака, або авіоніка є головним компонентом сучасного літака цивільної авіації. До авіоніки відносять будь-яке бортове обладнання, що використовує електрику, починаючи від простих світлодіодів та дровових з'єднань і вершуючи системами високого рівня інтеграції, такими як обчислювальна система літаководіння.

Методичні рекомендації до виконання домашнього завдання «Авіоніка (обладнання повітряних кораблів)» будуть корисними для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «Бакалавр» спеціальності 272 «Авіаційний транспорт», які навчаються за освітньо-професійними програмами «Системи аеронавігаційного обслуговування», «Обслуговування повітряного руху», «Безпілотні авіаційні комплекси», а також для усіх хто цікавиться плануванням польотів цивільної авіації.

Методичні рекомендації розроблено на основі робочої навчальної програми дисципліни «Авіоніка (обладнання повітряних кораблів)», що викладається у Національному авіаційному університеті.

Домашнє завдання з дисципліни «Авіоніка (обладнання повітряних кораблів)» орієнтовано на вивчення принципів функціонування обчислювальної системи літаководіння та основних етапів планування рейсу літака цивільної авіації. Окрім того, здобувачі мають набути навичок взаємодії з обчислювальною системою літаководіння. Зокрема, навчитися програмуванню запланованого плану польоту на комп'ютерних тренажерах з використанням реальних маршрутів та аеронавігаційних даних.

Обчислювальна система літаководіння сьогодні відіграє ключову роль у навігації літального апарата, адже більшість авіаперевезень на етапі польоту на маршруті виконується в автоматичному режимі. Обчислювальна система літаководіння містить попередньо запрограмований план польоту, що у поєднанні з профілем польоту утворюють унікальну тривимірну траєкторію руху у просторі. Більш того, обчислювальна система літаководіння оцінює місцеположення власного літального апарата та скеровує його на дотримання

запланованої траєкторії через взаємодію з системою автоматичного пілотування.

Набуті навички допоможуть майбутнім фахівцям спеціальності «Авіаційний транспорт» зрозуміти принципи функціонування обладнання авіоніки та його взаємодії з іншими бортовими системами.

## **МЕТА ТА ЗАВДАННЯ**

Мета домашнього завдання полягає у вивченні порядку розрахунку попередньо заданого плану польоту та набутті практичних навичок з користування обчислювальною системою літаководіння певного типу літака цивільної авіації.

Відповідно до номера варіанта обирається план польоту для дослідження в домашньому завданні. Варіанти планів польотів наведені в додатку А. Плани польотів отримані з відкритих джерел та містять актуальні польотні завдання, що застосовуються під час регулярних авіаперевезень. Залежно від певних чинників викладач може коригувати варіанти планів польотів.

Завдання домашньої роботи полягає у практичному виконанні обчислення заданого плану польоту у спеціалізованому програмному забезпеченні та порівнянні отриманих результатів з результатами розрахунку, виконаними в обчислювальній системі літаководіння. Домашня робота складається з чотирьох послідовних кроків:

1. Ознайомлення із заданим планом польоту. Детальне вивчення навігаційної інфраструктури аеропорту вильоту та аеропорту прильоту. Вибір резервних аеропортів для пункту призначення.

2. Ознайомлення з методикою розрахунку маршруту польоту та розрахунок параметрів запланованої траєкторії польоту для кожної ланки маршруту, включно з прогнозуванням часу прибуття в кожен навігаційну точку та витратами пального.

3. Ознайомлення з певним типом обчислювальної системи літаководіння. Програмування заданого плану польоту та розрахунок параметрів траєкторії в обчислювальній системі літаководіння.

4. Аналіз отриманих даних, що передбачає порівняння результатів обчислення траєкторії польоту літака, отриманих з

використанням методики розрахунку та даними, отриманими від певного типу обчислювальної системи літаководіння.

Результати виконання домашнього завдання оформлюються у вигляді звіту встановленого зразка і у роздрукованому вигляді здаються викладачеві на перевірку.

Формат звіту доступний для завантаження за посиланням:

- [http://www.ans.nau.edu.ua/main/download/ha\\_avionics.doc](http://www.ans.nau.edu.ua/main/download/ha_avionics.doc)

(україномовний варіант);

- [http://www.ans.nau.edu.ua/main/download/ha\\_avionics\\_eng.doc](http://www.ans.nau.edu.ua/main/download/ha_avionics_eng.doc)

(англомовний варіант).

Оцінювання домашнього завдання здійснюється викладачем у балах, максимальна кількість яких для денної форми навчання становить 10 балів, заочної форми навчання – 20 балів. У разі виявлення невідповідності у виборі номера варіанта чи плагіату даний вид навчальної роботи не зараховується і повертається здобувачеві для доопрацювання.

## ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

План польоту – це певні відомості стосовно майбутнього польоту літального апарата, що надаються органам обслуговування повітряного руху [1] перед польотом. У більшості випадків пілот подає запит на виконання польоту за 120 год. до зльоту в певному форматі. Зразок паперового бланка плану польоту міжнародного зразка наведено у праці [1]. План польоту містить:

- ідентифікацію літального апарата у вигляді індексу з номером рейса чи реєстраційний номер літального апарата;
- правила, тип польоту;
- кількість, тип і категорію турбулентності для літального апарата;
- ідентифікацію наявності певного обладнання на борту літального апарата (ЛА) та можливості авіоніки ЛА;
- аеродроми вильоту та призначення;
- запланований час вильоту;
- маршрут руху ЛА.

У разі затримання ЛА в аеропорті вильоту більш ніж на 30 хв пілот має заново подати план польоту з відкоригованим часом вильоту до органів обслуговування повітряним рухом.

Маршрут ЛА передбачає точний опис тривимірної траєкторії руху ЛА із запланованим значенням істинної повітряної швидкості. Профіль польоту задається через значення крейсерського ешелону та можливі зміни висот. У разі виконання польоту в межах встановлених маршрутів маршрут задається послідовністю навігаційних точок із вказуванням зміни швидкості чи висоти між ними.

Мережа повітряних маршрутів складається з навігаційних точок, що мають унікальний цифро-буквений ідентифікатор, та ліній маршруту, що з'єднують дві навігаційні точки між собою. Карта маршрутів у повітряному просторі України наведена на рис. 1.

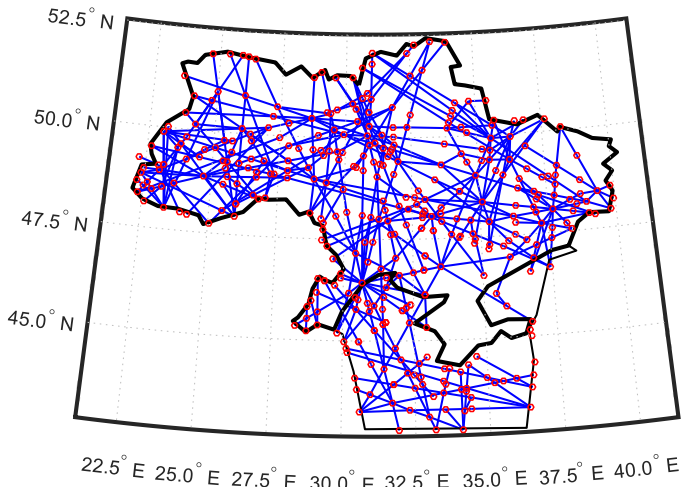


Рис. 1. Карта маршрутів у повітряному просторі України

Кожна навігаційна точка має визначені координати місцезнаходження та ідентифікується певним ідентифікатором. Трапляються навігаційні точки з однаковими ідентифікаторами, проте з розміщенням у різних країнах. Кожен маршрут має визначений висотний діапазон, що зазначається на аеронавігаційних картах.

У маршруті зазначаються навігаційні точки, у яких змінюється вектор руху літака. Навігаційні точки, що розміщені на маршруті з одною назвою і в них ЛА не змінює свій вектор руху, не зазначаються під час ідентифікації маршруту.

Наприклад, розглянемо маршрут польоту з міжнародного аеропорту Лос-Анжелеса (KLAX) до міжнародного аеропорту Сан-Франциско (KSFO).

**KLAX DERBB J1 AVE V137 RANCK KSFO,**

де KLAX та KSFO – ICAO коди аеропортів вильоту та призначення відповідно; J1 – назва ділянки маршруту між DERBB та AVE; V137 – назва ділянки маршруту між AVE та RANCK.

У цьому прикладі маршрут V137 має таку послідовність навігаційних точок: TAFTO GMN JEFFY VICKY MOLTT PMD PURPS HESPE HITOP CAPTZ PZUKY ARRAN MORON WHETO PSP. Використання назв маршрутів дозволяє скоротити запис плану польоту без втрати детальності траєкторії руху.

Окрім того, маршрути можуть бути спрямованими. Як приклад, в Україні маршрути поділяються на маршрути із західним і східним напрямками, поділ проходить через кожен ешелон. Таким чином, кожен парний ешелон прямує на Захід, а непарний на Схід.

Маршрути між двома навігаційними точками є лінійними для забезпечення можливості класичних методів навігації за наземними радіомаяками. За класичним підходом у навігаційних точках розміщуються радіонавігаційні маяки. Наприклад, далекомірні (Distance Measuring Equipment (DME)) чи кутомірні (VHF Omnidirectional Radio Range (VOR) і Non-Directional Beacon (NDB)). Таким чином, забезпечуючи дотримання сталого значення кута чи відстані пілот забезпечує скеровування ЛА на наступну навігаційну точку. На сьогодні класичні методи навігації втратили свою актуальність у зв'язку зі значною похибкою вимірювання навігаційних кутів, порівняно з навігацією за характеристиками.

Навігація за характеристиками визначає координати положення ЛА з певною точністю, дозволеною провайдером аеронавігаційного забезпечення у певному повітряному просторі. Відповідно до сучасних тенденцій розвитку аеронавігації наземна інфраструктура радіонавігаційних засобів має бути мінімізована для забезпечення резервного позиціонування ЛА. Як основне джерело координатної інформації розглядаються виключно глобальні навігаційні супутникові системи (Global Navigation Satellite System – GNSS), що забезпечують вимірювання координат місцеположення ЛА, а обчислювальна система літаководіння (FMS) забезпечує функцію автоматичного скеровування ЛА на заданий маршрут.

## **ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ**

### **1. Ознайомлення із заданим планом польоту**

Ознайомлення з навігаційною інфраструктурою аеропорту вильоту та аеропорту прильоту слід починати із загальної інформації про аеропорт, що міститься у відкритих збірниках навігаційної інформації. Зокрема, звіт має містити таку інформацію:

- повну назву аеропорту;
- географічну адресу;
- координати місцеположення;
- часову зону;
- усі частоти наземних служб аеропорту;
- інформацію про радіонавігаційні засоби поблизу (тип, унікальний ідентифікатор, загальну назву, частоту роботи);
- тип палива, наявний у аеропорті на час виконання домашнього завдання;
- загальну інформацію про злітно-посадкові смуги (геометричні розміри, тип поверхні, координати, висоту, курсовий кут, тип інструментальної системи посадки);
- середнє значення статистики зльотів і посадок за останній місяць;
- переліки назв стандартних схем руху ЛА у зоні аеропорту (STAR – Standard Terminal Arrival, IAP – Instrument Approach Procedures, SID – Standard Departure Procedures);
- схематичне зображення наземної інфраструктури.

Використовуючи відкриті аеронавігаційні бази даних, виконати пошук резервних аеропортів для пункту призначення (не більше п'яти).

### **2. Розрахунок параметрів маршруту польоту**

На вибір викладача розрахунок маршруту польоту може виконуватись у ручному форматі чи з використанням систем автоматичного планування польотів.

#### **2.1. Розрахунок маршруту польоту в ручному форматі**

Маршрут польоту записується у вигляді послідовності навігаційних точок (WayPoint – WP):

$$FPL = \{WP_1, WP_2, \dots, WP_n\},$$

де  $n$  – кількість навігаційних точок.

Загальна довжина маршруту  $L$  розраховується як сума ліній, що з'єднують кожну пару навігаційних точок:

$$L = \sum_{i=1}^{n-1} d_i,$$

де  $d$  – довжина лінії, що з'єднує певну пару навігаційних точок. Мережа маршрутів використовує лінії сталих кутів (локсодромії) для з'єднання навігаційних точок. Отже, відстані між навігаційними точками не є лінійними і оцінюються як ітеративний процес:

$$d_i^{lox} = \sum_{j=1}^p r \sqrt{d\varphi^2 + \cos^2(\varphi)d\lambda^2},$$

де  $d\varphi$  та  $d\lambda$  – ітеративні прирости широти і довготи.

Розрахунок плану польоту передбачає розрахунок основних параметрів траєкторії польоту літака. Довжина кожної ланки маршруту є вхідними даними для розрахунку інших параметрів, наприклад розрахунковий час руху між навігаційними точками (Estimated Time Enroute – ETE) та час прибуття у певну навігаційну точку (Estimated Time of Arrival ETA). Усі ці параметри важливі, оскільки вказують на завантаженість кожного маршруту та послуг, що надаються провайдером аеронавігаційного обслуговування.

Ці часові параметри оцінюються на основі доступної довжини відрізка та швидкості літака. Фактична швидкість залежить від погодних даних. Шляхова швидкість  $V_{GS}$  оцінюється з урахуванням напрямку вітру (WDIR) та швидкості вітру  $V_{WS}$  на основі відомої істинної повітряної швидкості  $V_{TAS}$ . Окрім того, кут зносу (WCA) обчислюється на основі співвідношень у трикутнику вітру:

$$V_{GS}^2 = V_{TAS}^2 + V_{WS}^2 - 2V_{TAS}V_{WS} \cos(\gamma),$$

$$\gamma = 180 - WCA - \delta,$$

$$\delta = TC - (WDIR \pm 180),$$

де  $\delta$  – кут вітру; TC (True Course) – істинний курс літака.

Розрахунковий час руху між навігаційними точками оцінюється за відомої GS та довжини локсодромічної лінії шляху:

$$ETE_i = \frac{d_i^{lox}}{V_{GSi}},$$

де  $V_{GSi}$  – шляхова швидкість на  $i$ -й ділянці маршруту.

Розрахунковий час прибуття в певну навігаційну точку оцінюється як накопичення значень  $ETE$  для кожної ділянки маршруту, зсунутий на час вильоту:

$$ETA_i = ETA_{i-1} + ETE_i,$$

де  $ETA_0$  – час запланованого вильоту у форматі UTC.

На етапі планування зазвичай відомий тип літака. Базова модель літака може бути використана для розрахунку споживання палива для кожної ділянки плану польоту.

Вплив на навколишнє середовище від виконання запланованого плану польоту оцінюється на основі розрахунку обсягу викидів вуглекислого газу ( $CO_2$ ) в атмосферу. Найпростіша модель дає 3.16 кг викидів  $CO_2$  в атмосферу на 1 кг спаленого реактивного палива.

## **2.2. Розрахунок маршруту польоту з використанням системи автоматичного планування польотів**

Системи автоматичного розрахунку плану польоту та підготовки відповідної документації часто застосовуються приватними пілотами для швидкої предпольотної підготовки. Подібні системи співпрацюють з аеронавігаційною базою даних, що містить координати навігаційних точок. Як приклад розглянемо процес розрахунку маршруту польоту «KLAX DOCKR PYPES ZIMLO KEGGS COOPP ORCKA NNAVY BLAZN MDDOG COCAB JUVNO IRISH LARRE SHAND RELIN KLAS» у програмному середовищі skyvector.

Після запуску skyvector переходимо у вкладку «Flight Plan». У відкритому вікні плану польоту вставляємо послідовність навігаційних точок та задаємо налаштування швидкості, ешелону польоту, палива та часу вильоту. Необхідно проконтролювати правильність автоматичного вибору навігаційних точок. Результат візуалізації плану польоту наведено на рис. 2.

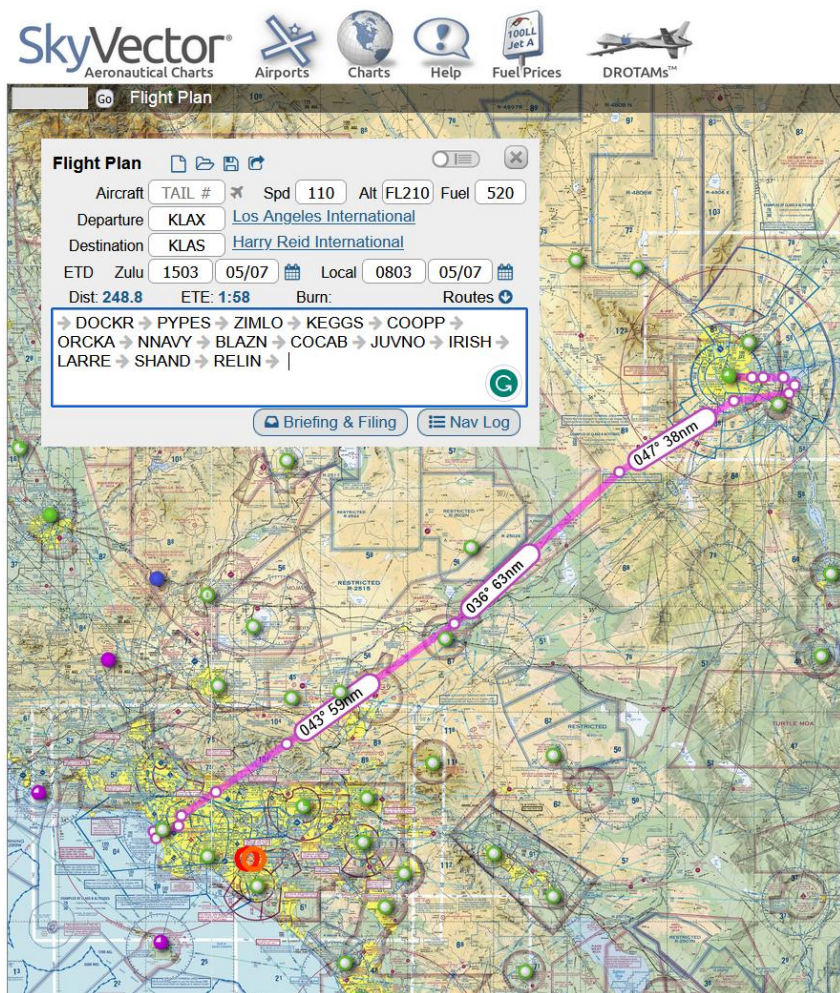


Рис. 2. Результат візуалізації плану польоту у програмному забезпеченні

Натискаючи на кнопку «Nav Log», можна переглянути розрахунок плану польоту. Зокрема для кожної ланки маршруту розраховуються магнітний курс, шляхова швидкість, відстань, оцінюються час польоту між ланками та загальний час прибуття у навігаційну точку. Окрім того, програмне забезпечення враховує прогнозовані дані погодних умов та відображає напрямок вітру, швидкість та температуру повітря. Результат розрахунку маршруту

польоту наведено на рис. 3. Під час розрахунку у програмному забезпеченні врахуйте, що для варіантів планів польоту, що містять назви маршрутів між навігаційними точками, у результат розрахунку автоматично додадуться усі навігаційні точки, розміщені на ділянці маршруту. Тобто кількість навігаційних точок значно збільшиться. Повний маршрут необхідно порівняти з наявною послідовністю навігаційних точок та встановити навігаційні точки, що додалися. Перелік додаткових точок, тобто точок розміщених на маршруті з певною назвою, необхідно відобразити у висновках.

Розрахунок палива виконується з урахуванням типу ЛА, аеродинамічної моделі та типу силової установки.

Waypoint	Route	wDir	wSpd	TAS	Track		TH	MH	GS	Dist	ETE	ATE	Fuel	Fuel
					WCA	Var					ETO	ATO	EFR	AFR
<b>KLAX</b> N 33°56.55' W 118°24.48'	↖	129°	1	71	256°	255°	243°	72	2.6	2.1		0.0		
<b>DOCKR</b> N 33°55.51' W 118°24.48'	↘	13°C (-2°)			-1°	-12°				2.1		520		
<b>PYPES</b> N 33°54.01' W 118°26.65'	↖	96°	1	73	160°	159°	147°	72	2.0	1.7		0.0		
<b>ZIMLO</b> N 33°57.53' W 118°16.96'	↘	10°C (-2°)			-1°	-12°				3.8		520		
<b>KEGGS</b> N 34°00.51' W 118°17.58'	↖	294°	3	75	61°	60°	48°	76	7.3	5.4		0.0		
<b>COOPP</b> N 34°07.27' W 118°06.03'	↘	9°C (-0°)			-2°	-12°				9.1		520		
<b>ORCKA</b> N 34°20.98' W 117°41.55'	↖	284°	14	80	15°	5°	354°	79	3.1	2.3		0.0		
<b>TOC</b> N 34°23.46' W 117°57.45'	↘	5°C (+3°)			-10°	-12°				11		520		
<b>NNAVY</b> N 34°55.18' W 116°43.68'	↖	283°	18	82	56°	47°	35°	93	12.0	7.2		0.0		
<b>BLAZN</b> N 35°07.92' W 115°46.77'	↘	3°C (+5°)			-9°	-12°				19		520		
<b>TOD</b> N 35°07.05' W 115°08.86'	↖	271°	30	89	56°	45°	33°	112	24.5	12		0.0		
<b>COCAB</b> N 35°57.89' W 114°46.21'	↘	-2°C (+9°)			-11°	-12°				31		520		
<b>JUVNO</b> N 35°59.56' W 114°46.21'	↖	267°	41	99	54°	41°	30°	131	4.2	1.9		0.0		
<b>IRISH</b> N 36°02.27' W 114°46.23'	↘	-19°C (+6°)			-13°	-12°				33		520		
<b>LARRE</b> N 36°04.41' W 114°50.16'	↖	267°	43	110	54°	42°	30°	144	54.5	23		0.0		
<b>SHAND</b> N 36°04.42' W 114°57.12'	↘	-21°C (+6°)			-12°	-12°				55		520		
<b>RELIN</b> N 36°04.42' W 115°01.02'	↖	268°	46	110	47°	31°	20°	141	63.2	27		0.0		
<b>KLAS</b> N 36°04.40' W 115°09.13'	↘	-21°C (+5°)			-16°	-11°				1h22		520		
		267°	48	110	58°	46°	34°	149	36.3	15		0.0		
		-21°C (+5°)			-12°	-11°				1h37		520		
		266°	47	117	58°	48°	36°	157	1.6	0.6		0.0		
		-22°C (+5°)			-11°	-11°				1h37		520		
		266°	46	114	82°	81°	70°	157	15.5	6.3		0.0		
		-20°C (+5°)			-1°	-11°				1h43		520		
		266°	43	106	35°	24°	13°	127	2.8	1.3		0.0		
		-18°C (+6°)			-11°	-11°				1h45		520		
		256°	30	102	304°	292°	281°	86	3.8	2.7		0.0		
		-7°C (+7°)			-12°	-11°				1h47		520		
		248°	25	99	270°	264°	253°	81	5.6	4.1		0.0		
		-3°C (+6°)			-6°	-11°				1h52		520		
		241°	20	94	270°	268°	257°	88	3.1	2.1		0.0		
		-0°C (+6°)			-2°	-11°				1h54		520		
		239°	7	92	273°	272°	261°	88	6.6	4.5		0.0		
		5°C (+4°)			-1°	-11°				1h58		520		

Рис. 3. Результат розрахунку маршруту польоту з урахуванням погоди

Окрім того, програмне забезпечення, пропонує затверджені схеми рульових доріжок аеропортів вильоту та прильоту для більшої обізнаності пілотів.

Результати автоматизованого розрахунку у програмному забезпеченні заносяться до звіту (візуалізація маршруту, таблиця параметрів та схеми рульових доріжок).

### **3. Ознайомлення з певним типом обчислювальної системи літаководіння**

Бортове обладнання літака має забезпечувати безпечний зліт, політ за заздальгідь визначеною траєкторією та посадку в точно задані проміжки часу. Отже, до складу авіоніки сучасного літака входить різноманітне обладнання, що дає змогу визначити власне місцеположення та скерувати ЛА відповідно до запланованого маршруту польоту. Більшість навігаційних засобів ґрунтується на радіотехнічному принципі, що потребує від пілота точного знання каналів і частот радіонавігаційного обладнання і вживання своєчасних дій для його налаштування та використання. FMS – це комп'ютеризована система, яка забезпечує автоматичне вирішення навігаційних завдань з урахуванням автоматичного керування радіонавігаційним обладнанням. Сьогодні FMS забезпечує виконання основних рутинних дій над обладнанням авіоніки, що залучаються для завдань навігації та допомагає льотному екіпажу приділяти більше уваги керуванню польотом.

У базовій конфігурації FMS не містить датчиків, а являє собою типову архітектуру обчислювального обладнання. Хоча сьогодні трапляються інтегровані системи FMS, що містять у своїй структурі приймач GNSS з відповідними налаштуваннями функціональних доповнень та інтегровану збірку з акселерометрів та гіроскопів, для забезпечення синхронного вимірювання орієнтації літака у просторі та залучання інерційної навігаційної системи у разі відмови основної системи позиціонування. Така інтеграція пояснюється необхідністю групування усього навігаційного обладнання для підвищення надійності та зменшення загальної вартості системи.

На ЛА, що належать до класу важких, конфігурація FMS містить два блоки обчислювачів, розміщених у спеціалізованому відсіку для авіоніки, та два багатофункціональні блоки керування та відображення інформації (Multifunction Control and Display Unit –

MCDU). Обидва MCDU розмішуються в кабіні пілота на середній панелі в зоні доступності кожного пілота. Обидва MCDU працюють незалежно на два обчислювача з паралельним з'єднанням. У разі виходу з ладу одного з обчислювачів, обидва MCDU продовжують працювати зі справним комплектом. Незалежна архітектура MCDU дозволяє обом пілотам виконувати різні налаштування одночасно.

Основними системами, що забезпечують видавання даних на FMS, є:

- приймач GNSS;
- інерціальна навігаційна система;
- система повітряних сигналів;
- інструментальна система посадки;
- бортове обладнання всепрямованих надвисокочастотних радіомаяків (VOR);
- бортове обладнання вимірювання дальності (DME);
- автоматичний радіокомпас;
- радіовисотомір.

Узагальнену структурну схему функціональних зв'язків FMS з іншими обладнаннями показано на рис. 4.

Результати обчислень відображаються пілотам через MCDU та на дисплеях системи електронної індикації. FMS з'єднано з панеллю контролю радіонавігаційного обладнання для передавання команд керування бортовим обладнанням зв'язку та навігації. Окрім того, FMS надсилає команди керування для силової установки та взаємодіє з автопілотом.

Під час виконання домашнього завдання пропонується використовувати FMS «GNX-Xls» виробництва Honeywell. Зовнішній вигляд MCDU «GNX-Xls» показано на рис. 5. Структура MCDU містить екран та кнопочні засоби введення інформації. Інтерфейс MCDU містить дисплей, по центру ліворуч та праворуч від якого розміщені кнопки вибору певної частини інформації, що відображається на дисплеї. Кнопки вибору режиму роботи, розміщені зверху, дають змогу обрати потрібне меню: навігації «NAV», вертикальної навігації «VNAV», плану польоту «FPL», розрахунку параметрів «PLAN», керування курсом літака «HDG» та налаштування обладнання зв'язку «TUNE».

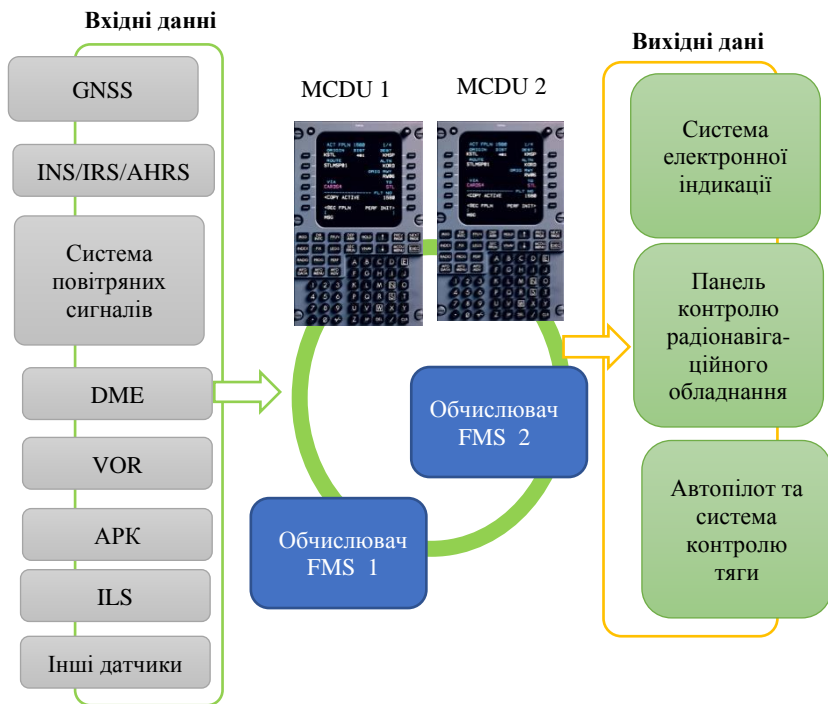


Рис. 4. Узагальнена структурна схема функціональних зв'язків FMS з іншим обладнанням авіоніки

Ліворуч від екрана розташовані органи навігації у вибраному режимі, а праворуч – клавіатура для ведення цифрових даних. Знизу розміщено клавіатуру для введення літерної інформації.

У внутрішній пам'яті обчислювача FMS зберігається аеронавігаційна база даних, що містить такі таблиці:

- навігаційні точки;
- відомості про наземні кутомірні та делекомірні радіомаяки;
- інформацію про аеропорти;
- дані про злітно-посадкові смуги;
- стандартні схеми SID, IAP та STAR;
- маршрути та ін.

Інформація з цієї бази даних відображається пілоту через Систему електронної індикації у певний час.

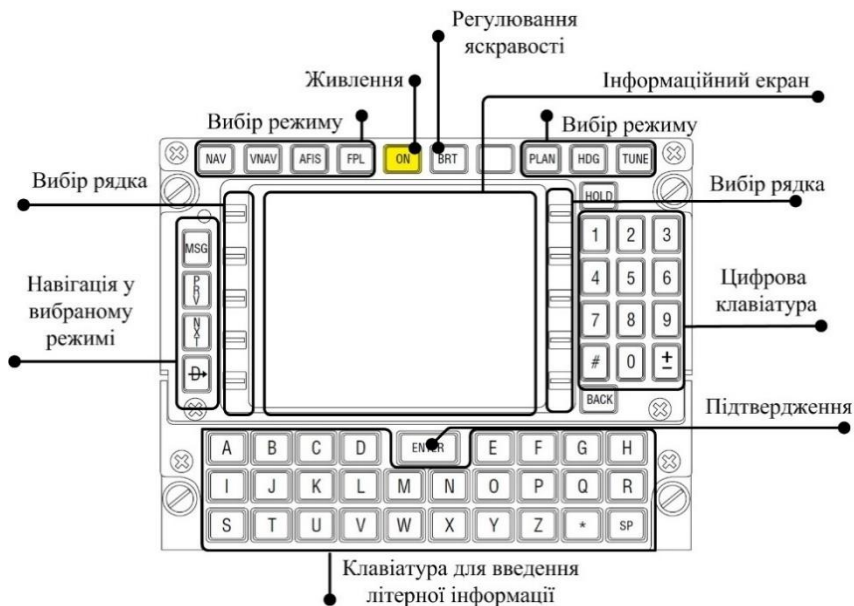


Рис. 5. Інтерфейс «GNX-X1s»

Іншим важливим завданням FMS є обчислення точного місцеположення ЛА, для вирішення якого може використовуватися алгоритм поєднання координатної інформації за зваженим методом, чи простий вибір координат за найвищою точністю. Водночас виконується перевірка відповідності точності позиціонування, вимогам навігаційних специфікацій, що діють у певному повітряному просторі. Загальну структурну схему поєднання координатної інформації у FMS показано на рис. 6.

Слід зазначити, що FMS може містити алгоритми позиціонування за методом числення шляху (за відомими координатами попереднього місцеположення, курсовим кутом, швидкістю та кроком часу) та методи позиціонування за парами радіонавігаційних засобів. Ці алгоритми належать до резервних методів позиціонування, що застосовуються у разі відмови основної системи позиціонування на тривалий період часу. Алгоритми позиціонування за парами радіонавігаційних даних використовують результати вимірювання відстані чи кутів до наземних радіомаяків. З використанням відомих координат місцеположення радіомаяків

виконується обчислення навігаційного рівняння за одним з методів: DME/DME, VOR/DME чи VOR/VOR.

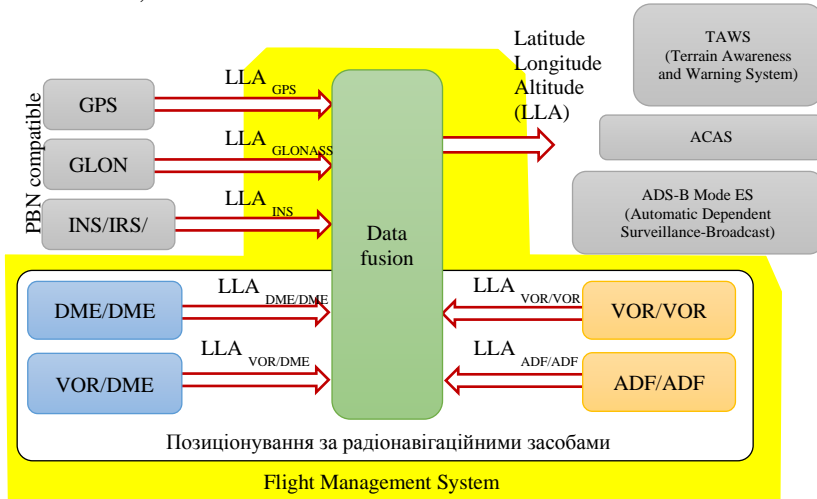


Рис. 6. Структурна схема поєднання координатної інформації у FMS

#### 4. Порядок програмування обчислювальної системи літаководіння

Як приклад розглянемо процес програмування FMS «GNX-Xls» виробництва Honeywell.

Для ознайомлення з основними можливостями FMS пропонується переглянути навчальний відеоматеріал, доступний за посиланнями:

[https://www.avionics.sciary.com/flight\\_management\\_system\\_programing](https://www.avionics.sciary.com/flight_management_system_programing)

<https://youtu.be/fog9hkBYNhk>

У разі, якщо ваш маршрут містить назви маршрутних ланок, тоді для програмування плану польоту використайте повну послідовність навігаційних точок, отриману за результатами розрахунку у плані польоту у програмному забезпеченні п.п. 2.2. Як приклад розглянемо програмування наступного плану польоту: «KLAX BASAL DAG KLAS».

Порядок програмування маршруту польоту у «GNX-Xls»:

1. Увімкнути FMS натисканням клавіші «ON» (рис. 7).

2. У меню ініціалізації («INITIALIZATION») задати дату, час та код ICAO аеропорту місцезнаходження літака (рис. 7). Щоб вибрати місце введення даних, користуйтеся кнопками зліва і справа екрана. Після введення ідентифікатора аеропорту місцезнаходження FMS надасть інформацію стосовно результатів пошуку ідентифікатора аеропорту у внутрішній базі даних у вікні «DATABASE WPT» (рис. 8). Підтверджуємо намір використати координати місцезнаходження з бази даних натисканням клавіші «ENTER». Після цього координати місцезнаходження літака привірюються на центр аеропорту польоту, чи на певну злітно-посадкову смугу.



Рис. 7. Введення ідентифікатора аеропорту вильоту

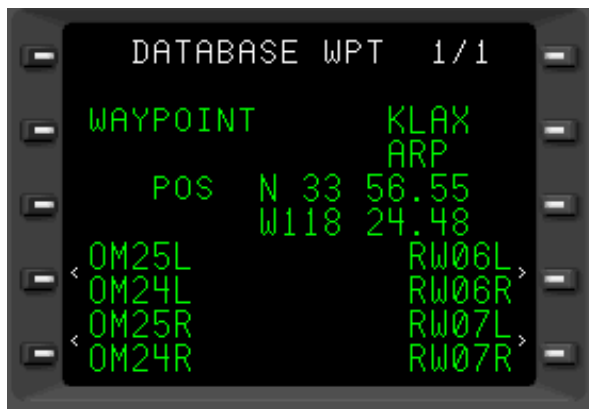


Рис. 8. Результати пошуку за базою даних аеропортів

3. Створення і програмування нового плану польоту літака.

3.1. Подвійним натисканням клавіші «FPL» перейти до меню активного плану польоту «ACTIVE FPL» (рис. 9).

3.2. У меню «ACTIVE FPL» ввести аеропорт вильоту та послідовність навігаційних точок, що визначає маршрут польоту з фінальною точкою в аеропорті призначення (рис. 10).



Рис. 9. Меню активного плану польоту «ACTIVE FPL»



Рис. 10. Програмування послідовності навігаційних точок

3.3. Виконати налаштування схеми SID та обрати злітно-посадкову смугу у разі, якщо вона не задана у підменю «DEPARTURE» меню «ACTIVE FPL» (рис. 11). При цьому контрольні точки маршруту SID потраплять до загального плану польоту (рис. 12).

3.4. Виконати налаштування схеми STAR у підменю «ARRIVE» меню «ACTIVE FPL» (рис. 13). При цьому контрольні точки маршруту STAR потраплять до загального плану польоту.

3.5. Виконати налаштування заходження на посадку в підменю «APCH» меню «ACTIVE FPL» (рис. 14). Обрати злітно-посадкову смугу, тип та точку входу. Після затвердження обраної схеми переглянути в меню «ACTIVE FPL» за допомогою клавіш «PRV» і «NXT» увесь план польоту.

3.6. Налаштувати першу ділянку маршруту польоту в меню «NAV». Натиснути тричі клавішу «ENTER» для автоматичного розрахунку навігаційних параметрів.

3.7. Задати висоти прольоту всіх точок створеного плану польоту в меню «VNAV» (рис. 15).



Рис. 11. Налаштування схеми вильоту



Рис. 12. Навігаційні точки SID у загальному плані польоту



Рис. 13. Налаштування схеми польоту



Рис. 14. Налаштування схеми заходження на посадку



Рис. 15. Задання висот польоту певних навігаційних точок

3.8. У меню «PLAN» задати на власний розсуд:

– масу палива, наявну на борту:

«PLAN» > «FUEL STATUS» > REMAINING ;

– масу зарезервованого палива для зворотного польоту:

«PLAN» > «FUEL STATUS» > RESERVE;

– масу літака:

«PLAN» > «AIRCRAFT WEIGHT» > BASIC OP WT;

– завантаженість літака:

«PLAN» > «AIRCRAFT WEIGHT» > PAYLOAD.

3.9. Розпочати моделювання польоту літака за заданими параметрами. Після початку моделювання в меню «ACTIVE FPL» розрахувати навігаційні дані для кожної точки плану польоту. Слід зауважити, що фінальний план польоту може містити досить довгий перелік навігаційних точок, розмішений на декількох сторінках меню. Для навігації між сторінками використати кнопки «PRV» та «NXT» у межах кожного меню. Приклад запрограмованого плану польоту на трьох сторінках наведено на рис. 16, 17 та 18.



Рис. 16. Відстань між навігаційними точками



Рис. 17. Результат розрахунку часу польоту до певної навігаційної точки



Рис. 18. Результат розрахунку часу прибуття у навігаційну точку

4. Ознайомитися з інформацією, доступною в меню «NAVIGATION», «VNAV», «PLAN», «HDG», «TUNE» та взяти до звіту фото з екрана FMS усіх сторінок, кожного із зазначених меню, включно з «FPL».

5. Результати розрахунку плану польоту, доступні в меню «ACTIVE FPL», занести до табл. 1 звіту.

Таблиця 1

### Результати розрахунку плану польоту в FMS

№ з/п	Ідентифікатор навігаційної точки	Відстань	Висота прольоту	Час польоту	Час прибуття
1	GMN	18	FL 210	00:09	01:01
2	BASAL	99	FL 210	00:03	01:05
3	DAG	19	FL 210	00:55	02:00
4	BSE	264	FL 210	00:15	02:16

6. Проаналізувати результати обчислень FMS та визначити загальний час польоту, загальну довжину маршруту та час прибуття в аеропорт призначення з показів меню «TRIP PLAN».

## Вимоги до оформлення звіту

Оформлення звіту та порівняння отриманих результатів.

Звіт з домашнього завдання має містити:

- титульний аркуш;
- зміст;
- варіант індивідуального завдання;
- інформацію про аеропорт вильоту;
- інформацію про аеропорт призначення;
- розрахунок плану польоту в автоматизованому програмному забезпеченні;
- результати розрахунку маршруту польоту в FMS у вигляді табл. 1;
- результат програмування FMS;
- висновки.

У висновках навести результати порівняння отриманих даних стосовно розрахунку параметрів маршруту. До висновків обов'язково включити загальний час польоту, загальну довжину маршруту та час прибуття в аеропорт призначення. Також якщо Ваш план польоту містив приховані навігаційні точки, вкажіть їх перелік у висновках.

Формат звіту доступний для завантаження за посиланнями:

- [http://www.ans.nau.edu.ua/main/download/ha\\_avionics.doc](http://www.ans.nau.edu.ua/main/download/ha_avionics.doc)  
(україномовний варіант);
- [http://www.ans.nau.edu.ua/main/download/ha\\_avionics\\_eng.doc](http://www.ans.nau.edu.ua/main/download/ha_avionics_eng.doc)  
(англомовний варіант).

## Контрольні запитання для самоперевірки

1. Які компоненти входять до складу типової FMS?
2. Які завдання вирішує FMS?
3. У чому відмінність FMS та MCDU?
4. Які сенсори можуть інтегруватися до внутрішньої структури FMS?
5. Які системи забезпечують видавання даних для FMS?
6. На яких дисплеях пілот може отримати інформацію, обчислену в FMS?
7. Які бази даних зберігаються у внутрішній пам'яті FMS?
8. Які алгоритми позиціонування застосовуються у FMS?
9. Навіщо FMS з'єднання з панеллю керування радіонавігаційним обладнанням?

10. У яких меню FMS можна переглянути відстань та час прибуття до найближчої навігаційної точки маршруту?
11. У якому меню FMS вказується висота польоту навігаційної точки?
12. У якому меню FMS можна ознайомитись із залишком палива на борту?
13. У якому меню FMS можна ознайомитись із заданим курсом літака?
14. У якому меню FMS можна ознайомитись зі шляховою швидкістю?
15. У якому меню FMS можна обрати метод визначення координат за приймачем GNSS чи за наземними радіонавігаційними засобами?
16. У якому меню FMS можна переглянути показник цілісності навігаційних даних та справність навігаційних супутників?
17. У якому меню FMS можна змінити частоту бортового обладнання зв'язку?
18. У якому меню FMS можна ознайомитись із загальною вагою літака з урахуванням наявного палива?
19. У яких одиницях вимірювання відображаються дані відстані між навігаційними точками?
20. У яких одиницях вимірювання можна задавати обсяг палива?
21. У якому меню FMS можна отримати загальний час польоту, загальну довжину маршруту та час прибуття у аеропорт призначення?

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. GNS-XLS. Flight management system. Manual. Honeywell, 2000. 415 p.
2. Honeywell. Режим доступу: <https://www.honeywell.com>
3. Ivashchuk O., Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. A Graph Analysis of Aviation Enroute Network. 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). 2022. P. 396-399. <https://www.doi.org/10.1109/ACIT54803.2022.9913097>.
4. Ivashchuk O., Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S., Sushchenko O., Averyanova Yu., Solomentsev O., Zaliskyi M., Yanovsky F., Shcherbyna O. A Configuration Analysis of Ukrainian Flight Routes Network. 2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM). 2021. P. 6-10. <https://www.doi.org/10.1109/CADSM52681.2021.9385263> .
5. Flight plan database. Режим доступу: <https://flightplandatabase.com>
6. Kuzmenko N.S., Ostroumov I.V. An Analysis of Feature Detectors Usage in the Task of Lunar Crater Detection. Actual problems of unmanned aerial vehicles development: APUAVD-2021 6th International Conference of IEEE. 2021. P. 174-178. <https://www.doi.org/10.1109/APUAVD53804.2021.9615411> .
7. Kuzmenko N.S., Ostroumov I.V. Modeling of air traffic losses caused by war in Ukraine. 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPI Week). 2022. P. 14-17. <https://www.doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916485> .

8. Kuzmenko N.S., Ostroumov I.V. Navigation by Pair of Distance Measuring Equipment with Extrapolated Data. 2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). 2022. P. 70-74. <https://www.doi.org/10.1109/TCSET55632.2022.9766941> .
9. Kuzmenko N.S., Ostroumov I.V. Performance Analysis of Positioning System by Navigational Aids in Three Dimensional Space. System Analysis & Intelligent Computing: SAIC 2018 1st International Conference of IEEE. 2018. P. 101-104. <https://www.doi.org/10.1109/SAIC.2018.8516790> .
10. Kuzmenko N.S., Ostroumov I.V., Bezkorovainyi Y., Averyanova Yu., Larin V., Sushchenko O., Zaliskyi M., Solomentsev O. Airplane Flight Phase Identification Using Maximum Posterior Probability Method. System Analysis & Intelligent Computing : SAIC 2022 3rd International Conference of IEEE. 2022. P. 1-5. <https://www.doi.org/10.1109/SAIC57818.2022.9922913> .
11. Kuzmenko N.S., Ostroumov I.V., Kharchenko V.P. Improving the Accuracy of Aircraft Positioning by Navigational Aids Using Kalman Filter. Signal Processing Symposium: SPSympo-2019, International Conference of IEEE. 2019. P. 109-114. <https://www.doi.org/10.1109/SPS.2019.8882072> .
12. Kuzmenko N.S., Ostroumov I.V., Marais K. An Accuracy and Availability Estimation of Aircraft Positioning by Navigational Aids. Methods and Systems of Navigation and Motion Control: MSNMC 2018 5th International Conference of IEEE. 2018. P. 36-40. <https://www.doi.org/10.1109/MSNMC.2018.8576276> .
13. Ostroumov I.V. Air Traffic Service Route Network Analysis to Support Local Traffic. 2022 12th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT). 2022. P. 1-5. <https://www.doi.org/10.1109/DESSERT58054.2022.10018765>.
14. Ostroumov I.V., Ivashchuk O. Risk of mid-air collision estimation using minimum spanning tree of air traffic graph. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings of the 2st International Workshop on Computational & Information Technologies for Risk-Informed Systems CITRisk-2021. 2022. № 3101. P. 322-334.
15. Ostroumov I.V., Ivashchuk O., Kuzmenko N.S. Preliminary Estimation of war Impact in Ukraine on the Global Air Transportation. 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). 2022. P. 281-284. <https://www.doi.org/10.1109/ACIT54803.2022.9913092>.
16. Ostroumov I.V., Ivashchuk O., Shmeleva T. Risk of mid-air collision in a lateral plane. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings of the 1st International Workshop on Computational & Information Technologies for Risk-Informed Systems CITRisk-2020. 2021. № 2805. P. 297-307.
17. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. A Probability Estimation of Aircraft Departures and Arrivals Delays. Gervasi O. et al. (eds) Computational Science and Its Applications – ICCSA 2021. ICCSA 2021. Lecture Notes in Computer Science. 2021. № 12950. P. 363-377 [https://www.doi.org/10.1007/978-3-030-86960-1\\_26](https://www.doi.org/10.1007/978-3-030-86960-1_26).
18. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. An area navigation RNAV system performance monitoring and alerting. System Analysis & Intelligent Computing: SAIC 2018 1st International Conference of IEEE. 2018. P. 211-214. <https://www.doi.org/10.1109/SAIC.2018.8516750>.

19. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Applications of Artificial Intelligence in Flight Management Systems. In T. Shmelova, Y. Sikirda, & A. Sterenharz (Eds.), Handbook of Research on Artificial Intelligence Applications in the Aviation and Aerospace Industries, Hershey, PA: IGI Global. <https://www.doi.org/10.4018/978-1-7998-1415-3.ch007>.
20. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Collision Avoidance Systems, airplanes. In International Encyclopedia of Transportation. vol. 2. 4569 p. UK: Elsevier Ltd., 2021. 164-172p. <https://www.doi.org/10.1016/B978-0-08-102671-7.10514-7>.
21. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Collision Avoidance Systems, airplanes. In Vickerman, Roger. International Encyclopedia of Transportation. vol. 2. 4569 p. UK: Elsevier Ltd., 2021. 164-172p. <https://www.doi.org/10.1016/B978-0-08-102671-7.10514-7>.
22. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Configuration Analysis of European Navigational Aids Network. 2021 Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference (ICNS). 2021. P. 1-9. <https://www.doi.org/10.1109/ICNS52807.2021.9441576>.
23. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Cybersecurity analysis of navigation systems in civil aviation. 2022 IEEE 41th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). 2022. P. 478-483. <https://www.doi.org/10.1109/ELNANO54667.2022.9927038>.
24. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Incident detection systems, airplanes. In Vickerman, Roger. International Encyclopedia of Transportation. vol. 2. 4569 p. UK: Elsevier Ltd., 2021. 351-357p. <https://www.doi.org/10.1016/B978-0-08-102671-7.10150-2>.
25. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Incident detection systems, airplanes. In Vickerman, Roger. International Encyclopedia of Transportation. vol. 2. 4569 p. . UK: Elsevier Ltd., 2021. 351-357p. <https://www.doi.org/10.1016/B978-0-08-102671-7.10150-2>.
26. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Modelling and simulation of DME Navigation global Service volume. Advances in Space Research. 2021. № 8(68). P. 3495-3507 <https://www.doi.org/10.1016/j.asr.2021.06.027>.
27. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Passive system for navigational aids performance monitoring. Telecommunications and Radio Engineering. 2021. № 80(5). P. 1-9 <https://www.doi.org/10.1615/TelecomRadEng.2021037156>.
28. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Performance Modeling of Aircraft Positioning System. Conference on Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering–Synergetic Engineering – ICTM 2021. ICTM 2021. Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. № 367. P. 297-310 [https://www.doi.org/10.1007/978-3-030-94259-5\\_26](https://www.doi.org/10.1007/978-3-030-94259-5_26).
29. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Performance of VOR/DME Navigation Aided by Altimeter Data. 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). 2022. P. 428-431. <https://www.doi.org/10.1109/ACIT54803.2022.9913164>.
30. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Reference Frame Based on Arch Length of non-Linear Function for Smart Navigation System. 2022 12th International Conference on

Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT). 2022. P. 1-4. <https://www.doi.org/10.1109/DESSERT58054.2022.10018760>.

31. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Risk Analysis of Positioning by Navigational Aids. Signal Processing Symposium: SPSympo-2019, International Conference of IEEE. 2019. P. 92-95. <https://www.doi.org/10.1109/SPS.2019.8882003>.

32. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Statistical Analysis and Flight Route Extraction from Automatic Dependent Surveillance-Broadcast Data. 2022 Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference (ICNS). 2022. P. 1-9. <https://www.doi.org/10.1109/ICNS54818.2022.9771515>.

33. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S., Bezkorovainyi Y., Averyanova Yu., Larin V., Sushchenko O., Zaliskyi M., Solomentsev O. Relative navigation for vehicle formation movement. 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPI Week). 2022. P. 10-13. <https://www.doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916414>.

34. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S., Kyzymchuk O. Automatic Dependent Surveillance-Broadcast Trajectory Data Processing. 2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). 2022. P. 43-47. <https://www.doi.org/10.1109/TCSET55632.2022.9767058>.

35. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S., Kyzymchuk O. Estimation of Geodetic Altitude from Barometric One with Actual Meteorological Aerodrome Report Data. 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). 2022. P. 375-378. <https://www.doi.org/10.1109/ACIT54803.2022.9913147>.

36. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S., Marais K. Optimal Pair of Navigational Aids Selection. Methods and Systems of Navigation and Motion Control: MSNMC 2018 5th International Conference of IEEE. 2018. P. 32-35. <https://www.doi.org/10.1109/MSNMC.2018.8576293>.

37. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S., Sushchenko O., Averyanova Yu., Shcherbyna O., Solomentsev O., Yanovsky F., Zaliskyi M. Ukrainian Navigational Aids Network Configuration Estimation. 2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM). 2021. P. 5-9. <https://www.doi.org/10.1109/CADSM52681.2021.9385226>.

38. Ostroumov I.V., Marais K., Kuzmenko N.S. Aircraft positioning using multiple distance measurements and spline prediction. Aviation. 2022. № 26(1). P. 1-10. <https://www.doi.org/10.3846/aviation.2022.16589>.

39. Skyvector. Режим доступу: <https://skyvector.com/>

40. Остроумов І.В., Заліський М., Кузьменко Н.С. Авіоніка (Обладнання повітряних кораблів). Київ: НАУ, 2021. 56с.

41. Остроумов І.В., Кузьменко Н.С. Навігація, заснована на характеристиках. Київ: НАУ, 2021. 56с.

42. Остроумов І.В. Авіоніка. К. : НАУ, 2013. 281с.

## Варіанти завдань

**Примітка.** Назви маршрутів (виділено жирним шрифтом) під час розрахунку плану польоту у програмному забезпеченні обов'язково враховувати. Встановити проміжні навігаційні точки, що знаходяться на маршруті з певною назвою, і використати їх при програмуванні плану польоту у FMS. Також звернути увагу на те, що у маршрутах зазначаються навігаційні точки, у яких змінюється вектор руху літака. Навігаційні точки, що знаходяться на маршруті з одною назвою і в них ЛА не змінює свій вектор руху, не зазначаються під час ідентифікації маршруту.

1. CYUL XULTA KELVI KROWN TOMES SORRY BLINZ ROSLY FEXAK KJFK
2. CYYZ LEPOS **T616** HOCKE **Q824** FNT **J547** PMM KORD
3. EDDF OBOKA DIBIR GODOS NATEB L602 TLA MIMKU SAVRY N806A LAKES MCKEE VETRO SSM JODEE GAULT OBSTR CSTLO VIO WLTER RHIVR PAITN WYNDE FIYER ERNNY PAPPY TUBEZ VULCN KORD
4. KAPA DBL HVE UJACI MOJVI BCE ETYIR CEXAT POBME MATZO JEZOB JITKA PHYLI MMM KHND
5. KAPA LOZUL **V160** HBU **J128** TBC **J236** EED **V208** TNP KPSP
6. KAPA SELLS **J154** GCK **V10** DDC **V74** ANY **V516** DOREC KRVS
7. KAPA TXC **V4** GLD **J80** CATTs KMKC
8. KAPA VOAXA **Q134** DUGLE KSQL
9. KATL ATL **J14** PNH **J6** DRK **J231** HIPPI **J10** TNP **V264** YUCCA KLAX
10. KATL CALOK SUG BZM LYH GVE OTT PALEO TACKS OOD KJFK
11. KATL CALOK **V222** SUG **V20** BZM **V222** LYH **J37** GVE **J150** OTT **J51** DQO KLGA
12. KATL ODF **J48** PTW **V403** SBJ **J75** CMK **V3** SORRY KBOS
13. KATL SOONE **J89** OTK **T205** OCF **V537** CERMO INPIN **J55** RELLI KMIA
14. KATL VNA **V243** AYS **T207** OMN **J79** MALET **V3** MLB **V492** ANGEE **BR62V** ZFP **BR65V** LAUTH MYNN
15. KATL WEONE **J239** MEI **J20** MHZ **V245** AEX **J50** LFK **J27** PUFER KSAT
16. KBOS GDM **Q935** AUDIL KBUF
17. KBOS HTO **V51** ORF **J174** DIW **AR19** JENKS **M201** BAHAA **AR15** HIBAC **AR17** VKZ KMIA
18. KBOS NHANT HURBE ORRRR FENWY BUCYK JSTER SSOXS BUZRД SEY PARCH CCC ROBER JFK KJFK

*Продовження додатка А*

19. KBOS SORRY V3 CMK J75 SBJ V403 PTW J48 CSN V140 HOODE  
FANPO Q40 YICUT J22 VUZ J52 FIBER V278 BESOM Q38 ROKIT  
KHOU
20. KBOS SORRY V3 CMK J75 SBJ V403 PTW J48 ODF KATL
21. KBOS VEERS T212 LAAYK T216 FQM V226 CIP KCAK
22. KBOS VEERS T212 LAAYK T216 FQM V226 CIP V30 VOLAN V210 TVT  
KDAY
23. KCAK EARED V58 PSB V30 SEG KABE
24. KCAK EARED V58 PSB V30 SEG V6 SNOWY KTEB
25. KCAK FARLN V133 HVQ J85 SPA J53 IRQ J85 TAY J119 FAGAN KPIE
26. KCAK JPU V59 PSK V37 CAE J51 SAV J103 OMN J79 MALET V3  
MLBSO KFLI
27. KCAK LEJOY J518 IHD KIAD
28. KIAD CARML V3 RDU J207 FLO J55 CHS V1 CRG J55 LOULO WEBBS  
V157 LAL V7 RSW J41 GIGIH FIS G765 MAXIM UG765 CZM UB764  
PENRU MSLP
29. KIAD COLNS J134 HNN V174 YRK KLUK
30. KIAD COLNS J134 STL J110 BUM J134 LBL J19 FTI J18 SJN V190  
CAMVI KPHX
31. KIAD COLNS J134 STL J110 RSK J64 TBC J128 PGS J64 HEC V442  
APLES KLAX
32. KIAD MXE V3 NYACK V188 CMK V3 SORRY KBOS
33. KJFK RBV J230 COPEL J75 CAE J51 SAV J103 OMN LAMMA CEPON  
HARNY CWRLD NOBBS FOBUK FITEM SPURR AMICI KMCO
34. KLAS JEZOB V235 MATZO V8 BCE J60 DVV V8 AKO V80 LBF J10  
OBH J100 DBQ V246 JVL V63 BAE V2 MKG V450 CLOCK TRUFA  
SLLAP Q848 MENKO Q824 DESKI CYMX
35. KLAS SVERE BESSY JEBBB CAKNU NATEE WHIGG WNCHL ANJLL  
RAVON LYCOM FAYZE KURXO KLAX
36. KLAX APLES V442 HEC J64 PGS J128 TBC J64 RSK J110 ALS J102 SLN  
J24 MCI J80 VHP V50 DQN V12 COFAX J152 HAR V162 DUMMR KJFK
37. KLAX BASAL V394 DAG KLAS
38. KLAX DERBB J1 AVE V107 PXN V301 SUNOL T263 SGD V108 STS  
V494 GETER V27 ENI C1486 VESPA K ZANNG E 50N140W K 56N160W  
C NUZAN J NIPPI R220 NODAN ALICE V35 MQE Y124 GTC Y142  
SAMON Y14DGC Y28 ISAKY Z20 POTET A593 PUD A599 JTN A599  
PLT W19 BILAT VHHH
39. KLAX LAS BAWER KU51Q JNC DVV LBF FOD KG75M DAFLU J70  
LVZ KJFK
40. KLAX LAS DVC KD51U HGO KD54A KK54C MCI KK57I SPI VHP ROD  
DJB JHW LVZ KJFK
41. KMIA AMNDA A699 RAMJT AR18 DIW J174 ORF J121 SIE KJFK
42. KMIA CYY Q102 LEV J86 JCT J2 FST V222 SFL V94 EWM J184 BXK  
T306 PSP KLAX
43. KMIA RELI J55 INPIN CERMO V537 OCF T205 OTK J89 SOONE KATL

44. KMIA VKZ **BR53V** RAJAY **A555** IDAHO **RTE6** STT **B520** PASIC TNCM
45. KORD ACITO ADELL ARLYN STL FSM KOMMA RRNET KDFW
46. KORD BVT **J89** IJU **J99** VXV **J46** AHN **V267** CRG **J113** LLNCH KMIA
47. KORD BVT **J89** IJU **J99** VXV **J46** AMG **V157** AYS **T207** VQQ **J81** KRSTN  
KMCO
48. KORD ENAME **V6** IOW **J192** PWE **J64** TBC **J128** PGS **J64** HEC **V442**  
APLES KLAX
49. KORD JOT **J96** PIA **V586** UIN **V63** HLV **J181** OKM **V161** UKW **V16**  
HIBIS KABI
50. KORD MSN **V228** DLL **J538** DLH **J89** YWG **J515** YQV **V302** YXE **J576**  
YWV **NCA11** YESKA PANC
51. KORD OLINN OREOS OBENE OGALE LNK **J60** DBL ZAKRY BLD TNP  
TRM KRIV KORD ENAME **V6** IOW **J146** LNK **J60** HCT **J128** FQF KAPA
52. KORD PMM **J547** FNT **Q824** HOCHE **T616** LEPOS CYYZ
53. KORD VORIN **J146** IOW **J10** OBH **J100** EKR **J84** MELTS KSFO
54. KSFO MELTS **J84** EKR **J100** OBH **J10** IOW **J146** JOT **J60** DJB **V6** CIP  
**V226** ETG **J146** MIP **V232** LYTEL KLGA
55. KSFO MKNNA **T331** NTELL CZQ **J110** BLD **J72** SPS **J58** AEX **J50** CEW  
**J2** DEFUN **Q104** HEVVN **V521** CTY **V579** GNV **T208** CARRA **T207** OMN  
**Y585** ELMUC **L451** SLUGO TNCM
56. KSFO RANCK **V485** ROM **V137** AVE **J1** DERBB KLAX
57. KSFO RANCK **V485** ROM **V137** AVE **J1** DERBB **T263** FIM **J1** LAX KSAN
58. KSFO SEEMS BEBOP **R464** SOMOH PHNL
59. KSFO URRSA NEPIC CFFJZ UTOOB HOMKA EUGEN SHOEY SAGUE  
PENNI FLOKK HMPBK WONGO MARRV OINGO SERCO SUPNY  
FANKO CAADE SUMMR MUELR SIPPP MKGEE EVOSE DOCKR KLAX
60. KSRQ LOULO **J55** CRG **V1** CHS **J79** SBY **V1** HOWIE KFRG
61. KSRQ SRQ **Q100** LEV **J86** CUZZZ KAUS
62. MMMX APN **UT19** MID **UJ18** EPNAS MMUN
63. MMMX PTJ **UJ65** MLM **UJ12** VOGAS MMGL
64. MMMX QET **UJ5** TIJ **J1** TEYON KLAX
65. MMMX QET **UJ5** ZCL **UT10** PPE PPE **J93** PDZ **J50** LANDO **J6** AVE **V137**  
ROM **V485** RANCK KSFO
66. PAJN FAKES **J541** YAK **J501** JOH PANC
67. PAJN MITOM **NCA10** YQU **J515** YXE **V302** YQV **J515** VLR CYWG
68. PAJN MITOM **NCA34** YYD **J569** GTF **J13** BIL **J136** MBW **V118** LAR  
KDEN
69. PAJN WUBDO **A15** ICK ANN **J502** YZT **V317** COHOE CYVR
70. PAJN WUBDO **A15** ICK ANN **J502** YZT **V317** CORMO CYQQ

*Навчальне видання*

**АВІОНІКА  
(ОБЛАДНАННЯ ПОВІТРЯНИХ КОРАБЛІВ)**

**Методичні рекомендації  
до виконання домашнього завдання  
для здобувачів вищої освіти  
ОС «Бакалавр» спеціальності 272  
«Авіаційний транспорт»**

Укладачі: **ОСТРОУМОВ Іван Вікторович**  
**БЛАГАЯ Людмила Володимирівна**

**В авторській редакції**

**Технічний редактор А.І. Лавринович**  
**Коректор О.О. Крись**  
**Комп'ютерна верстка**

Підп. до друку 0 .0 .09. Формат 60x84/16. Папір офс.  
Офс. друк. Ум. друк. арк. 2,65. Обл.-вид. арк. 2,75.  
Тираж 100 пр. Замовлення № - . Вид. № 90/ III.

Видавництво Національного авіаційного університету «НАУ-друк»  
03680. Київ-680, проспект Любомира Гузара, 1.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 977 від 05.07.2002