

УДК 528.4

к.т.н., професор Староверов В.С.,

staroverov@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6319-0153,

Київський національний університет будівництва та архітектури,

Гайкін Д.В., geosurveykyiv@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9100-1444,

Департамент інженерних вишукувань ТОВ «ОСНОВА», м. Київ

DOI: 10.32347/2076-815x.2020.72.242-251

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЛЕП ЗА ДОПОМОГОЮ БПЛА З ТЕХНОЛОГІЄЮ ЛІДАРНОГО СКАНУВАННЯ

Розглянуто використання лазерного сканера (лідара) на борту БПЛА для вирішення задач пов'язаних з визначенням параметрів ліній електропередачі з отриманням необхідних інженерно-геодезичних даних, розглянуто принцип дії лідара.

В основній частині наведено рекомендації з вибору типу БПЛА та методу виконання польових робіт (зальотів). Також в основній частині наведено порівняння двох методів – наземного за допомогою електронного тахеометра та лідарного сканування з борту БПЛА

У роботі проаналізовано дані отримувані в результаті лазерного (лідарного) сканування; проаналізовано дослідження та публікації на тему лазерного сканування та моніторингу.

Також, глибоко розглянуто проблематику використання даного методу при визначенні параметрів ЛЕП.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати (БПЛА), лінія електропередачі (ЛЕП), лазерне сканування, лідар

Вступ. Принцип роботи лазерного сканера схожий на радіолокацію. Лідар (LiDAR - Light Detection and Ranging) випромінює лазерні промені, які в свою чергу відбиваються від наземних об'єктів. Прилад вимірює проміжки часу між виходом і поверненням сигналу. За ними визначається довжина шляху, пройденого променями.

Аналіз досліджень та публікацій. На жаль, ніяких нормативних документів, що характеризували, уточнювали, задавали б точність їх виконання немає. Сучасні ДБН та ДСТУ ще навіть не дійшли до чіткого опису та характеристики ГНСС методів, окрім хіба що ДБН А.2.1-1-2014, який трішки описує використання ГНСС методів, але який є незатвердженим. Зі сторони оцінювання даних робіт, ситуація така ж сама – кошториси на інженерно-геодезичні вишукування складаються за Збірником Цін 1982р., тому зрозуміло, що ніяких лазерних сканувань і близько не було.

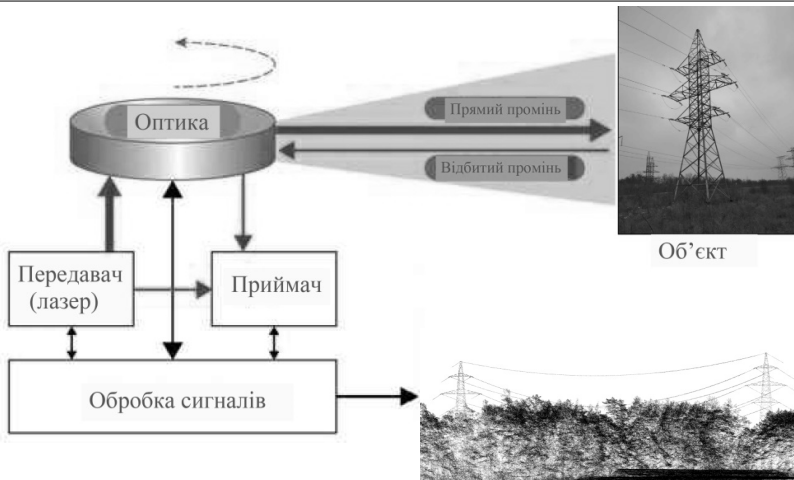


Рис. 1. Схема роботи лідара.

А от ситуація з науковими виданнями від університетів та організацій набагато краща. Більшість публікацій присвячено характеристикам та видам БПЛА, та їх використання для аерофотознімання. Але є й невелика частка де описуються лідарні знімання, закордонних публікацій набагато більше, так як в нашій країні лідарні знімання тільки набирають оберти. З відомих публікацій можна виділити такі як: дисертація Семко І.Д. на тему: «Метод визначення надземної фіто маси деревостану сосни звичайної на основі матеріалів авіаційної лідарної зйомки» та публікацію П.Ф. Буданов, М.П. Буданов, Б.О. Демідов на тему: «Лідари. Основні властивості і перспективи застосування в зразках озброєння і військовій техніці» де чітко описується принцип дії лідарної зйомки, а в публікації С.Войтенко, Р.Шульц, та М.Білоуса на тему: «Визначення кренів інженерних споруд методом наземного лазерного сканування» найбільш наближено описується метод сканування для задач з моніторингу, за тим виключенням, що ми розглядаємо лазерне (лідарне) сканування з борту БПЛА.

Постановка завдання. Метою даної роботи є ознайомлення з методом визначення параметрів ЛЕП за допомогою лідарного сканування з борту БПЛА, виявлення недоліків даного методу та постановка проблематики.

Основна частина. Для виконання даних робіт, передусім, ми маємо обрати БПЛА, всього їх можна розбити на більш ніж 16 критеріїв за призначеннями, типами і т.д., але ми зупинимося на типу «дрон». БПЛА даного типу є кращим вибором для визначення параметрів ЛЕП, і основною перевагою

є маневреність – дрони є більш «проворними», їм не потрібно витрачати багато часу на розвороти та інші маневри, в порівнянні з БПЛА літакового типу; також, при роботах з ЛЕП потрібна висока маневреність БПЛА, щоб не зіткнутися з дротами під напругою, при детальних обстеженнях опор;

Метод виконання робіт полягає в тому, що БПЛА технологією лідарної зйомки сканує лінію електропередачі. Для цього спочатку необхідно в спеціалізованому ПЗ задати ділянку вишукувань та прокласти маршрути. Зазвичай, ПЗ автоматично генерує їх, але для кращого результату можливо розглянути такий спосіб прокладання маршрутів:

По-перше: заліт має виконуватися по різні сторони від осі лінії електропередачі, наприклад в одну сторону дрон робить заліт зліва від осі ЛЕП, а як повертається – по правій;

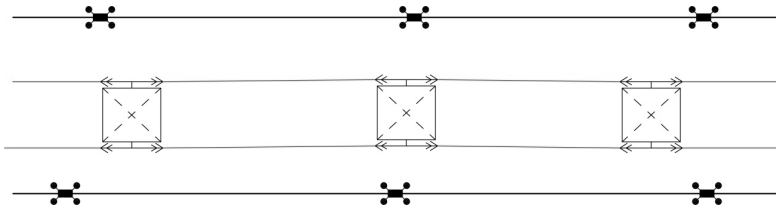


Рис. 2. Схема зальоту БПЛА в плані.

По-друге: заліт можливо виконати на різних висотах, тобто потрібен один заліт вище опори, щоб зісканувати верхню частину, і ще один нижче нижньої полиці опори, на висоті 5-7 м. Це дозволить зісканувати опори з-під низу, що в свою чергу дозволить повністю розглянути низ полиць та ізоляторів. Але, для того щоб виконати заліт таким чином, камера для лідарного сканування мусить мати великий вертикальний кут сканування, або спеціально встановлена.

Далі ми отримуємо хмару точок.

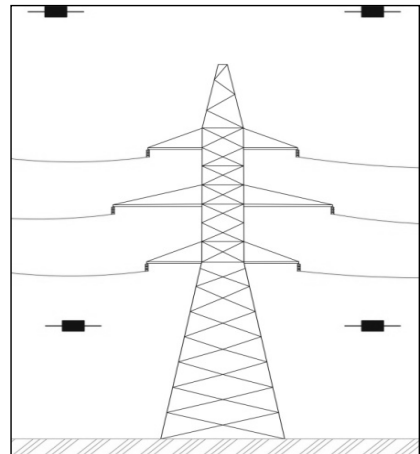


Рис. 3. Схема зальоту БПЛА в профілі.

Після обробки цих результатів в спеціалізованому ПЗ, ми зможемо виконувати прості виміри по даній хмарі точок, наприклад в ПЗ AutoCad ReCap

– такі як відстані та кути. Для більшого діапазону операцій, потрібно обробити дану хмару точок в такому ПЗ як AutoCad Revit чи йому подібні, в результаті отримаємо вже не хмару точок, а повноцінну 3-D модель.

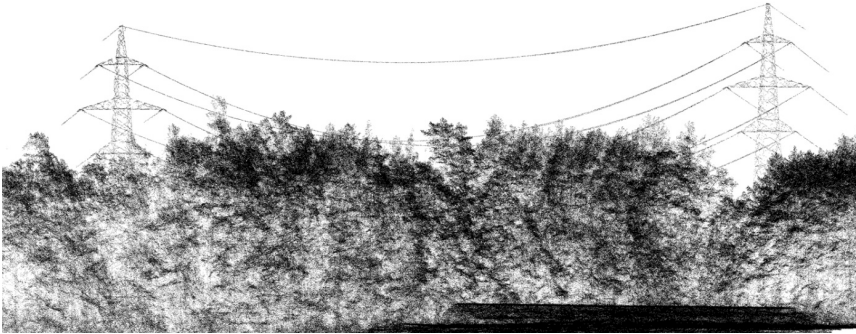


Рис. 4. Приклад 3D моделі.

Для аналізу ефективності порівнюємо два різних методи – звичайний наземний за допомогою електронного тахеометра та за допомогою БПЛА з технологією лідарного сканування.

Таблиця 1.

Порівняння двох методів

Характеристика	Електронний тахеометр	Лідар
Точність ¹	±1 мм.	±10-50 мм. (додатково потрібно врахувати точність визначення положення самого БПЛА в просторі)
Швидкість виконання ² (на прикладі траси ЛЕП 10 км.)	5-7 днів	1 день
Кількість затребуваних фахівців ³	2-3	1-2
Вартість виконання робіт ⁴	Від 600 000,00 грн.	До 500 000,00 грн.
Вартість приладів ⁵	До 300 000,00 грн.	Від 2 000 000,00 грн.

1 – в електронних тахеометрів точність буде значно вищою, але, для одноразового/першого моніторингу, точність лідару достатня. Метод лідарного сканування можливо використовувати для виявлення поточних відхилень ЛЕП, та проектувати наступний детальний моніторинг опор ЛЕП які в аварійному стані чи близькому до нього наземними методами.

2 – швидкість виконання приведена за польові роботи базуючись на власному досвіді. Швидкість виконання камеральних робіт залежить від

багатьох факторів, таких як: ПЗ, досвід фахівця, тривалість робочого дня, загрузка фахівця та ін., тому достовірно прорахувати неможливо.

3 – для наземного методу потрібно мінімум 2 людини для польових робіт та 1 для камеральних, якщо обробка польових робіт буде робитися паралельно польовим вишукуванням; для лідарного сканування достатньо 1 фахівця, але враховуючи специфіку та новітність робіт може знадобитися ще 1 фахівець окремо на камеральні роботи.

4 – вартість виконання робіт для наземного методу прораховується за Збірником Цін 1982р., з врахуванням коефіцієнту за інфляцію; для лідарного ж сканування прорахувати вартість робіт за ним неможливо, тому ціни носять договірний характер, і як правило їх роблять дешевшими ніж наземні методи в зв'язку з меншим затратом людино-днів.

5 – вартість сучасного електронного тахеометра достатнього для моніторингу ЛЕП складає до 300 000,00 грн., а от вартість БПЛА камерою для лідарного сканування і камерою для знімання (окремо; для того щоб отримати 3-D модель в природних кольорах) та ПЗ, складатиме більше 2 000 000,00 грн.

Проблематика. Звісно ж першою проблемою на шляху фахівця, який хоче працювати методом лідарного сканування є його вартість. Далеко не кожна геодезична організація має змогу придбати прилади для даного методу та ПЗ до нього, яке до того ж вартує сотні доларів на рік.

Наступною проблемою є відсутність кваліфікованих фахівців. На сьогоднішній день, в Україні технології лідарного сканування тільки набирають оберти, і всі фахівці, які зараз є в Україні, а їх дуже мало, вчатьса самостійно – на практиці при використанні цих технологій і спілкуючись як з фірмою – продавцем обладнання так і з іноземними колегами. Знайти фахівця скажімо після випуску з університету неможливо, так як там цього не навчають, і з цього випливає наступна проблема.

Неякісна освіта – на жаль, зараз освіта в Україні не носить інноваційний характер, якщо раніше всі нові технології йшли від університетів, де відразу і викладалися, то зараз все сучасне знання лежить в головах інженерів-практиків, які зіткнулися з новими технологіями, методами, приладами та освоїли їх, і тепер являються справді фахівцями, а студенти на-жаль після випуску не мають ніякого уявлення про сучасну інноваційну геодезію.

Описуючи проблеми інноваційних методів, неможливо не затронутися державу.

Наступна проблема існує на державному рівні – відсутність сучасних ДБН чи ДСТУ чи інших нормативних документацій для лідарного сканування (та і сканування в цілому) відсутня взагалі, і чим керуватися при роботах та як ці самі роботи мають контролюватися незрозуміло. Така ж ситуація зі

складанням кошторису, до сьогоднішнього дня всі вишукувальні роботи (геодезія, геологія, гідрографія, проектування і т.д.) керуються Збірником Цін 1982р., як оцінювати роботу – невідомо, тому все носить договірний характер, що часто спонукає багатьох до демпінгу.

І останньою проблемою в цьому списку, але не по значенню, є використання результатів лідарного сканування – для чого виконується визначення параметрів ЛЕП? Щоб виявити відхилення від проекту чи норми. Відхиленнями можуть бути крени, деформації, тріщини, натяг дротів і т.д. Розглянемо наприклад натяг дротів. Інженер-геодезист після виконання робіт надає проектувальнику результат – а саме 3-D модель (або ж хмару точок). І тут ми стикаємося з проблемою – інші супутні фахівці не вміють використовувати ці дані. Дані, які є набагато повніші, доцільніші, кращі – при чому не вміють їх використовувати ні «бували» проектувальники яким за 40, ні молоді фахівці яким до 25. І виходить, що дані немає кому використовувати, тому що всі вміють працювати тільки в 2-D просторі, а не 3-D.

Висновки. Отже, в результаті опрацювання сучасних публікацій та аналізі переваг даного методу та існуючої проблематики, можна зробити висновок, що метод визначення параметрів ЛЕП за допомогою БПЛА з технологією лідарного сканування є інноваційним на сьогоднішній день, і попри якість та повноту інформації яку він може забезпечити, він ще не користується великим попитом; але, з надією на впровадження ВІМ технологій в майбутньому, на підготовку кваліфікованих фахівців та подальшою роботою з БПЛА цей метод може повністю замінити не тільки попередній моніторинг ЛЕП, але й топографо-геодезичні вишукування, які виконують для реконструкції чи нового будівництва, адже при виконанні робіт по 3-D скануванню для цілей з попереднього моніторингу, ми автоматично отримуємо заміну топоплану.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.1.3-2:2010 ДЕРЖАВНІ БУДІВЕЛЬНІ НОРМИ УКРАЇНИ Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ У БУДІВНИЦТВІ ІНЖЕНЕРНІ ВИШУКУВАННЯ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА.
2. Беспилотные авиационные системы (БАС): ICAO CIR 328 AN/190 ИКАО. – Монреаль, Канада: ИКАО, 2011 – 66 с.
3. Семко, Ігор Дмитрович. Метод визначення надземної фітомаси деревостану сосни звичайної на основі матеріалів авіаційної лідарної зйомки : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.07.12 / І.Д. Семко ; НАН України, Держ. установа "Наук. центр аерокосм. досліджень Землі Ін-ту геологічних наук НАН України". - К., 2015. - 20 с.
4. Буданов, П.Ф. Лідари. Основні властивості і перспективи застосування в зразках озброєння і військової техніці [Текст] / П.Ф. Буданов, М.П. Буданов, Б.О. Демидов // Системи озброєння і військова техніка : наук. журн. – 2008. – № 1. – С. 30–37.

5. С. Войтенко, Р. Шульц Київський національний університет будівництва і архітектури, М. Білоус «Укргеодезмарк» «Визначення кренів інженерних споруд методом наземного лазерного сканування» / Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, випуск I (17), 2009 – С.144 - 150.
6. John S.Glaser, Director of Application Engineering; Efficient Power Conversion Corporation “eGaN FETs for Lidar – Getting the Most Out of the EPS9126 Laser Driver – 11p.
7. Reg Austin. Unmanned Aircraft systems; UAVS Design, Development and Deployment / Reg Austin. – A John Wiley and Sons, Ltd. Publication – 2010 – 332p. – AIAA Education Series.
8. Classification of Unmanned Aerial Vehicles [Text] /Dr. Maziar Arjomandi – MECH ENG 3016 Aeronautical engineering – The University of Adelaide Australia, 2011. – 49 p.
9. Civil Aviation Safety Authority, Australia. “Unmanned Aircraft and Rocket Operations” [Text]: CASR Part 101. – Australia: CASR, January 2003. –56 p.
10. Unmanned Aerial Vehicles for Rapid Environmental Assessment and Mine Countermeasures [Text]: DSTO-GD-0439 / Manuel de Sousa. – Adelaide, Australia: Defence Science and Technology Organisation “Maritime Operations Division”, June 2005. – 18 p.
11. Unmanned Aerial Vehicles [Text]: Issues paper / Civil Aviation Authority of New Zealand. – 22 January 2007. – 21p.
12. Advancing Unmanned Systems in Canada 2007-2010 [Text]/ Canadian Centre for Unmanned Vehicle Systems –2010 – 36p.
13. Unmanned Air Vehicle Working Group Final Report [Electronic resource]: Draft / Transport Canada Civil Aviation Working Group, Inc. – Electronic data. – Transport Canada Civil Aviation Working Group, September 2007. – Software requirements: Adobe Reader 9.x or higher
14. Safety Considerations for operation of Unmanned Aerial Vehicles in the National Airspace System [Text]: Report No.ICAT-2005-1/ Roland E. Weibel and R. John Hansman; MIT International Center for Air Transportation Department of Aeronautics & Astronautics Massachusetts Institute of Technology Cambridge. – MA 02139 USA, March 2005 – 107 p.
15. Chris J. Hodson. Civil Airworthiness for a UAV Control Station [Text]: This report is submitted to satisfy the project requirements of the Master of Science in Safety Critical Systems Engineering at the Department of Computer Science/Chris J. Hodson. – September 2008. – 119 p.
16. Unmanned Aircraft System Operations in UK. Airspace [Text]: CAP 722 Document: UAVS/001, Version 01. – Civil Aviation Authority – 7 April 2011 – 10 p.
17. ASPRS Standards, Guidelines and Best Practices (Електронний ресурс): LASer (LAS) File Format Exchange Activites/The American Society for Photogrammetry s Remote Sensing (2003. -)
18. Philip G.M. A precise Method for Determining Contoured Surfaces / G.M. Philip, D.F. Watson // Australian Petroleum Exploration Association Journal. – 1982. – No. 22. – P. 205-212.

к.т.н., професор Староверов В.С.,

Київський національний університет будівництва і архітектури,

Гайкин Д.В.,

Департамент інженерних изысканий ООО «ОСНОВА», г. Киев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛЭП С ПОМОЩЬЮ БПЛА С ТЕХНОЛОГИЕЙ ЛИДАРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

В статье рассмотрено использование лазерного сканера (лидара) на борту БПЛА для решения задач связанных с определением параметров линий

электропередачи с получением необходимых инженерно-геодезических данных, рассмотрены принцип действия лидара.

В основной части приведены рекомендации по выбору типа БПЛА и метода выполнения полевых работ (зальотов). Также в основной части приведено сравнение двух методов - наземного с помощью электронного тахеометра и лидарного сканирования с борта БПЛА

В работе проанализированы данные получаемые в результате лазерного (лидарного) сканирования; проанализированы исследования и публикации на тему лазерного сканирования и мониторинга.

Также, глубоко рассмотрена проблематика использования данного метода при определении параметров ЛЭП.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты (БПЛА), линия электропередачи (ЛЭП), лазерное сканирование, лидар

Cand. tech. Sciences, Professor Staroverov V.S.,
Kyiv National University of Construction and Architecture
Haikin D.V., Department of the Engineering Research
of «OSNOVA» LLC, Kiyev

DETERMINATION OF PARAMETERS OF POWER TRANSMISSION LINES WITH THE HELP OF UAV WITH LIDAR SCANNING TECHNOLOGY

The article deals with the use of a laser scanner (lidar) on board the UAV to solve problems related to determining the parameters of transmission lines with obtaining the necessary engineering and geodetic data, the principle of the lidar action.

The main part provides recommendations on the choice of UAV type and method of field work (flying). Also, the main part is a comparison of two methods - ground-based electronic tachymeter and lidar scanning from the UAV

The paper analyzes the data obtained as a result of laser (lidar) scanning; researches and publications on the topic of laser scanning and monitoring are analyzed.

Also, the problems of using this method in determining the parameters of transmission lines are deeply considered.

The principle of laser scanner operation is similar to radar. LiDAR (Light Detection and Ranging) emits laser beams, which in turn reflect off terrestrial objects. The device measures the time intervals between the output and the return signal. They determine the length of the path traveled by the rays.

The purpose of this work is to get acquainted with the method of determining the parameters of transmission lines by means of lidar scanning from the UAV board, to identify the shortcomings of this method and to formulate problems.

To perform the monitoring, first of all, we have to choose UAVs, all of which can be divided into more than 16 criteria by purpose, type, etc., but we will focus on the drone type. UAVs of this type are the best choice for determining the parameters of transmission lines, and the main advantage is maneuverability - they do not need to spend a lot of time on turns and other maneuvers, compared to UAVs of aircraft type; also, when working with transmission lines, high UAV maneuverability is required to avoid contact with live wires, with detailed surveys of supports;

Keywords: unmanned aerial vehicles (UAVs), power line (transmission line), laser scanning, lidar.

REFERENCES

1. DBN B.1.3-2: 2010 STATE BUILDING STANDARDS OF UKRAINE / System for ensuring the accuracy of geometric parameters in construction
2. Unmanned Aircraft Systems (UAS): ICAO CIR 328 AN / 190 ICAO. - Montreal, Canada: ICAO, 2011 - 66 p.3.
3. Semko, Igor Dmitrovich. A method for determining the above ground phytomass of a pine tree stand, based on aviation lidar materials: abstract. diss. ... Cand. tech. Sciences: 05.07.12 / I.D. Semko; NAS of Ukraine, Gos. Institution "Scientific Center of Aerospace Research of Earth of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine". - K., 2015. - 20 p.
4. Budanov, P.F. Lidar. Basic properties and prospects of application in weapons samples and military equipment [Text] / P.F. Budanov, M.P. Budanov, B.A. Demidov // Weapons systems and military equipment: Sciences. . - 2008. - № 1. - P. 30–37.
5. S. Voytenko, R. Shulz Kyiv National University of Construction and Architecture, M. Belous "Ukrgeodezmark" "Determination of rolls of engineering structures by ground-based laser scanning" / Modern achievements of geodetic science and production, Issue I (17), 2009 - P.144 150.
6. John S.Glaser, Director of Application Engineering; Efficient Power Conversion Corporation "eGaN FETs for Lidar – Getting the Most Out of the EPS9126 Laser Driver – 11p.
7. Reg Austin. Unmanned Aircraft systems; UAVS Design, Development and Deployment / Reg Austin. – A John Wiley and Sons, Ltd. Publication – 2010 – 332p. – AIAA Education Series.

8. Classification of Unmanned Aerial Vehicles [Text] /Dr. Maziar Arjomandi – MECH ENG 3016 Aeronautical engineering – The University of Adelaide Australia, 2011. – 49 p.

9. Civil Aviation Safety Authority, Australia. “Unmanned Aircraft and Rocket Operations” [Text]: CASR Part 101. – Australia: CASR, January 2003. –56 p.

10. Unmanned Aerial Vehicles for Rapid Environmental Assessment and Mine Countermeasures [Text]: DSTO-GD-0439 / Manuel de Sousa. – Adelaide, Australia: Defence Science and Technology Organisation “Maritime Operations Division”, June 2005. – 18 p.

11. Unmanned Aerial Vehicles [Text]: Issues paper / Civil Aviation Authority of New Zealand. – 22 January 2007. – 21p.

12. Advancing Unmanned Systems in Canada 2007-2010 [Text]/ Canadian Centre for Unmanned Vehicle Systems –2010 – 36p.

13. Unmanned Air Vehicle Working Group Final Report [Electronic resource]: Draft / Transport Canada Civil Aviation Working Group, Inc. – Electronic data. – Transport Canada Civil Aviation Working Group, September 2007. – Software requirements: Adobe Reader 9.x or higher

14. Safety Considerations for operation of Unmanned Aerial Vehicles in the National Airspace System [Text]: Report No.ICAT-2005-1/ Roland E. Weibel and R. John Hansman; MIT International Center for Air Transportation Department of Aeronautics & Astronautics Massachusetts Institute of Technology Cambridge. – MA 02139 USA, March 2005 – 107 p.

15. Chris J. Hodson. Civil Airworthiness for a UAV Control Station [Text]: This report is submitted to satisfy the project requirements of the Master of Science in Safety Critical Systems Engineering at the Department of Computer Science/Chris J. Hodson. – September 2008. – 119 p.

16. Unmanned Aircraft System Operations in UK. Airspace [Text]: CAP 722 Document: UAVS/001, Version 01. – Civil Aviation Authority – 7 April 2011 – 10 p.

17. ASPRS Standards, Guidelines and Best Practices (Електронний ресурс): LASer (LAS) File Format Exchange Activites/The American Society for Photogrammetry s Remote Sensing (2003. -)

18. Philip G.M. A precise Method for Determining Contoured Surfaces / G.M. Philip, D.F. Watson // Australian Petroleum Exploration Association Journal. – 1982. – No. 22. – P. 205-212.