

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра аеронавігаційних систем

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Харченко В.П.

" _____ " _____ 2015 р.

**ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИЦІ ОСВТНЬО-КВАЛІФІКАЦІЙНОГО РІВНЯ
"СПЕЦІАЛІСТ"

Тема: Позиціонування за навігаційними радіомаяками у повітряному просторі
України

Виконавець: _____ Супрун Лариса Вячеславівна

Керівник: _____ Остроумов Іван Вікторович

Нормоконтролер: _____ Ларін Віталій Юрійович

Київ 2015

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут аеронавігації

Кафедра аеронавігаційних систем

Спеціальність (спеціальність) 7.07010203 «Системи аеронавігаційного
обслуговування»

(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Харченко В.П.

" _____ " _____ 2015р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломного проекту

Супрун Лариси Вячеславівни

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родинному відмінку)

1. Тема дипломного проекту Позиціонування за навігаційними радіомаяками у повітряному просторі України
затверджена наказом ректора від "30" серпня 2014 р. №1897 /ст.
2. Термін виконання роботи (проекту): з 28.10.2014 по 10.02.2015
3. Вихідні дані до роботи (проекту): методика позиціонування літаків за інформацією від далекомірних та кутомірних аеронавігаційних систем.
4. Зміст пояснювальної записки: оцінювання доступності кутомірно-далекомірного методу визначення координат місцеположення користувача за дальністю до радіомаяка від системи DME та азимуту за інформацією від обладнання VOR.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: результати моделювання, структурні схеми «Структурна схема програмного забезпечення», «Структурна схема методики позиціонування», «Структурна схема моделювання методики VOR / DME».

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Аналіз джерел навігаційної інформації.	01.11.14- 05.11.14	
2.	Обладнання всебічно направленою радіомаяка.	06.11.14- 13.11.14	
3.	Далекомірне обладнання.	14.11.14- 17.11.14	
4.	Вимоги до наземних радіомаяків.	17.11.14- 20.11.14	
5.	Обчислювальна система літаководіння	22.11.14- 27.11.14	
6.	Розробка ТЗ на дипломний проект.	04.12.14- 07.12.14	
7.	Аналіз методів позиціонування	07.12.14- 10.12.14	
8.	Глобальні навігаційні супутникові системи, інерціальні навігаційні системи	10.12.14- 19.12.14	
9.	Далекомірний метод позиціонування, кутомірний метод позиціонування	22.12.14- 29.12.14	
10.	Розробка методики позиціонування за інформацією від наземних радіомаяків	08.01.15- 13.01.15	
11.	Розробка програмного забезпечення	15.01.15- 20.01.15	

12.	Моделювання методики кутомірно-далекомірного позиціонування	20.01.15- 23.01.15	
13.	Підготовка та оформлення дипломного проекту	23.01.15- 25.01.15	

7. Дата видачі завдання: " ____ " _____ 2014 р.

Керівник дипломного проекту Остроумов І.В.

(П.І.Б.)

(підпис керівника)

Завдання прийняв до виконання Супрун Л.В.

(П.І.Б.)

(підпис студента)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту спеціаліста «Позиціонування за навігаційними радіомаяками у повітряному просторі України» : 89 с., 45 рис., 2 табл., 1 додаток, 38 джерел.

Об'єкт дослідження – методи навігації за кутомірною та далекомірною інформацією .

Мета роботи – розробка методики позиціонування ПК за інформацією від далекомірного обладня та кутової інформації від радіомаяків VOR.

Метод дослідження – імітаційне моделювання з використанням комп'ютерної техніки.

Визначення місця розташування повітряного судна (ПС) зазвичай виконується за допомогою глобальних супутникових навігаційних систем (GNSS). На сьогоднішній день системи GNSS забезпечує необхідний рівень точності позиціонування для виконання польотів. У разі несправності бортового обладнання GNSS або нездатності визначення координат обчислювальна система літаководіння (FMS) використовує інші, менш точні, методи позиціонування для визначення координат ПК. У разі відмови GNSS може бути використана інерціальна навігаційна система, однак час її використання обмежене в наслідок дії адитивної похибки. Альтернативними джерелами координатної інформації у FMS є методики позиціонування, засновані на використанні інформації від навігаційних радіомаяків.

НАВІГАЦІЯ, ПОЗИЦІОНУВАННЯ, АЛГОРИТМ, КООРДИНАТИ, VOR, DME, ДАЛЕКОМІР, РАДІОМАЯК, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА СИСТЕМА ЛІТАКОВОДІННЯ.

АРКУШ ЗАУВАЖЕНЬ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	1
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ НАВІГАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ	2
1.1. Обладнання всебічно направленою радіомаяка.....	2
1.2. Далекомірне обладнання.....	18
1.3. Вимоги до наземних радіомаяків	31
1.4. Обчислювальна система літаководіння.....	35
Висновки по першому розділу.....	47
РОЗДІЛ 2. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ	48
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОЗИЦІОНУВАННЯ	51
3.1. Глобальні навігаційні супутникові системи	51
3.2. Інерціальні навігаційні системи	58
3.3. Далекомірний метод позиціонування.....	64
3.4. Кутомірний метод позиціонування.....	69
РОЗДІЛ 4. ПОЗИЦІОНУВАННЯ ЗА КУТОМІРНО–ДАЛЕКОМІРНИМ МЕТОДОМ.....	74
4.1. Методика позиціонування за інформацією від наземних радіомаяків	74
4.2. Програмне забезпечення	76
4.3. Моделювання методики кутомірно-daleкомірного позиціонування.....	78
Висновки по четвертому розділу.....	85
ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ	86
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	87

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

VOR	(<i>Omnidirectional Radio Range</i>) всебічно направлений надвисокочастотний радіомаяк;
DME	(<i>Distance Measuring Equipment</i>) далекомірне обладнання;
ЗПС	Злітно-посадкова смуга;
ПК	Повітряний корабель;
ПС	Повітряне судно;
ЛА	Літальний апарат;
МСП	Міжнародна система посадки;
ICAO	(<i>International Civil Aviation Organization</i>) Міжнародна організація цивільної авіації;
GPS	(<i>Global Positioning System</i>) система глобального позиціонування;
DGPS	(<i>Differential Global Positioning System</i>) станція визначення диференціальних поправок GPS;
FMS	(<i>Flight Management System</i>) обчислювальна система літаководіння;
UTC	(<i>Universal Time Coordinated</i>) універсальний координований час;
COO	Стандартний об'єм обслуговування;
MCDU	(<i>Multifunction Control and Display Unit</i>) багатофункціональний блок контролю та відображення обчислювальної системи літаководіння;
LCD	(<i>Liquid Crystal Display</i>) рідкокристалічний дисплей;
АРП	Автоматичне регулювання посиленням;
LNAV	(<i>Lateral Navigation</i>) навігація у горизонтальній площині;
VNAV	(<i>Vertical Navigation</i>) навігація у вертикальній площині;
FDN	(<i>Four-Dimensional Navigation</i>) навігація у горизонтальній та вертикальній площинах з урахуванням часу;
FPBN	(<i>Full Performance Based Navigation</i>) навігація, що ґрунтується на максимальній корисності;
EGNOS	(<i>European Geostationary Overlay System</i>) Європейська

	геостаціонарна служба навігаційного покриття;
LAAS	(<i>Local Area Augmentation System</i>) локальна система підвищення точності;
GNSS	(<i>Global Navigation Satellite System</i>) система глобальної супутникової навігації;
WAAS	(<i>Wide Area Augmentation System</i>) система підвищення точності GNSS широкої зони дії;
MEMS	(<i>MicroElectronic Mechanical System</i>) мікроелектро-механічна система;
MTSAS	(<i>Multifunction Transport Satellite System</i>) багатофункціональна транспортна супутникова система;
ГЛОНАСС	Глобальна навігаційна система;
ІНС	Інерціальна навігаційна система;
TACAN	(<i>Tactical Air Navigation System</i>) радіонавігаційна система середньої та ближньої дії.

ВСТУП

Актуальність

Визначення місця розташування повітряного судна (ПС) зазвичай виконується за допомогою глобальних супутникових навігаційних систем (GNSS). Тому на сьогоднішній день системи GNSS забезпечує необхідний рівень точності позиціонування для виконання польотів. У разі несправності бортового обладнання GNSS або нездатності визначення координат обчислювальна система літаководіння (FMS) використовує інші, менш точні, методи позиціонування для визначення координат ПК.

Слід визначити, що у разі відмови GNSS може бути використана інерційна навігаційна система, однак час її використання обмежене в наслідок дії адитивної похибки. Альтернативними джерелами координатної інформації у FMS є методики позиціонування, засновані на використанні інформації від навігаційних радіомаяків. Відповідно із зменшенням точності позиціонування застосовують: DME / DME, VOR / DME, VOR / VOR, ADF / ADF навігаційні методи.

На сьогоднішній день супутникові навігаційні системи забезпечують достатній рівень точності позиціонування для виконання польотів, однак у випадках відмови, кутомірний метод навігаційних визначень за сигналами радіонавігаційних маяків VOR може бути застосований в переважній частині повітряного простору України.

Використання для позиціонування радіомаяків VOR в іншій частині повітряного простору доцільним є тільки в разі відмови інших систем позиціонування в якості резервної системи у зв'язку з дією похибок.

З наведеного вище дипломна робота орієнтована на розв'язання завдання визначення власного місцеположення у випадку відмови обладнання GNSS за допомогою інформації від далекомірних та кутомірних систем. Оскільки проблема позиціонування та оцінювання точності є однією з найпріоритетніших у навігації та пов'язана з безпекою повітряного руху.

					<i>7.07010203 НАУ 15 12 26 000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Супрун Л.В.</i>			<i>Позиціонування навігаційними радіомаяками у повітряному просторі України</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Остроумов І.В.</i>					<i>12</i>	<i>89</i>
<i>Н. Контр.</i>		<i>Ларін В.Ю.</i>				<i>ІАН, каф. АНС, гр.А0620</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Харченко В.П.</i>						

Мета роботи

Розробка методики позиціонування ПК за інформацією від далекомірного обладнання та кутової інформації від радіомаяків VOR.

Завдання

1. Для досягнення даної мети потрібно поставити перед собою такі завдання:
2. Провести аналіз джерел навігаційної інформації на борту цивільного ПК.
3. Аналіз доступних методів позиціонування ПК.
4. Розробити методику позиціонування за інформацією кутомірних та далекомірних систем.
5. Створити програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання запропонованої методики.

Об'єкт

Об'єктом дипломного проекту – методи позиціонування за кутомірною та далекомірною інформацією.

Предмет

Предметом дипломного проекту – оцінювання координат місцеположення ПК.

Методи дослідження

Під час виконання дипломного проекту використовувались методи імітаційного моделювання з використанням комп'ютерної техніки.

									Арк.
									13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	7.07010203 НАУ 15 12 26 000 ПЗ				

4.2. Програмне забезпечення

Програмне забезпечення запускається у середовищі програмування MATLAB, шляхом вибору та запуском програмного файлу vordme.m. структура програмного забезпечення наведена на рис. 1. Перед початком роботи необхідно у програмному коді задати контрольні точки маршруту польоту літака. У випадку аналізу запису траєкторії польоту літака, координати руху літака необхідно зберегти окремо по кожному параметру у геодезичній системі координат (широта, довгота, висота) у відповідні матриці. При цьому необхідно коментувати частину погромного коду, що моделює рух літака. У випадку використання початкової та кінцевої точок маршруту літака, програмне забезпечення моделює рух з певною швидкістю без прискорення.

Програмне забезпечення використовує інформацію про аеронавігаційні засоби, розміщені на земній поверхні. У даному варіанті використано лише інформацію про розташування та основні навігаційні характеристики радіомаяків VOR/DME розміщених на території України. Для виконання досліджень для інших регіонів повітряного простору необхідно завантажити аеронавігаційну інформацію для досліджуваного повітряного простору.

Аеронавігаційна інформація, що використовується:

- Ідентифікаційний код аеронавігаційного засобу;
- Широта;
- Довгота;
- Висота;
- Клас обладнання.

Аеронавігаційна інформація подається до програми у форматі : широта, довгота, висота (LLA).

									Арк.
									76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	7.07010203 НАУ 15 12 26 000 ПЗ				

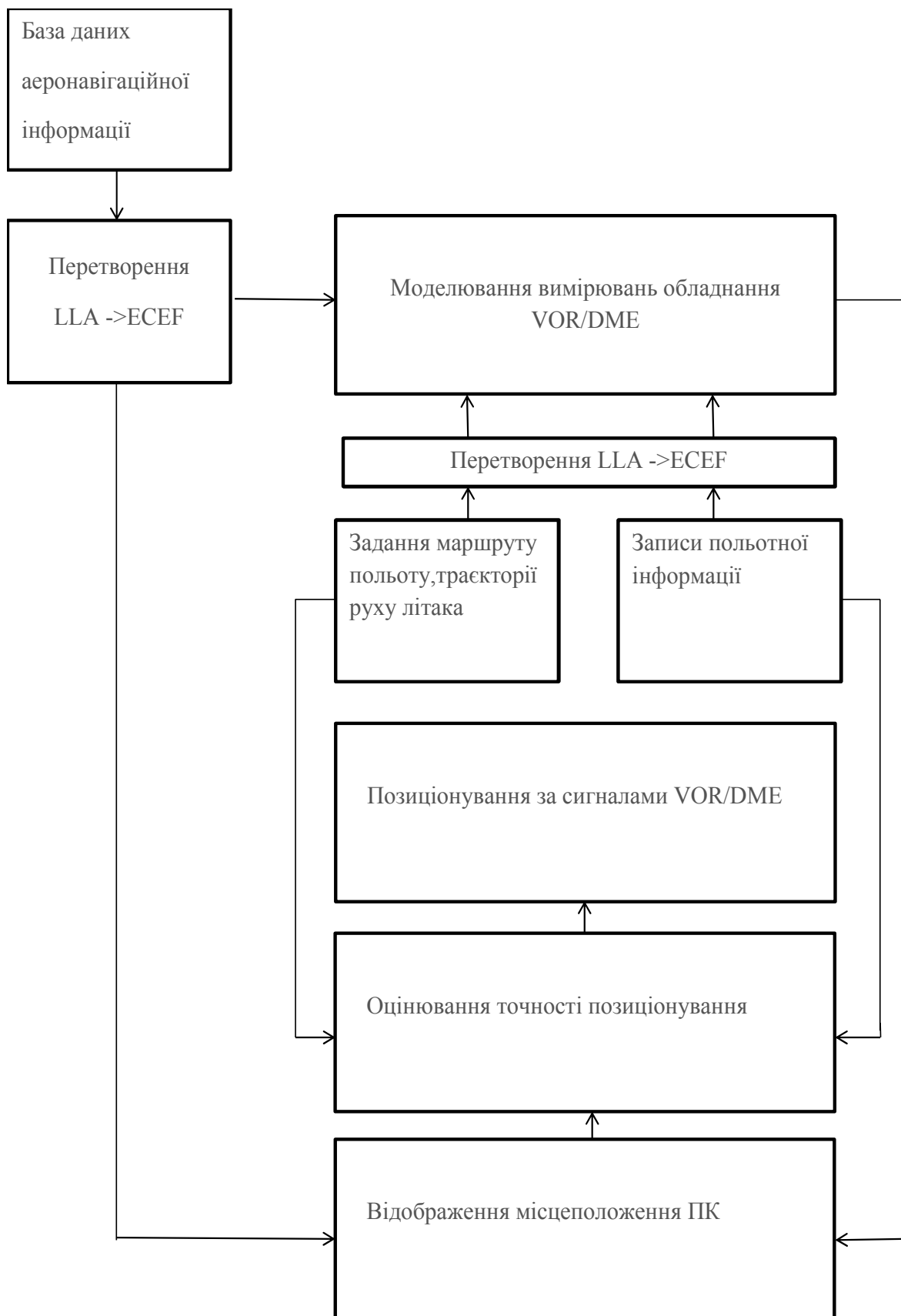


Рисунок 4.2 – Структурна схема програмного забезпечення

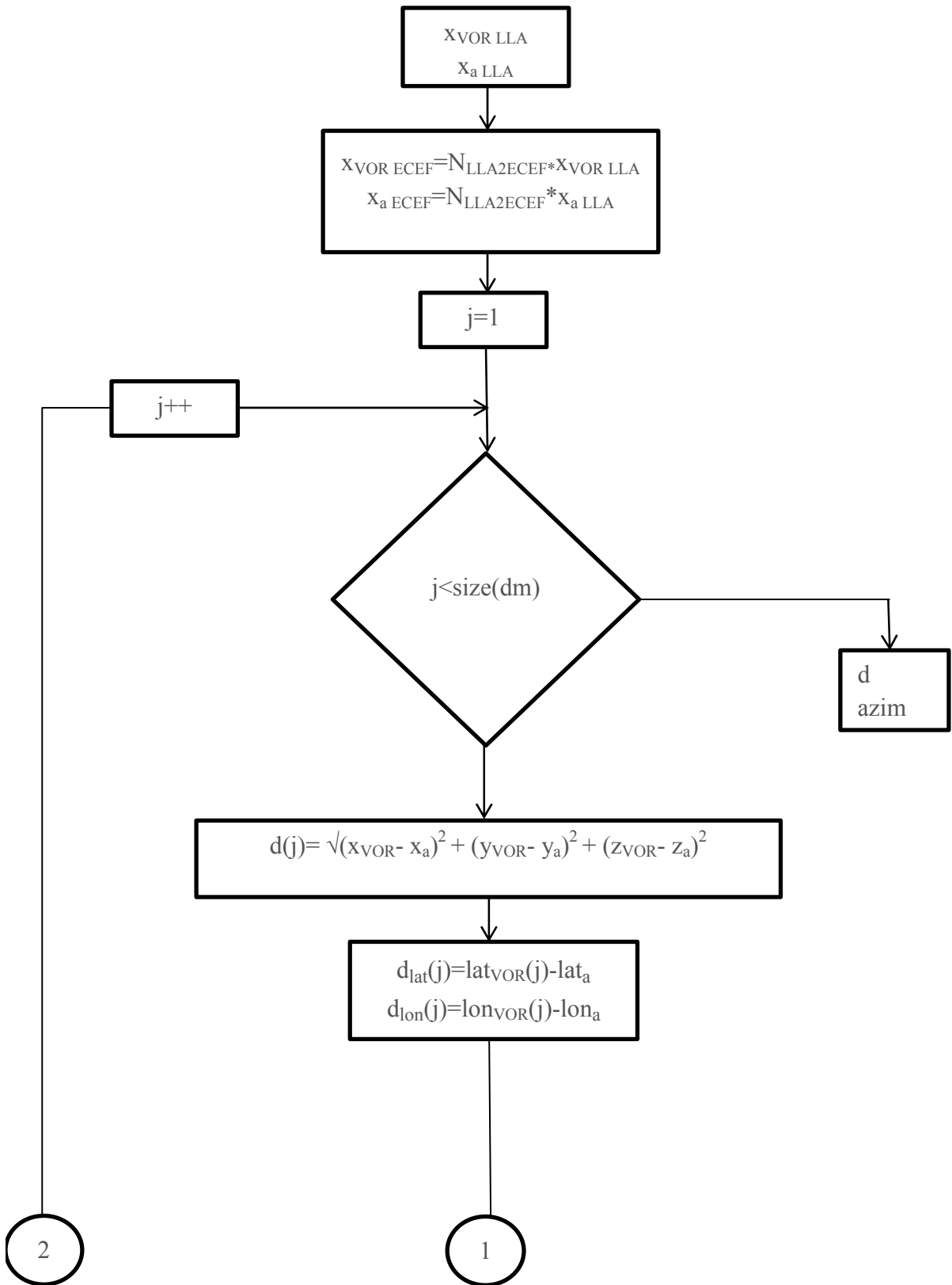
4.3. Моделювання методики кутомірно-далекомірного позиціонування

Для моделювання траєкторії польоту задається маршрут через шляхові точки (широта, довгота, висота). Далі задаємо першу точку руху повітряного судна і точку призначення. З урахуванням швидкості повітряного судна (наприклад 150 м/с), кількість точок польоту ($n = 300$), де в результаті отримуємо маршрут руху повітряного судна. Переводимо широту, довготу, висоту в геоцентричну систему координат ECEF, за допомогою якої, ми можемо спостерігати рух повітряного судна та виконувати розрахунки.

Підпрограма моделювання вимірювань бортового обладнання VOR/DME оцінює дальність та курс на радіомаяк. Для цього для кожної точки маршруту розраховується відстань до кожного радіомаяка, яка порівнюється з характеристиками наземного радіопередавачного обладнання та з урахуванням згасання радіохвиль у просторі. Таким чином визначається потенційна можливість сприймати сигнали від радіомаяків на борту літака.

Спеціальна підпрограма оцінює відстань та курс на радіомаяк, що знаходиться у зоні дії. Для більш реалістичного розрахунку на цьому етапі вводяться похибки вимірювань по дальності та курсу. На основі цієї інформації алгоритм позиціонування визначає місцеположення літака. Результати аналізу заданого маршруту польоту у певному повітряному просторі надаються у вигляді графіків наведених на рис. 2-8.

									Арк.
									78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	7.07010203 НАУ 15 12 26 000 ПЗ				



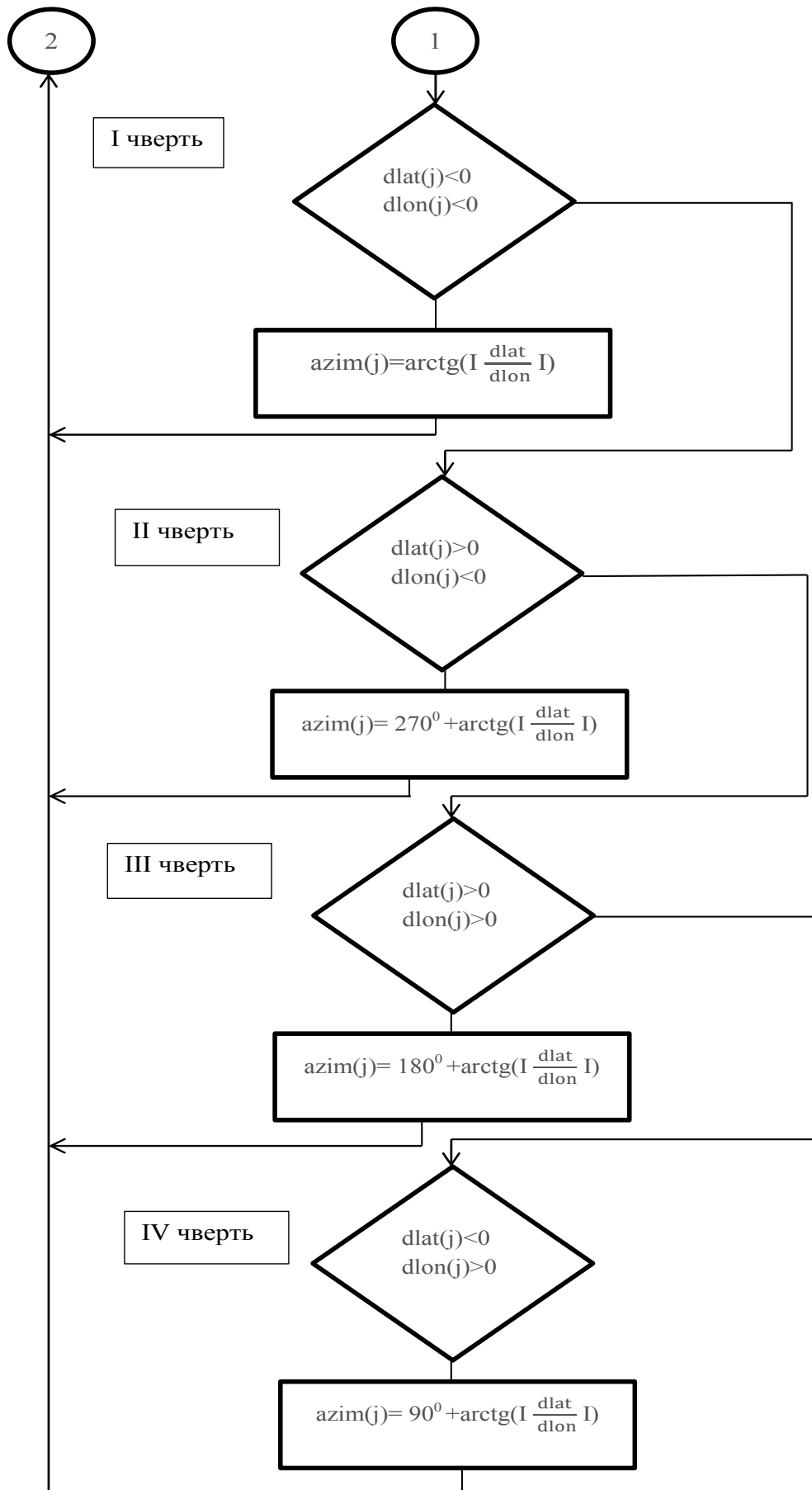


Рисунок 4.3 - Структурна схема моделювання методики VOR/DME

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

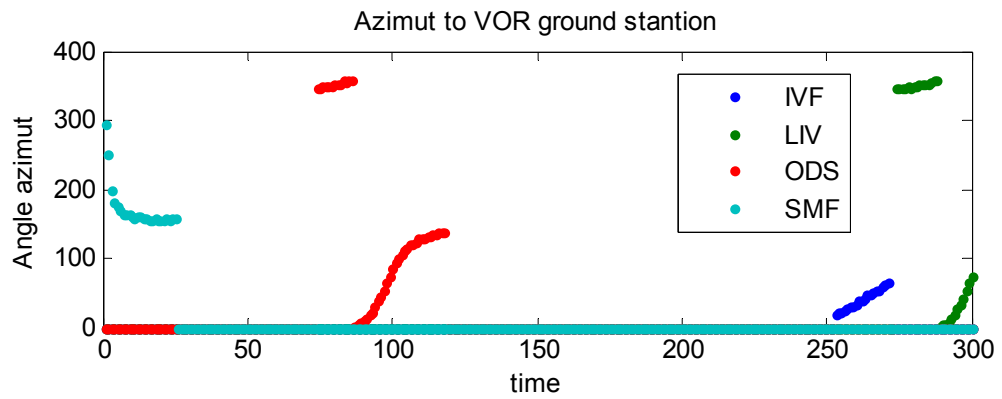
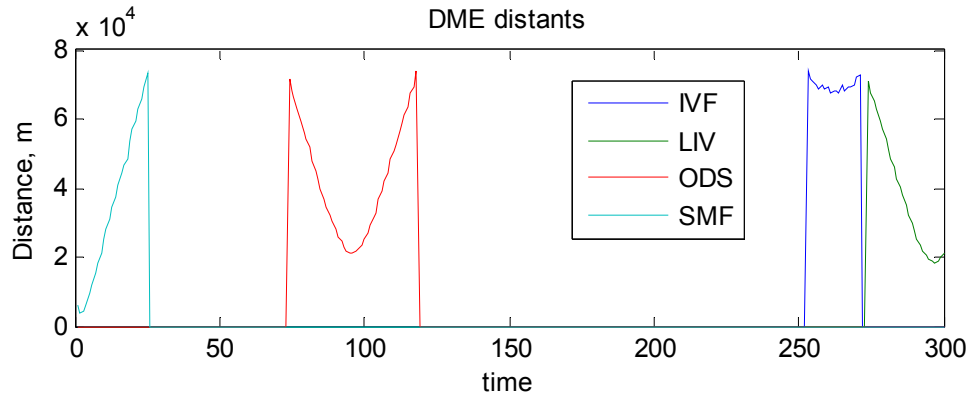


Рисунок 4.7 - Результати моделювання вимірювань дальності та курсу

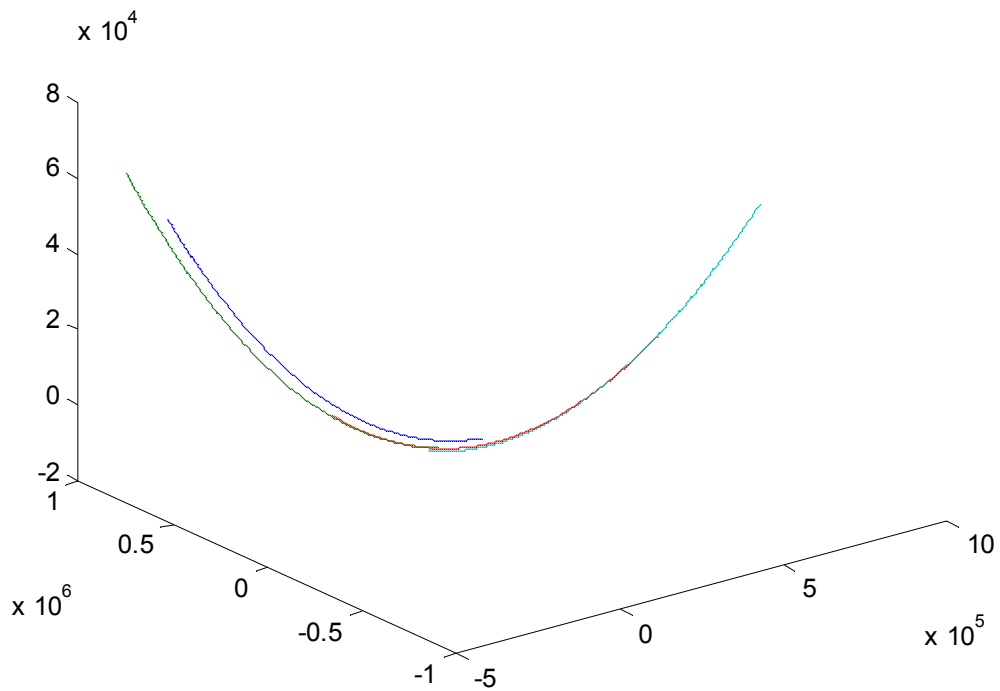


Рисунок 4.8 - Результати визначення координат місцеположення у ECEF системі координат

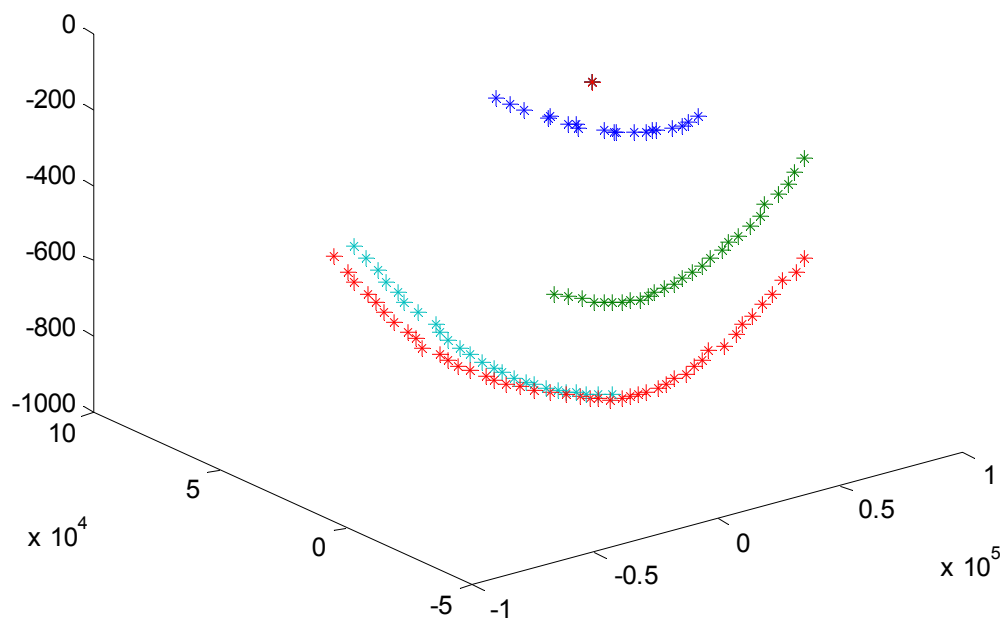


Рисунок 4.9 - Похибки позиціонування

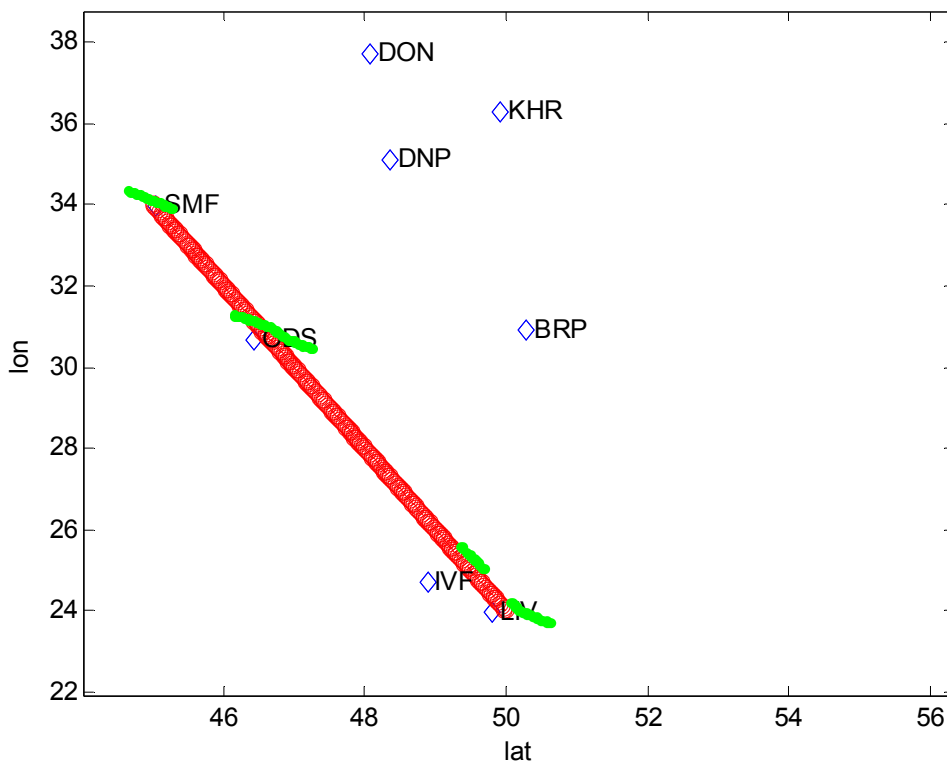


Рисунок 4.10 - Результат позиціонування

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

7.07010203 НАУ 15 12 26 000 ПЗ

Арк.

84

ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

Місцезнаходження ПК можна дізнатися за інформацією від навігаційних радіомаяків VOR / DME розміщених на території України. Вони надають інформацію про азимут ПК та дальність між відповідними антенами ПК та наземною станцією, де бортова апаратура приймає і обробляє сигнали радіомаяка і видає інформацію пілоту або в систему автоматичного керування літаком.

Зазвичай наземне обладнання DME розміщують разом з радіомаяками VOR, таке розміщення дозволяє оцінити на борту ПК їх місцеположення відносно радіомаяка. Крім того, налаштування на роботу з наземною станцією DME відбувається одночасно з налаштуванням обладнання VOR.

У роботі запропонована методика визначення місцеположення ПК за використанням кутомірно-далекомірного методів навігації, що ґрунтується на відомих кутах-напрямокках на наземні радіонавігаційні станції, відстаней до радіомаяків за далекомірним обладнанням DME та відомих координат наземних станцій.

В дипломному проекті була розроблена компютерна програма, що дозволяє змодельовати запропоновану методику, що доцільна у разі відмови глобальних супутникових навігаційних систем, яка оцінює відстань та курс на радіомаяк, що знаходиться у зоні дії. Для оцінювання похибок моделюються похибки вимірювального обладнання. На основі цієї інформації алгоритм позиціонування визначає місцеположення ПК. Результати оцінки точності позиціонування вказують на доцільність її використання на повітряному транспорті у якості резервної системи позиціонування. Крім того результати вказують на необхідність одночасного використання, як умога більшої кількості наземних радіомаяків одночасно, що значно дозволить підвищити точність позиціонування.

					<i>7.07010203 НАУ 15 12 26 000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Супрун Л.В.</i>				<i>Позиціонування за навігаційними радіомаяками у повітряному просторі України</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Остроумов І.В.</i>						<i>86</i>	<i>89</i>
<i>Н. Контр.</i>	<i>Ларін В.Ю.</i>					<i>ІАН, каф. АНС, гр.А0620</i>		
<i>Затверд.</i>	<i>Харченко В.П.</i>							

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Avionics Fundamentals. – IAP inc., 1991. – 394 p.
2. Collinson R. P. G. Introduction to avionics systems/ R. P. G. Collinson. – Springer, 2003. – 492 p.
3. Eurocontrol. – Режим доступу: <http://www.eurocontrol.int>
4. Federal Aviation Administration. – Режим доступу: www.faa.gov
5. Garming. – Режим доступу: www.garming.com
6. Helfrick A.D. Principles of Avionics / A. D. Helfrick. – Avionics Communications, 2007. – 426 p.
7. Honeywell. – Режим доступу: www.honeywell.com
8. Ian Moir. Civil avionics systems / Ian Moir, Allan Seabridge // AIAA. – 2006. – 396 p.
9. International Air Transport Association. – Режим доступу: www.iata.org
10. Myron Kayton. Avionics navigation systems / Myron Kayton, Walter R. Fried / Wiley – Interscience, John Wiley & Sons. Inc. – New York., 1997. – 800 p.
11. Ostroumov I.V. Position detection by angular method in air navigation / I.V. Ostroumov // The Fifth World Congress “AVIATION IN THE XXI-st CENTURY” - quot;Safety in Aviation and Space Technologiesquot;. Volume 2. – Kiev: NAU, 2012. — 2012. — Is. 32. — 32 p.
12. Ostroumov I.V. Positioning by VOR signals in Ukraine region / I.V. Ostroumov // Problems of CNS/ATM development and ATM. International Scientific-Methodical Conference of Researches, November 28 – 30, 2012 : theses.. — 2012. — 74 p.
13. Performance-based Navigation (PBN) Manual. Doc 9613. – ICAO, 2008. – 304 p.
14. Prinzel L. J. Synthetic vision systems / L. J. Prinzel, L. J. Kramer. – NASA Langley Research Center, Hampton, 2009. – 14 p.
15. SESAR ATM Master Plan. Edition 1. – Eurocontrol, March 2009. – 152 p.
16. Shulimov O.S. Analysis of DME/DME positioning capabilities for borispil airspace region / / O.S. Shulimov, I.V. Ostroumov // II National Scientific Conference of young scientists and students «Problems and prospects of Aeronautics and Astronautics» 23 – 24 October 2013 y – Kyiv. — 2013. — 21 p.

17. Society of Automotive Engineers. – Режим доступу: www.sae.org
18. Spitzer C.R. The avionics handbook / C. R. Spitzer. – CRC Press, 2001. – 527 р.
19. Spitzer C.R. Digital Avionics Handbook / C. R. Spitzer // AvioniCon, Inc. – Williamsburg, Virginia, USA, 2006. – 448 р.
20. Spitzer C.R. Digital avionics handbook: development and implementation. Avionics / C. R. Spitzer. – CRC Press, 2007. – 232 р.
21. Universal Avionics Systems Corporation. – Режим доступу: www.uasc.com
22. Watch aircraft live. – Режим доступу: www.flightradar24.com
23. Бабак В. П. Супутникова радіонавігація / В.П. Бабак, В.В. Конін, В.П. Харченко. – К.: Техніка, 2004. – 328 с.
24. Безпека авіації / В. П. Бабак, В. П. Харченко, В. О. Максимов та ін. –К.: Техніка, 2004. – 584 с.
25. Гофманн-Велленгоф Б. Навігація. Основи визначення місцеположення та скеровування / Б. Гофманн-Велленгоф, К. Легат, М. Візер; пер. з англ. за ред. Я. С. Яцківа. – Львів: Львів. нац. ун-т імені Івана Франка, 2006. – 443 с.
26. Лопатко Т.Б. Аналіз методів позиціонування обчислювальної системи літаководіння / Т.Б. Лопатко, І.В. Остроумов // // II Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів «проблеми та перспективи розвитку авіації та космонавтики» 23 – 24 жовтня 2013 року – Київ. — 2013. — 7 с.
27. Мелкумян В.Г. Радіонавігаційні системи аеропортів. Кутомірні та далекомірні системи: навч. посіб. / В.Г. Мелкумян, А.А. Семенов. – К.: КМУЦА, 1999. – 108 с.
28. Мелкумян В.Г. Радіонавігаційні системи аеропортів. Радіомаячні системи посадки: навч. посіб. / В.Г. Мелкумян, А.А. Семенов. – К.: КМУЦА, 1998. – 108 с.
29. Остроумов І.В. Використання радіомаяків DME для визначення місцеположення у повітряному просторі України / І.В. Остроумов, Т.Б. Лопатко // Вісник інженерної академії України. — 2013. — № 4. — С. 300-305.
30. Остроумов І.В. Інтеграція координатної інформації у обчислювальній системі літаководіння / І.В. Остроумов // тези науково-практичного

семінару Сучасні проблеми авіакосмічних технологій та систем 17-23 червня 2013 року - Житомир. — 2013. — 19 с.

31. Остроумов І.В. Оцінка точності позиціонування за сигналами радіомаяків VOR / І.В. Остроумов // Проблеми інформатизації та управління: Збірник наукових праць. — 2012. — Т. 339, № 107. — С. 102.
32. Остроумов І.В. Оцінювання точності DME/DME позиціонування для повітряного простору України / І.В. Остроумов // Проблеми інформатизації та управління: Збірник наукових праць. — 2013. — Т. 43, № 3. — С. 61-67.
33. Харченко В.П. Авіоніка / В.П. Харченко, І.В. Остроумов. — К.: НАУ, 2013. — 281 с.
34. Харченко В.П. Аеронавігація: навч. посіб. / В.П. Харченко, Ю.В.Зайцев. — К.:НАУ, 2008. — 272 с.
35. Харченко В.П. Основи практичної навігації: навч. посіб. / В.П. Харченко, В.Г. Лялько, В.Г. Мелкумян. — К.: НАУ, 2004. — 256 с.
36. Харченко В.П. Радіомаячні системи ближньої аеронавігації: навч. посіб. / В.П. Харченко, В.Г. Мелкумян, О.П. Сушич. — К.:НАУ, 2011. — 208 с.
37. Харченко В.П. Системи зв'язку та навігації : навч.посіб. / В.П. Харченко, Ю.М. Барабанов, М.А. Міхалочкін. — К.: НАУ, 2009. — 216 с.
38. Чаплінський Д.В. Оцінювання точності позиціонування за інформацією системи ACAS / Д.В. Чаплінський, І.В. Остроумов // II Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів «Проблеми та перспективи розвитку авіації та космонавтики» 23 – 24 жовтня 2013 року – Київ,. — 2013. — 12 с.

Додаток. Текст комп'ютерної програми «Позиціонування за обладнанням VOR/DME» виконаний на мові MATLAB

```
clc
clear all
close all
%VOR/DME ground station location
vor=[
50.2855987548828 30.899299621582    152 3
48.3595008850098 35.1025009155273    155 3
48.0718002319336 37.7359008789062    231 3
48.8847007751465 24.6898994445801    285 3
49.9267997741699 36.2853012084961    163 3
49.8115997314453 23.951000213623    333 3
46.4300003051758 30.6702995300293    60 3
45.051399230957 33.9793014526367    189 3
];
vordme={'BRP', 'DNP','DON','IVF','KHR','LIV','ODS','SMF'};
%First point of aircraft movement
lat_a=45;
lon_a=34;
alt_a=1000;
%destination point of aircraft movement
lat_b=50;
lon_b=24;
alt_b=1000;
%aircraft speed in m per second
v=150;
%number of points
n=300;
%station coordinate transformation
wgs84 = referenceEllipsoid('wgs84');
d_lat=vor(:,1);
d_lon=vor(:,2);
alt=vor(:,3)%*0.3048;
lat=deg2rad(d_lat);
lat=convertlat(wgs84,lat,'geocentric','geodetic', 'radians');
lon=deg2rad(d_lon);
%[x,y,z]=lla2ecef(lat,lon,alt) ;
[xvor,yvor,zvor] = geodetic2ecef(lat,lon,alt,wgs84)
```

```

%aircraft movement
lat_a=linspace(lat_a,lat_b,n);
lon_a=linspace(lon_a,lon_b,n);
alt_a=linspace(alt_a,alt_b,n);
lat_ad=deg2rad(lat_a);
lat_ad=convertlat(wgs84,lat_ad,'geocentric','geodetic','radians');
lon_ad=deg2rad(lon_a);
[xa,ya,za] = geodetic2ecef(lat_ad,lon_ad,alt_a,wgs84);
figure(1);
plot3(xvor,yvor,zvor,'d');
hold on
plot3(xa,ya,za,'-or');
hold on
text(xvor+100,yvor,zvor,vordme);
hold off
figure(2);
plot(d_lat,d_lon,'d',lat_a,lon_a,'--or');
hold on
text(d_lat+0.1,d_lon,vordme);
hold off
ylabel('lon');
xlabel('lat');
vorde=vordme;
%to NED coordinat system
for j=1:length(d_lat)
    %convert to NED
    [xxx(:,j),yyy(:,j),zzz(:,j)]= ecef2ned(xa,ya,za,lat(j), lon(j),alt(j),wgs84,'radians');
end
%distance calculation
for i=1:length(lat_a)
    clear mma
    mma=msr(vor(:,4), alt_a(i));
    for j=1:length(d_lat)
        d(i,j)=sqrt((xvor(j)-xa(i))^2+(yvor(j)-ya(i))^2+(zvor(j)-za(i))^2);
        if d(i,j)<=mma(j)
            dd(i,j)=d(i,j);
            dm(i,j)=1;
            %azimut calculation
            dlat=d_lat(j)-lat_a(i);
            dlon=d_lon(j)-lon_a(i);

```

```

dm(:,D)=[];
azim(:,D)=[];
%aazim(:,D)=[];
%clear azim
%azim=aazim;
vorde(D)=[];
%plot graphics
n_vor=sum(dm');
figure(3);
subplot(3,1,1);
plot(dd);
title('Distance to VOR/DME ground stantion');
ylabel('Distance, m');
xlabel('time');
legend(vorde);
subplot(3,1,2);
plot(azim, '.');
title('Azimut to VOR/DME ground stantion');
ylabel('Angle azimut');
xlabel('time');
legend(vorde);
subplot(3,1,3);
stairs(n_vor);
title('Number of VOR/DME ground stantion avabile');
ylabel('Number');
xlabel('time');
%VOR measurement
%vor mistake
angledev=1;
%DME error in procents from distant
distanterror=1
for i=1:size(dd,1)
    for j=1:size(dd,2)
        if(dm(i,j)==1)
            m_dd(i,j)=dd(i,j)+normrnd(0,dd(i,j)*distanterror/100);
            m_azim(i,j)=azim(i,j)+normrnd(0,angledev);
        else
            m_dd(i,j)=0;
            m_azim(i,j)=0;
        end
    end
end

```

```

    end
end
figure(4);
subplot(2,1,1);
plot(m_dd);
title('DME distants');
ylabel('Distance, m');
xlabel('time');
legend(vorde);
subplot(2,1,2);
plot(m_azim, '.');
title('Azimut to VOR ground stantion');
ylabel('Angle azimut');
xlabel('time');
legend(vorde);
% coordinat detection by VOR/DME positioning alghoritm
xxx(:,D)=[];
yyy(:,D)=[];
zzz(:,D)=[];
llat=lat;
llon=lon;
lalt=alt;
llat(D)=[];
llon(D)=[];
lalt(D)=[];
figure(5)
plot3(xxx,yyy,zzz)
for i=1:size(dm,1)
    for j=1:size(dm,2)
        if dm(i,j)==0
            xxx(i,j)=0;
            yyy(i,j)=0;
            zzz(i,j)=0;
        else
            distan(i,j)=sqrt(m_dd(i,j)^2-zzz(i,j)^2)
            ddx(i,j)=distan(i,j)*cosd(m_azim(i,j))
            ddy(i,j)=distan(i,j)*sind(m_azim(i,j))
            [X(i,j),Y(i,j),Z(i,j)]=ned2ecef(ddx(i,j),ddy(i,j),zzz(i,j),llat(j), llon(j),lalt(j),wgs84,'radians');
            [A(i,j),B(i,j),H(i,j)] = ecef2geodetic(X(i,j),Y(i,j),Z(i,j),wgs84);
            %error calculation

```

```

[Xe(i,j),Ye(i,j),Ze(i,j)]=ecef2ned(X(i,j),Y(i,j),Z(i,j),llat(1), llon(1),lalt(1),wgs84,'radians');
[Xea(i),Yea(i),Zae(i)]=ecef2ned(xa(i),ya(i),za(i),llat(1), llon(1),lalt(1),wgs84,'radians');
erx(i,j)=abs(Xea(i)-Xe(i,j));
ery(i,j)=abs(Yea(i)-Ye(i,j));
erz(i,j)=abs(Zae(i)-Ze(i,j));
    end
end
end
figure()
plot3(ddx,ddy,zzz,'*')
figure()
plot3(X,Y,Z,'*')
hold on
plot3(xa,ya,za,'-or');
hold on
text(xvor+100,yvor,zvor,vordme);
hold off
figure();
plot(d_lat,d_lon,'d');
ylabel('lon');
xlabel('lat');
hold on
plot(d_lat,d_lon,'d',lat_a,lon_a,'--or');
hold on
text(d_lat+0.1,d_lon,vordme);
AA=rad2deg(A);
BB=rad2deg(B);
for i=1:size(ddx,2)
    hold on
    plot(AA(:,i),BB(:,i),'g');
end
hold off
figure()
subplot(4,1,1)
plot(erx);
title('Error by X coordinate');
ylabel('Error, m');
xlabel('time');
legend(vorde);
subplot(4,1,2)

```

```
plot(ery);
title('Error by Y coordinate');
ylabel('Error, m');
xlabel('time');
legend(vorde);
subplot(4,1,3)
plot(erz);
title('Error by H coordinate');
ylabel('Error, m');
xlabel('time');
legend(vorde);
subplot(4,1,4)
plot((erx+ery+erz)/3);
title('Mean value of Error');
ylabel('Error, m');
xlabel('time');
legend(vorde);
figure()
plot3(Xe,Ye,Ze,'*')
hold on
plot3(Xea,Yea,Zae,'ok')
hold off
figure()
plot(xxx(:,4),yyy(:,4),'*')
legend(vorde);
```