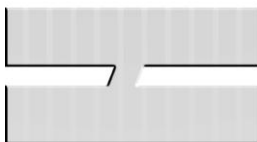




МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет



НАВІГАЦІЯ ЗАСНОВАНА НА ХАРАКТЕРИСТИКАХ

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
для здобувачів вищої освіти
ОС «Бакалавр» спеціальності 272
«Авіаційний транспорт»



VIVERE!
VINCERE!
CREATE!

Київ 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет

НАВІГАЦІЯ ЗАСНОВАНА НА ХАРАКТЕРИСТИКАХ

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
для здобувачів вищої освіти
ОС «Бакалавр» спеціальності 272
«Авіаційний транспорт»

Київ 2021

УДК 629.7.052(076.5)
Н 153

Укладачі: *І. В. Остроумов* — д-р техн. наук, професор кафедри;
Н. С. Кузьменко — канд. техн. наук, завідувач відділом

Рецензент *М. Ю. Заліський* — д-р техн. наук, доц.,
професор кафедри телекомунікаційних
та радіоелектронних систем
(Національний авіаційний університет)

*Затверджено Науково-методично-редакційною радою
Національного авіаційного університету
(протокол № 2/21 від 12.11.2021 р.).*

Навігація заснована на характеристиках: лабораторний
Н 153 практикум / уклад.: І. В. Остроумов, Н. С. Кузьменко. – К. : НАУ, 2021. –
56 с.

Містить теоретичні відомості та методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт із дисципліни «Навігація заснована на характеристиках».

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

Умовні позначення та скорочення

ADF	<i>Automatic Directional Finder</i> (Автоматичний Радіокомпас)
ADS-B	<i>Automatic Dependent Surveillance Broadcast</i> (Автоматичне залежне спостереження у широкомовному режимі)
AOA	<i>Angle of Arrival</i> (Кутомірний метод)
ANSP	<i>Air Navigation Service Provider</i> (Провайдер аеронавігаційних послуг)
APNT	<i>Alternative Positioning, Navigation and Timing</i> (Концепція альтернативного позиціонування, навігації та часу)
DME	<i>Distance Measuring Equipment</i> (Далекомірне обладнання)
ECEF	<i>Earth-Centered Earth-Fixed</i> (Декартова система координат зафіксована за центром Земної кулі)
FMS	<i>Flight Management System</i> (Обчислювальна система літаководіння)
FTE	<i>Flight Technical Error</i> (похибка пілотування)
GNSS	<i>Global Navigation Satellite system</i> (Глобальна супутникова навігаційна система)
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i> (Міжнародна організація цивільної авіації)
LLA	<i>Latitude, Longitude, Altitude</i> (Широта, довгота, висота геоцентрична система координат)
MATLAB	<i>Matrix laboratory</i> (пакет прикладних програм для числового аналізу)
NDB	<i>Non Directional Beacon</i> (ненаправлений радіомаяк)
NED	<i>North-East-Down</i> (Локальна декартова Північ-Схід-Вниз система координат)
NEU	<i>North-East-Up</i> (Локальна декартова Північ-Схід-Вверх система координат)

NSE	<i>Navigation System Error</i> (похибка системи навігації)
PBN	<i>Performance Based Navigation</i> (Навігація заснована на характеристиках)
PDE	<i>Path Definition Error</i> (похибка визначення траєкторії)
RNAV	<i>Area Navigation</i> (Зональна навігація)
RNP	<i>Required Navigation Performance</i> (Необхідні навігаційні характеристики)
QRM	<i>Magnetic bearing to the station</i> (магнітний курс до радіонавігаційного засобу)
QRR	<i>Magnetic bearing from the station</i> (магнітний курс від радіонавігаційного засобу)
SID	<i>Standard Instrument Departure</i> (Стандартна схема вильоту)
STAR	<i>Standard Instrument Arrival Route</i> (Стандартна схема заходу на посадку)
TDOA	<i>Time Difference of Arrival</i> (різничево-далекомірний метод)
TOA	<i>Time of Arrival</i> (часовий метод)
TSE	<i>Total System Error</i> (загальна похибка витримування заданої траєкторії руху)
VOR	<i>VHF Omnidirectional range</i> (Всенаправлений НВЧ радіомаяк)
WGS 84	<i>World Geodetic System</i> (глобальна геодезична система)
ІНС	Інерціальна навігаційна система
ККР	Курсовий Кут Радіостанції
ЛА	Літальний Апарат
МНК	Метод Найменших Квадратів
РНЗ	Радіонавігаційний засіб

ВСТУП

Навігація виконує важливе завдання повітряного транспорту. Навігаційні засоби та системи скеровані на забезпечення вчасного та точного переміщення літального апарату від однієї точки повітряного простору до іншої. Сучасну аеронавігаційну систему складно уявити без методів зональної навігації. Постійно зростаюча інтенсивність повітряного руху зумовила поступовий перехід починаючи з 80-х років від методів класичної навігації літального апарату до зональної (RNAV – Aerea Navigation). Навігація класично ґрунтувалася на використанні далекомірних (DME) та кутомірних радіомаяків (NDB та VOR), розміщених у зонах проходження повітряних шляхів. Радіонавігаційні засоби розміщувались у ключових точках маршруту для позначення лінії шляху.

Сьогодні польоти літальних апаратів забезпечуються методами зональної навігації за довільними маршрутам, не прив'язуючись до радіонавігаційних засобів, розміщених на Землі. Зональна навігація ґрунтується на визначенні власного місцеположення літального апарату (позиціонування у просторі) та здійсненні задачі наведення на заплановану траєкторію руху. Процес позиціонування забезпечується певними технічними засобами [28], дія яких обмежується визначеною зоною у просторі.

Здійснення кожного зі способів RNAV пов'язано з характеристиками бортового навігаційного обладнання, зокрема параметрами точності, цілісності, неперервності та функціональної готовності, що необхідні для виконання запланованого польоту відповідно до вимог певного повітряного простору. Основні вимоги до характеристик систем зональної навігації визначені у специфікаціях та нормативних документах з навігації заснованої на характеристиках (PBN – Perfomance Based Navigation) [26]. Концепція PBN є результатом переходу від навігації, заснованої на датчиках, до навігації за характеристиками.

Під час виконання лабораторних робіт пропонується ознайомитися з основами концепції навігації заснованої на характеристиках, зокрема дослідити методи позиціонування літального апарату за наземною мережею радіонавігаційних засобів та дослідити основні навігаційні характеристики.

Лабораторні роботи розроблені відповідно до програми навчальної дисципліни «Навігація заснована на характеристиках» з метою закріплення та поглиблення отриманих знань та умінь, набутих студентом у процесі засвоєння теоретичного матеріалу.

У результаті вивчення даної навчальної дисципліни студент повинен отримати знання: нормативних документів міжнародної організації з цивільної авіації та Європейської організації з безпеки аеронавігації що стосуються концепції Навігації заснованої на характеристиках; основних вимог зональної навігації до бортового обладнання літака; методів навігації у обчислювальній системі літаководіння; методів визначення координат місцеположення літального апарату за концепцією Навігації заснованої на характеристиках; методів оцінювання характеристик радіонавігаційних засобів.

Крім того, пропонується набути такі компетентності: оцінювати характеристики далекомірного, кутомірного та кутомірно-далекомірного методів навігації літака; оцінювати зони доступності радіонавігаційних засобів за різними підходами; оцінювати наземну інфраструктуру аеронавігаційного забезпечення польотів відповідно до вимог зональної навігації; розробляти програмне забезпечення для оцінювання навігаційних характеристик; самостійно застосовувати одержані знання для вирішення питань аеронавігаційного обслуговування; працювати у команді над вирішенням технічного завдання [1, 2, 3, 4].

Знання та вміння, набуті під час виконання лабораторних робіт, необхідні для проходження технологічної практики на підприємствах та в подальшому – для стажування.

По закінченні кожної лабораторної роботи результати обробки даних повинні бути подані у вигляді розрахунків та графіків, а висновки мають містити аналіз одержаних результатів.

Основним обладнанням, необхідним для виконання лабораторних робіт, є комп'ютер чи мобільний пристрій із встановленим програмним забезпеченням MATLAB.

Основні заходи безпеки під час виконання лабораторної роботи полягають у перевірці справності комп'ютера та дотриманні правил безпеки під час роботи з електроприладами.

Контрольні запитання і завдання

1. Які типи РНЗ існують?
2. Який тип РНЗ використовується при польоті за маршрутом?
3. Як впливає розмір елементарної частинки на загальний час аналізу відповідності повітряного простору вимогам RNAV?
4. Які кути місця обмежують зону дії РНЗ?
5. Чи забезпечуються вимоги RNAV у повітряному просторі досліджуваної вами країни?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. А. с. 54979 Україна. Комп'ютерна програма «Оцінювання точності позиціонування за далекомірними радіомаяками» / І. В. Остроумов, Т. Б. Лопатко. № 55282; заявл. 20.03.14; опубл.23.05.14.
2. А. с. 72049 Україна. Комп'ютерної програми «Оцінювання точності позиціонування за парою далекомірного обладнання» / І. В. Остроумов. № 72620; заявл. 20.03.2017; опубл.18.05.2017.
3. А. с. 72050 Україна. Комп'ютерна програма «Розрахунок доступності та оцінювання точності витримування ліній положення за кутомірним обладнанням для частини повітряного простору» / І. В. Остроумов. № 72621; заявл. 20.03.2017; опубл.18.05.2017.
4. А. с. 72051 Україна. Комп'ютерна програма «Оцінювання зони дії радіолокаційних станцій аеронавігаційного обслуговування певного повітряного простору» / І.В. Остроумов. № 72622; заявл. 20.03.2017; опубл.18.05.2017.
5. AC 90-100A U.S. Terminal and En-Route Area Navigation (RNAV) Operations. FAA, 2007. 273 p.
6. DO-189. Minimum Operational Performance Standards for Airborne Distance Measuring Equipment (DME) Operating Within the Radio Frequency Range of 960-1215 Megahertz : Manual. RTCA, 1985. 308 p.
7. DO-208. Minimum Operational Performance Standards for Airborne Supplemental Navigation Equipment Using Global Positioning System(GPS). RTCA, inc., 1993. 24 p.
8. FAA, 2020. Aeronautical Information Manual. Official Guide to Basic Flight Information and ATC Procedures, U.S. Department. https://www.faa.gov/air_traffic/publications/
9. Guowei S., Zetik R., Thoma R. Performance comparison of TOA and TDOA based location estimation algorithms in LOS environment, 5th Workshop on Positioning, Navigation and Communication, 2008, pp. 71–78.

10. 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. DOI: 10.1109/SAIC.2018.8516790.
11. 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. DOI: 10.1109/MSNMC.2018.8576276.
12. Lo S., Enge P., Niles F., Loh R., Eldredge L., Narins M. Preliminary assessment of alternative navigation means for civil aviation. Proceedings of the ION ITM (January 2010). ION, 2010. P. 314–322.
13. Mapping Toolbox. – Mathworks (U.S.). 2014. – 812 p.
14. Ostroumov I.V. Error of positioning by DME/DME and VOR/DME pairs. Systems of control, navigation and communication. 2018. № 47(1). P. 12–16. DOI: 10.26906/SUNZ.2018.1.012.
15. Ostroumov I. V., Kharchenko V. P., Kuzmenko N. S. An airspace analysis according to area navigation requirements. Aviation. 2019. № 23(2). P. 36–42. DOI: 10.3846/aviation.2019.10302.
16. Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Accuracy assessment of aircraft positioning by multiple Radio Navigational aids. Telecommunications and Radio Engineering. 2018. № 77(8). P. 705-715 DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v77.i8.40.
17. Ostroumov I. V., Kuzmenko N. S. An accuracy of location line maintaining by angles at limited airspace volume. Electronics and control systems. 2019. № 62(4). P. 27–34. DOI: 10.18372/1990-5548.62.14387.
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. DOI: 10.1109/SAIC.2018.8516750.
19. Ostroumov I. V., Kuzmenko N. S. Compatibility analysis of multi signal processing in APNT with current navigation infrastructure. Telecommunications and Radio Engineering. 2018. № 77(3). P. 211–223. DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v77.i3.30.
20. 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. DOI: 10.1109/ICNS52807.2021.9441576.

21. Ostroumov I. V., Kuzmenko N. S. Interrogation Rate Measurements of Distance Measuring Equipment in Air Navigation System. 2020 IEEE 2nd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC). 2020. P. 1–5. DOI: 10.1109/SAIC51296.2020.9239143.
22. Ostroumov I. V., Kuzmenko N. S. Main Threats and Solutions for Positioning by Navigational Aids Network. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings of the International Workshop on Conflict Management in Global Information Networks (CMiGIN 2019) co-located with 1st International Conference on Cyber Hygiene and Conflict Management in Global Information Networks (CyberConf 2019). 2019. P. 183–193.
23. 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 DOI: 10.1016/j.asr.2021.06.027.
24. 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. DOI: 10.1109/MSNMC.2018.8576293.
25. 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. DOI: 10.1109/CADSM52681.2021.9385226.
26. Performance-Based Navigation (PBN) Manual. Doc 9613. ICAO, 2008. 304 p.
27. Turovska A., Ostroumov I.V. Queuing Model of Distance Measuring Equipment for Capacity Estimation. 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). 2020. P. 250–253. DOI: 10.1109/ACIT49673.2020.9208984.
28. Остроумов І. В. Аналіз перспективних систем зональної навігації. Системи управління, навігації та зв'язку. 2018. № 52(6). С. 14–19. DOI: 10.26906/SUNZ.2018.6.014.
29. Остроумов І. В. Інтеграція координатної інформації у обчислювальній системі літаководіння. Сучасні проблеми авіакосмічних технологій та систем : тези науково-практичного семінару. 2013. С. 19.
30. Остроумов І. В. Оцінювання доступності наземних радіонавігаційних засобів. Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. 2017. № 69. С. 35–40 DOI: 10.20535/RADAP.2017.69.35-40.

31. Остроумов І. В. Оцінювання точності DME/DME позиціонування для повітряного простору України. Проблеми інформатизації та управління: Збірник наукових праць. 2013. № 43(3). С. 61–67 .
32. Остроумов І. В. Оцінювання точності визначення лінії положення за парою далекомірного обладнання DME при вирішенні навігаційних задач. Системи управління, навігації та зв'язку. 2017. № 42(2). С. 8–12.
33. Остроумов І. В. Оцінювання точності вимірювань дальньо-мірного обладнання. Авіаційно-космічна техніка і технологія. 2018. № 146(2). С. 71–75. DOI: 10.32620/aktt.2018.2.10.
34. Остроумов І. В., Лопатко Т. Б. Використання радіомаяків DME для визначення місцеположення у повітряному просторі України. Вісник інженерної академії України. 2013. (4). С. 300–305 .
35. Остроумов І. В., Харченко В. П. Авіоніка. Київ : НАУ, 2013. 281 с. ISBN: 978-966-598-573-0.

Зміст

Умовні позначення та скорочення	3
Вступ	5
Лабораторна робота 1. Основи використання спеціалізованого обчислювального програмного забезпечення для навігаційних визначень.....	7
Лабораторна робота 2. Візуалізація конфігурації мережі наземних радіонавігаційних засобів	17
Лабораторна робота 3. Метод позиціонування за парою далекомірного обладнання	25
Лабораторна робота 4. Метод позиціонування за парою кутомірного обладнання	30
Лабораторна робота 5. Метод позиціонування за парою кутомірно-далекомірного обладнання.....	35
Лабораторна робота 6. Оцінювання точності позиціонування за парою далекомірного обладнання	38
Лабораторна робота 7. Вибір оптимальної пари радіонавігаційних засобів для навігації літака	42
Лабораторна робота 8. Оцінювання розподілу навігаційних характеристик мережі радіонавігаційних засобів у певному повітряному просторі.....	47
Список використаних джерел	52

Навчальне видання



НАВІГАЦІЯ ЗАСНОВАНА НА ХАРАКТЕРИСТИКАХ

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
для здобувачів вищої освіти
ОС «Бакалавр» спеціальності 272
«Авіаційний транспорт»

Укладачі: ОСТРОУМОВ Іван Вікторович,
КУЗЬМЕНКО Наталія Сергіївна

В авторській редакції

Технічний редактор *А. І. Лавринович*
Комп'ютерна верстка *В. В. Мішкур*

Підп. до друку 22.11.2021. Формат 60x84/16. Папір офс.
Офс. друк. Ум. друк. арк. 3,49. Обл.-вид. арк. 3,75.
Тираж 50 пр. Замовлення № 196-1.

Видавець і виготівник
Національний авіаційний університет
03058. Київ – 58, проспект Любомира Гузара, 1

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 977 від 05.07.2002