

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: «Обґрунтування оптичного(лазерного)методу дослідження
космічних об'єктів»

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи РРм-61
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Дембічак М.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Яськів В.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Хвостівська Л. В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Дунець В. Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

Кафедра Радіотехнічних систем

Освітній ступінь Магістр

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 201__ р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Дембічак Микола Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Обґрунтування оптичного(лазерного)методу дослідження космічних об'єктів»

Керівник проекту (роботи) к.т.н., доцент, декан ФІТ Яськів В.І.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від «24» листопада 2020 року № 4/7-870

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 19.12.2020

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Зміна фази $\leq (5-15)^\circ$

Ймовірність виявлення похибки сигналів $\geq 94\%$

Параметр $\leq 10\%$ від оптичного випромінювання

Загальний коеф. відбиття від атмосфери $\leq 7\%$

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина, використання оптоелектронних пристроїв для позиціонування КО, їх можливості.

2. Основна частина. Математичний опис лазерного локаційного сигналу. Статичні характеристики сигналів.

3. Науково-дослідницька частина. Опис методу дослідження за космічними об'єктами.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

слайди 1-2 - актуальність теми, мети і задачі.

слайди 3-4 - аналіз характеристик при дослідженні космічних об'єктів.

слайди 5-9 - математичний опис сигналів.

слайди 10-11 - графіки залежності частоти вимірювань від атмосфери та енергетики лазерних імпульсів

слайд 12 - висновки

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>			
<i>безпека в надзвичайних ситуаціях</i>			

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	<i>Отримання завдання</i>	07.10.2020	виконав
	<i>Основна частина</i>	05.12.2020	виконав
	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	15.12.2020	виконав
	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>		виконав
	<i>Попередній захист</i>	20.12.2020	виконав
	<i>Захист</i>	23.12.2020	виконав

Студент _____
(підпис)

Дембічак М. А.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____
(підпис)

Яськів В.І.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: Обґрунтування оптичного (лазерного) методу дослідження космічних об'єктів. // Дипломна робота // Дембічак Микола Андрійович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РРм-61 // Тернопіль, 2020 // с. – 60, рис. - 17, табл. - 1, додат. - 1, бібліогр. - 24.

Ключові слова: ОПТИЧНИЙ ЛАЗЕР, ВИПРОМІНЮВАННЯ, НАДВИСОКА ЧАСТОТА, КОЕФІЦІЄНТ СТОЯЧОЇ ХВИЛІ, ДІАПАЗОН ЧАСТОТ, АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, КОЕФІЦІЄНТ ПІДСИЛЕННЯ, ДІАГРАМА НАПРАВЛЕНОСТІ.

У кваліфікаційній роботі досліджена система лазерних локаційних систем (LLS), які є частиною системи управління космосом, яка використовується для точного визначення координат космічних об'єктів (КО) та вирішення завдань космічної геодезії, геодинаміки та навігаційних проблем. Принцип спостереження в лазерних локаціях полягає у виявленні КО шляхом опромінення КО когерентним електромагнітним світлом та запису відбитого сигналу, а потім вимірювання часу його поширення.

Основним завданням обробки в процесі отримання координатної інформації КО є виявлення відбитого сигналу, тому після цього визначається, чи є об'єкт у вибраній області простору. Для збільшення обсягу даних про положення використовується лазерний передавач з частотою імпульсів 1 кГц або вище. У цьому випадку зменшення енергії імпульсу передавача до одиниць мДж зменшить умовну ймовірність правильного виявлення та значно зменшить кількість реєстрацій ехо-сигналів, особливо у віддалених та малих місцях КО. Тому для організації таких спостережень найважливішим є характеристики виявлення ЛЛС.

ANNOTATION

Theme of qualification work: Substantiation of optical (laser) method of research of space objects. // Thesis // Dembichak Mykola Andriyovych // Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyuy, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, group PPM-61 // Ternopil, 2020 // p. - 60, fig. - 17, tabl. - 1, Add. - 1, Ref. - 24.

Keywords: OPTICAL LASER, RADIATION, ULTRAHIGH FREQUENCIES, STANDING WAVE COEFFICIENT, FREQUENCY RANGE, AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTIC, GAIN, DIRECTIVITY DIAGRAM.

In the master's thesis, laser location systems (LLS), which are part of the space control system and are used to accurately determine the coordinates of space objects (CO), as well as to solve problems of space geodesy, geodynamics and navigation. The principle of laser location observations is to detect the CO by means of its irradiation with coherent electromagnetic light and registration of the reflected signal with the subsequent measurement of its propagation time.

The task of primary processing in the process of obtaining the coordinate information of the CO is to detect the reflected signal, as a result of which a decision is made on the presence or absence of the object in the selected area of space. In order to increase the amount of location data, laser transmitters with a pulse frequency of 1 kHz and more are used. At the same time, the reduction of the pulse energy of the transmitter to units of mJ leads to a decrease in the conditional probability of correct detection and a significant reduction in the number of echo signal registrations, especially in the location of remote and small-sized COs. Therefore, for the organization of location observations, the primary importance is given to the characteristics of LLS detection.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	
1.1 Використання оптоелектронних пристроїв для позиціонування відносно космічних об'єктів	
1.2 Можливості національних оптичних засобів космічного спостереження для контролю геостаціонарної орбіти	
1.3 Висновки до розділу 1.....	
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	
2.1 Математичний опис лазерного локаційного сигналу.....	
2.2. Сигнал, що випромінюється лазерним локатором, і його статистичні характеристики в околиці мети спостереження.....	
2.3 Висновок до розділу 2.....	
РОЗДІЛ 3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	
3.1 Покращення можливості виявлення лазерної локаційної системи для управління простором, беручи до уваги характеристики турбулентної атмосфери при формуванні оптичних сигналів	
3.2 Висновок до розділу 3.....	
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	
4.1 Електробезпека користувачів персональних комп'ютерів.....	
4.2 Завдання страхування від нещасного випадку. Принципи та види страхування	
4.3 Висновок до розділу 4.....	
ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	
ДОДАТКИ.....	

ВСТУП

Актуальність теми. Лазерні локаційні системи - це частина системи управління космосом, яка використовується для точного визначення координат космічних об'єктів (КО) та вирішення геодезичних, геодинамічних та навігаційних космічних проблем. Принцип спостереження за лазерними системами полягає у виявленні КО шляхом опромінення КО когерентним електромагнітним світлом та запису відбитого сигналу, а потім вимірювання часу його поширення.

Отже, тема дослідження є актуальною і відповідає цілям космічного призначення ЛЛС. З запуском нових супутників і переходом на денні спостереження також зросла актуальність збільшення виявленості ЛЛС. Ця проблема особливо серйозна, якщо є розміщення невеликих космічних уламків на далеких орбітах.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є збільшення можливостей виявлення лазерної системи локації космічного управління. Для досягнення цієї мети була вирішена головна наукова проблема: розробка методів створення оптичних сигналів ЛЛС з урахуванням параметрів турбулентної атмосфери.

А також було вирішено ряд часткових наукових проблем:

- проведено аналіз впливу умов нагляду за просторовими об'єктами на виражальні здібності, продемонстровано можливість збільшення виразності;
- передбачена математична модель процесу поширення когерентних оптичних сигналів у турбулентній атмосфері з урахуванням параметрів руху цільової ділянки;
- оцінена можливість виявлення лазерної системи локації з урахуванням впливу стану центру поширення та параметрів об'єкта локації;
- розроблено метод для збільшення можливості виявлення системи локації лазера в результаті створення імпульсів лазерного передавача;

- обґрунтовані вимоги до створення когерентних оптичних імпульсів з заданою умовною ймовірністю правильного виявлення з урахуванням параметрів шляху поширення імпульсів локалізації;

- розроблено метод формування імпульсів лазерного передавача з набором параметрів, що збільшують енергетичний потенціал локаційної системи завдяки багатоступеневій оптичній накачці.

Об'єктом дослідження є процес лазерного розташування космічного об'єкту.

Предметом дослідження є процеси формування, обробки та поширення в турбулентній атмосфері когерентних оптичних сигналів.

Методи дослідження. Проведено аналіз та систематизацію типових конструкцій та технічних характеристик дзеркальних асиметричних прямих фокальних антен.

Відповідно до стандартних методів вимірювань, розраховані радіотехнічні характеристики антен із зміщенням дзеркала, які випробовували на лабораторному стенді.

Наукова новизна результатів. Основними науковими новинками, отриманими під час вирішення поставлених у роботі завдань, є:

- відповідно до закону Кеплера, залежно від висоти космічного об'єкта, моніторинг і подальше відстеження проходить через турбулентну атмосферу з різною швидкістю, і в міру зменшення відстані космічного об'єкта спектр коливань фазових спотворень зміщується в діапазон високих частот. Отримані частотні характеристики турбулентної атмосфери накладають певні обмеження на режим опорної частоти зондуючих оптичних імпульсів локаційної системи.

- запропоновано метод перетворення світлового випромінювання, що має спектр в області видимого світла, в випромінювання в іншому діапазоні довжин хвиль, тобто здійснює зсув частоти спектра. Зміна спектрального складу світлового випромінювання шляхом перенесення його в інший спектральний

діапазон електромагнітних хвиль в основному базується на явищах квантової механіки і законі взаємодії випромінювання і речовини.

Практичне значення одержаних результатів. Теоретичні дослідження засновані на використанні положення хвильової та корпускулярної теорії світла; теорія дифракції оптичного поля; статистична теорія виявлення сигналів.

Експериментальні дослідження проводились із застосуванням методів фізичного моделювання та статистичної обробки результатів експериментальних досліджень.

Апробація результатів роботи. Апробація та оприлюднення результатів досліджень відбулось на VIII науково-технічній конференції ТНТУ ” Інформаційні моделі системи та технології ” 09-10 грудня 2020, збірник тез доповідей.

Публікації. У тезах VIII Міжнародної науково-технічної конференції опубліковані тези доповідей.

Структура роботи. Робота складається із розрахунку та пояснювальної записки. Розрахунки та пояснення складаються із вступу, 4 частин, висновків, списку використаної літератури та додатків. Обсяг роботи: врегулювання та уточнення -60 аркуші. Формат А4 та додатки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Використання оптоелектронних пристроїв для позиціонування відносно космічних об'єктів

В даний час повний контроль керованих, некерованих космічних кораблів (КК) та об'єктів (КО) на геостаціонарній орбіті здійснюється лише Російською Федерацією (РФ) та Сполученими Штатами Америки (США), які мають добре розвинену та розгалужену мережу радіолокаційних та оптоелектронних пунктів спостереження.

В Україні оптичні засоби спостереження використовують для спостереження за космічними апаратами та космічними апаратами на геостаціонарній орбіті.

Після розпаду СРСР оптичні спостереження КО в Україні проводились лише в декількох університетських обсерваторіях.

Завдяки зусиллям національних команд обсерваторій була збережена не тільки науково-технічна база для всебічних спостережень за птахами, але також були розроблені нові методи моніторингу поведінки космічних кораблів на орбіті та визначення характеристик їх призначення.

Метою є представити можливості національних засобів оптичного космічного спостереження для проведення комплексних спостережень космічних апаратів з метою визначення їх стану, складу бортового обладнання, орієнтації та просторового положення на прикладі геостаціонарних досліджень космічних апаратів Luch-Olympus та Electro-L1.

Аналіз можливості проведення всебічних спостережень космічного корабля. В даний час в інтересах управління космічним простором, а саме управління космічними апаратами на геостаціонарній орбіті, в Україні функціонують два пункти оптичного спостереження:

- лабораторія космічних досліджень Державної вищої школи освіти "Ужгородський національний університет" (ЛКД ШЕІ УжНУ);

- НДІ «Астрономічна обсерваторія» Одеського національного університету. І.І. Мечникова (НДІ ВАТ ОНУ).

Програмно-апаратні комплекси обох точок оптичного спостереження дозволяють проводити регулярні, високоточні, позиційні та колориметричні (В, V, R фільтри) (складні) оптичні спостереження геостаціонарних зондів у діапазоні оптичних хвиль.

1.2. Можливості національних оптичних засобів космічного спостереження для контролю геостаціонарної орбіти

Дослідження космічного корабля «Луч-Олимп». Космічний корабель "Луч-Олимп", міжнародний номер 2014-058А, був виведений на геостаціонарну орбіту 28 вересня 2014 року в робочому орбітальному положенні 57° с.

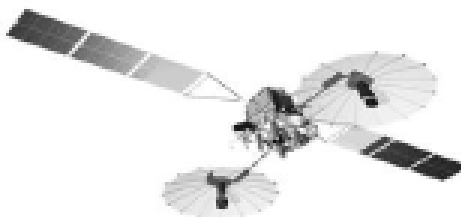


Рис.1.1. КА "Луч -5В"

Окрім космічного корабля "Луч-Олимп", Російська Федерація має ще три космічні апарати із системи "Луч-5".

Маса серійного космічного корабля "Промінь-5" складає 1148 - 1350 кг.

Первинна платформа для серійного космічного корабля "Промінь-5" називається "Експерт-1000".

Основні орбітальні параметри та склад бортового обладнання космічного корабля наведені у відкритих джерелах [1].

З іншого боку, інформація про зонд Luch-Olympus у відкритих джерелах дуже обмежена. Повідомлялося, що космічний корабель Ray-Olympus виготовляється в Інформаційних супутникових системах. М.Ф. Решетнєва » за спільним наказом ФСБ та Міністерства оборони.

Згідно з офіційними звітами виробника цього космічного корабля, наголошувалося, що він також розроблявся на базі такої платформи як "Експрес-1000".



Рис.1.2. КА «Луч-Олимп»

Однак інші відкриті джерела повідомляють, що космічний корабель Ray-Olympus важить трохи більше 3000 кг. Що зазвичай не відповідає можливостям платформи підтримки "Експрес-1000". Тому для заявленої маси космічного корабля слід використовувати більш потужну супутникову платформу.

Неоднозначність даних стосувалась кількості радіоантен та інших елементів космічного корабля [3].

За даними відкритих джерел, одна з антен космічного корабля "Рей-Олімп" призначена для особливо важливих персональних комунікацій [4].

Існують також непрямі докази того, що на космічному кораблі є лазерні канали радіозв'язку на розвідувальному космічному кораблі з низькою орбітою, і ці канали використовуються для розвідки поза зоною прийому наземної служби.

Згідно з повідомленнями, орбітальне положення космічного корабля становить 167° пн. [2]

У цьому випадку космічний корабель "Лео Олімп" спочатку був доведений до точки стояння 57° С.

Вік руху космічного корабля "Лев Олімп". Після запуску космічного корабля "Луч-Олімп" на геостаціонарну орбіту космічний корабель негайно почав рух на схід.

Так само, судячи з цієї орбітальної позиції, постійно перехоплюються урядові та дипломатичні дані китайських спецслужб. У квітні 2015 року космічний корабель "Луч-Олімп" почав рухатися на захід із відносно низькою швидкістю, ненадовго затримавшись над Атлантичним океаном в орбітальному положенні 18° і 1 з.д.

Як вже згадувалося раніше, кут заходу космічного човника "Лі Олімп" становив $9^\circ .83$, що збіглося з входом авіаносця "ВМС Росії" Адмірал Кузнецов "у Середземне море.

2017 року оптичні спостереження показали, що космічний корабель "Луч-Олімп" почав передислокуватися на схід із середньою кутовою швидкістю 1,45 градуса на добу.

Розклад руху космічного корабля "Олімп Світло" показано на рисунку 1.3

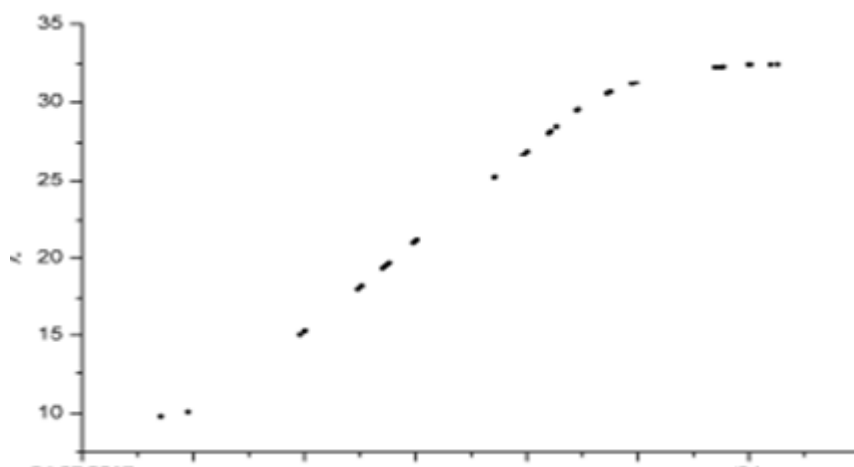


Рис. 1.3. Зміна довготи підсупутникової точки КА

Аналіз даних показує, що за останні три дні космічний корабель Luke Olympus поступово досяг максимальної швидкості.

У цьому орбітальному положенні космічний корабель зупинився поблизу американського космічного супутника NEWWDWN. Цей факт показує, що космічний корабель "Рей-Олімп" експлуатувався під час періоду передислокації.

У трьох, двох та одному фільтрах проводились фотометричні спостереження космічного корабля "Лео Олімп" відповідно до умов

спостереження. Станом на 27 вересня 2017 року космічний корабель «Луч-Олімп» зафіксував 22 криві яскравості. Наприклад, на малюнках 1.4 та 1.5 показана крива яскравості космічного корабля "Олімп", яка була отримана шляхом складних спостережень.

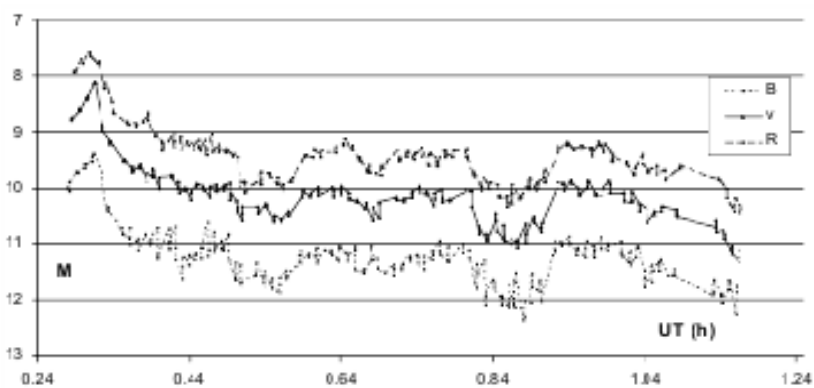


Рис.1.4. Криві блиску КА «Луч Олимп» фільтри B, V, R

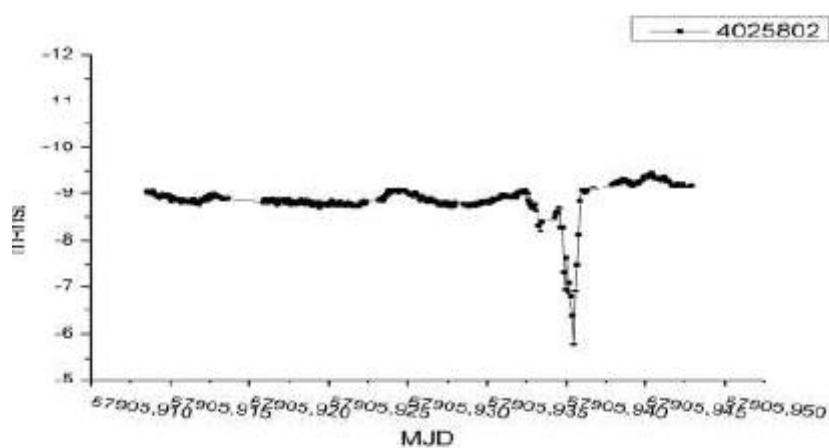


Рис.1.5. Крива блиску КА «Луч-Олимп» фільтр R

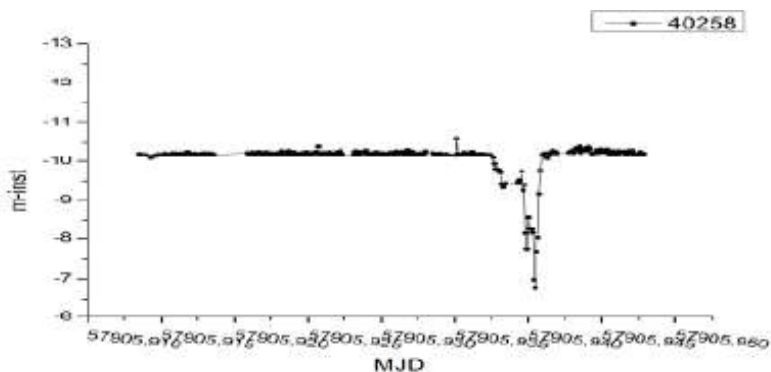


Рис.1.6. Крива блиску КА «EUTE W2C» фільтр R

Як показано на рисунку 1.6, яскравість космічного корабля різко впала. Викликана вона технічною несправністю фотометра. Для порівняння на малюнку 6 показана типова крива блиску космічного корабля "EUTE W2C" у фільтрі R.

Зауважимо, що яскравість космічного корабля набагато слабкіша, ніж у космічного корабля "Лео Олімп", тобто в конструкції платформи є дві відмінності. На відміну від космічного корабля "Луч-Олімп", на цьому кораблі жодних інших змін яскравості не спостерігалось.

На відміну від майже всіх інших розглянутих космічних кораблів, майже на всіх кривих зміни яскравості зонда Луча-Олімпу було виявлено слабку зміну частоти яскравості в 9,6 хвилин. Коли космічний корабель наближався до меридіана місцевого спостерігача 5 серпня 2017 року, жовтий V блимав слабкими дзеркальними спалахами, які також повторювались протягом 9,6 хвилин. Зміни яскравості космічного корабля внаслідок скануючих коливань тіла космічного корабля навколо своєї осі, що збігається з напрямком вектора орбітального руху космічного корабля.

Завдяки виявленим коливанням радіоантени космічного корабля можуть бачити вищі широти в північному та південному напрямках від екватора. Це принцип дії американського стратегічного судна [8].

Коли Промінь Олімпа наближався до місцевого меридіана, ми спостерігали внутрішню поверхню параболічної радіоантени корабля.

Багато сучасних супутникових радіоантен мають золотисту внутрішню поверхню, що нагадує бронзу.

З довготи (центрального меридіан України) яскравість жовтого космічного корабля V вже домінувала над яскравістю інших кольорів (B, R). (рис.1.7).

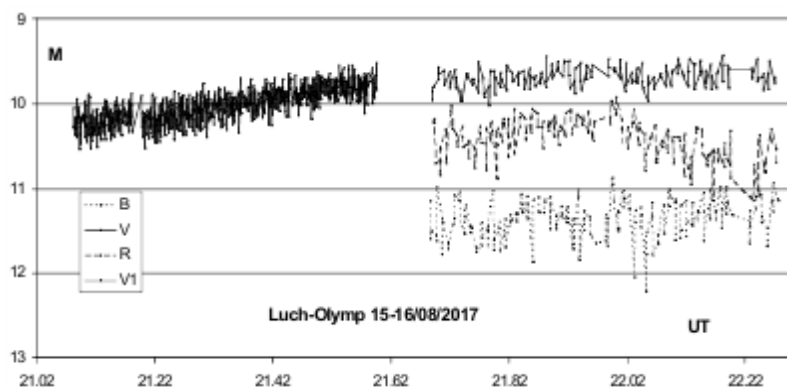


Рис.1.7. Криві блиску КА

У той же час космічний корабель почав неконтрольовано рухатися на захід, спочатку зі значенням 0,08 градуса на добу, а потім на 0,10 градуса на день. Зонд Electro-L №1 спостерігався на орбіті оптичними спостерігачами вітчизняних космічних зондів, поки він не покинув діапазон. Рух космічного корабля зображено графічно на рисунку 1.8.

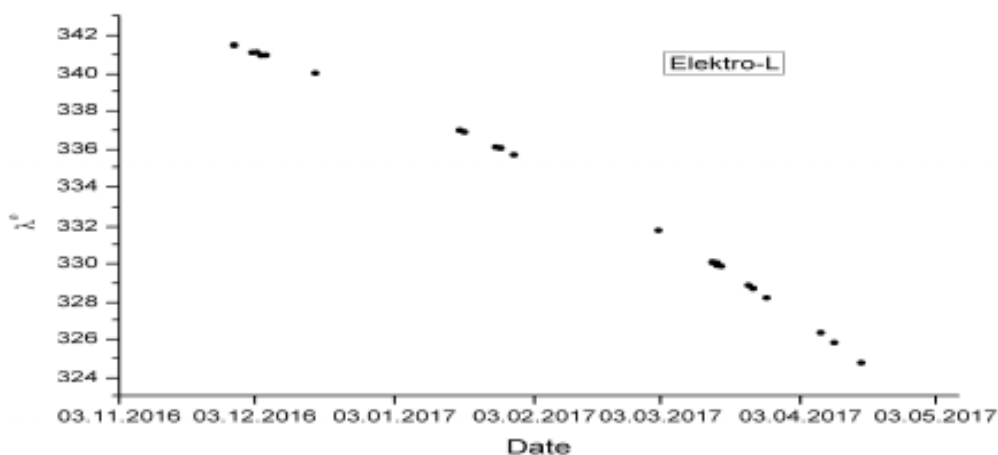


Рис.1.8. Зміна довготи під супутникової точки КА

Було багато спроб зупинити обертання космічного корабля, але він продовжував вільно обертатися і дрейфувати. Результати комплексних спостережень космічного корабля "Електро-Л" "1. Комплексні спостереження за рятувальним космічним кораблем "Electro-L1" проводились лише у фільтрі R. Результати спостережень за 12.06.2016 наведені на рисунку 1.9.

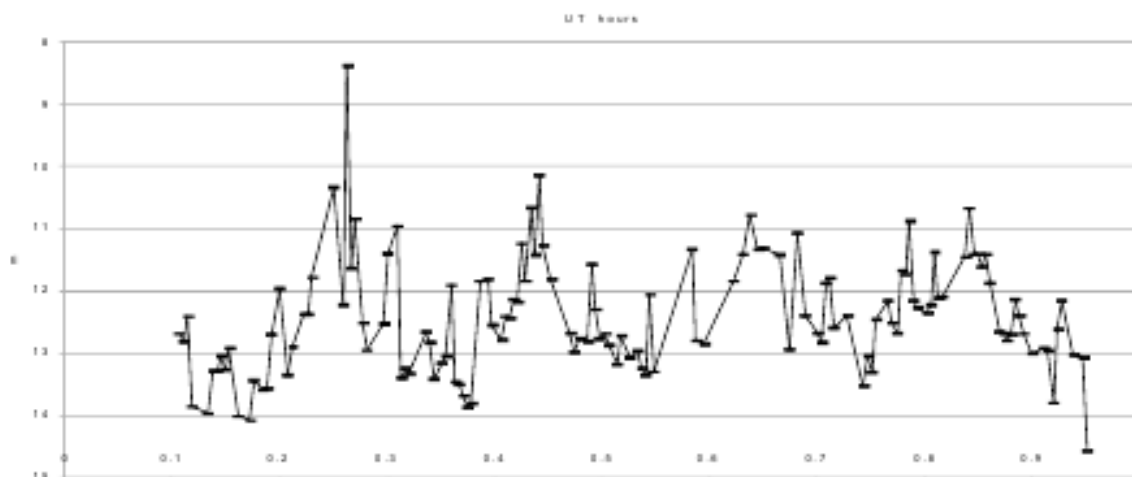


Рис.1.9. Крива блиску КА

Спостереження показали продовження періоду власного обертання зонда на 57 днів. Період обертання збільшився з 11,3 до 17,3 хв

Під час спостереження вісь обертання космічного корабля здійснила прецесійний рух навколо напрямку "зеніт-надір" із періодом 150 хвилин.

Подальші спостереження за космічним кораблем Electro-L1 були припинені через виліт космічного корабля з поля спостереження вітчизняних оптичних приладів. Результати спостережень підтвердили, що під час спостереження зонд Electro-L1 був дестабілізований і неконтрольовано рухався по геостаціонарній орбіті.

1.3. Висновки до розділу 1

У представленому матеріалі представлені можливості вітчизняних засобів оптичного спостереження для спостереження геостаціонарної орбіти, що спостерігається з території України, технічний стан, призначення та склад бортового обладнання.

Зараз закладається основа для національного інформаційного каналу про штучні та природні процеси з іноземними військовими геостаціонарними космічними кораблями подвійного призначення.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1. Математичний опис лазерного локаційного сигналу

Математичний опис лазерного локаційного сигналу вимагає врахування великої кількості різноманітних фізичних явищ, які супроводжують його генерацію, проходження через формує оптичний тракт, поширення в атмосфері, його розсіювання на спостережуваному об'єкті і, нарешті, реєстрацію прийнятого світлового випромінювання. Більшість з цих фізичних явищ має флуктуаційний характер, що призводить до необхідності сформулювати адекватну статистичну модель лазерного локаційного сигналу. Однак, якщо спробувати всі можливі ефекти врахувати в цій моделі, то вона виявляється надзвичайно громіздкою і незручною при проведенні необхідних математичних досліджень як для синтезу оптимальних лазерних локаційних систем, так і для аналізу їх ефективності.

Тому зазвичай розглядають і використовують окремі приватні моделі, які найбільш повно враховують ті чи інші явища і які для найбільш важливих практичних ситуацій виявляються майже адекватними. Такий підхід часто не може бути виправдана тільки подоланням зайвих математичних труднощів. Справа в тому, що на сучасному рівні розвитку лазерної техніки неможливо створити універсальний лазерний локатор, який був би здатний одночасно вирішувати весь комплекс різноманітних завдань. Для вирішення конкретних завдань в конкретній обстановці досить використання відповідної приватної моделі лазерного сигналу.

2.2. Сигнал, що випромінюється лазерним локатором, і його статистичні характеристики в околиці мети спостереження

Лазерний локаційний сигнал, що потрапляє в область, де знаходиться спостережувана мета, в першу чергу, визначається типом того лазера, який

генерує цей сигнал. В даний час існує багато типів лазерів, що розрізняються між собою за видами використовуваного робочого речовини і по процесам «накачування», за допомогою яких досягається інверсна населеність, т. Е. Забезпечується передача енергії в атоми (іони або молекули) даного робочого тіла з тим, щоб перевести їх електрони на більш високі енергетичні рівні. Більш того, навіть для одного і того ж типу лазера сигнал, що генерується конкретним зразком, має свої специфічні особливості. У зв'язку з цим при описі лазерного локаційного сигналу зазвичай використовуються такі характеристики, які дозволяють незалежно від конкретного зразка врахувати ці специфічні особливості.

У число характеристик, якими описується лазерний локаційний сигнал, включаються і ті, якими зазвичай характеризують будь-локаційний сигнал і які пов'язані з його потужністю, видом використовуваної модуляції і режимом роботи генератора (безперервний, імпульсний і т. Д.). До особливих характеристиках, властивим в основному випромінюванню лазера, слід віднести просторову і тимчасову когерентність світлового сигналу. Дані характеристики є надзвичайно важливими для лазерної локації. Однак перш ніж перейти до більш детального їх обговорення і розгляду можливих математичних описів лазерного випромінювання зробимо одне загальне зауваження.

Добре відомо, що чим більше розмір ізлучаючої області, тим більшу спрямованість має розповсюджується від неї електромагнітне випромінювання. Розміри світлового пучка на виході лазера є порівняно невеликі. У зв'язку з цим використовуються спеціальні оптичні системи (телескопічного типу), основна роль яких зводиться до масштабного збільшення розмірів вихідного пучка. У тих випадках, які не будуть особливо обумовлені, ми будемо вважати, що подібна оптична система не порушує загальної структури лазерного випромінювання. Це дозволяє, формулюючи модель лазерного випромінювання, відносити її відразу до вихідній апертурі використовуваної оптичної системи.

Якщо ідеалізувати добре відоме твердження про те, що випромінювання лазера має високу (ідеальною) монохроматичністю і високою спрямованістю, обумовленої повної сінфазности генеруються електромагнітних хвиль, то електричне поле на розкриті вихідній апертурі Q_a можна записати у вигляді

$$\epsilon_a(\vec{\rho}, t) = \text{Re} \sqrt{2P_a} \tilde{\epsilon}_a e^{-i\omega_0 t}, \quad (2.1)$$

де $\vec{\rho}$ - радіус-вектор точки, що належить Ω_a ; $\tilde{\epsilon}_a$ - комплексна амплітуда, рівна нулю, коли $\vec{\rho}$ не належить області Ω_a ; коли $\vec{\rho}$ належить Ω_a , то $\tilde{\epsilon}_a$ має деяке постійне значення по модулю, що дорівнює одиниці; аргумент $\tilde{\epsilon}_a$ - описує фазу випромінюючого коливання; ω_0 - кругова частота випромінювання, пов'язана з довжиною хвилі λ і швидкістю світла з співвідношенням $\omega_0 = 2\pi c/\lambda$;

P_a - інтенсивність світлового випромінювання, обумовлена рівністю

$$P_a = \frac{1}{T} \frac{1}{S_a} \int_{\Omega_a} \int_0^T \epsilon_a^2(\vec{\rho}, t) d\vec{\rho} dt, \quad (2.2)$$

де S_a - площа області Ω_a .

Поширюючись у вільному просторі, електричне поле на деякому досить великій відстані R від локатора в площині \vec{r} , колінеарний $\vec{\rho}$, набуває вигляду [2.3]

$$E(\vec{r}, t) = \text{Re} \sqrt{2P_a} \tilde{E}(\vec{r}) \exp(-i\omega_0 t), \quad (2.3)$$

$$\tilde{E}(\vec{r}) = \int_{\Omega_a} \tilde{\epsilon}_a H(\vec{\rho} - \vec{r}) d\vec{\rho} \quad (2.4)$$

Функція передачі вільного простору $H(-)$ для зон Френеля і Фраунгофера [2.3] визначається відповідно рівностями

$$H(\vec{\rho} - \vec{r}) = \frac{1}{\lambda R} \exp\left\{i \frac{k}{2R} |\vec{r} - \vec{\rho}|^2\right\} \quad (2.5)$$

$$H(\vec{\rho} - \vec{r}) \rightarrow H(\vec{\rho}, \vec{r}) = \frac{1}{\lambda R} \exp\left\{i \frac{k}{2R} |\vec{r}|^2 - i \frac{k}{R} \vec{r} \cdot \vec{\rho}\right\} \quad (2.6)$$

де $k = 2\pi/\lambda = \omega_0/c$.

Зауважимо, що в (2.3), (2.5) і (2.6) опущені множники, модулі яких дорівнюють одиниці і які залежать тільки від значення R і несуттєві для подальших досліджень.

Модель (2.1) відповідає випадку, коли розподіл інтенсивності по вихідній апертурі Ω_a постійно. Звичайно, це твердження не відноситься до розподілу світлової інтенсивності по площині \vec{r} , яке визначається виразом

$$J(\vec{r}) = \frac{1}{T} \int_0^T E^2(\vec{r}, t) dt = P_n |\tilde{E}(\vec{r})|^2 = P_n \left| \int_{\Omega_a} H(\vec{\rho} - \vec{r}) d\vec{\rho} \right|^2 \quad (2.7)$$

що, наприклад, для зони Фраунгофера дає

$$J(\vec{r}) = P_n \left| \frac{1}{\lambda R} \int_{\Omega_a} \exp\left(-i \frac{k}{R} \vec{r} \vec{\rho}\right) d\vec{\rho} \right|^2 \quad (2.8)$$

Якщо розподіл інтенсивності $J(\vec{r})$ апроксимувати у вигляді $J(\vec{r}) = J(0)$, коли \vec{r} належить колу з радіусом Δr_0 , а поза цим колом $J(\vec{r}) = 0$, то Δr_0 , природно визначити наступним співвідношенням:

$$\begin{aligned} \Delta r_0^2 &= \frac{1}{\pi J(0)} \int_{-\infty}^{+\infty} J(\vec{r}) d\vec{r} = \frac{1}{\pi S_a^2} \int_{\Omega_a} \int_{\Omega_a} \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left\{-i \frac{k}{R} \vec{r} (\vec{\rho}_1 - \vec{\rho}_2)\right\} \times \\ &\times d\vec{\rho}_1 d\vec{\rho}_2 d\vec{r} = \frac{(\lambda R)^2}{\pi S_a^2} \int_{\Omega_a} \int_{\Omega_a} \delta(\vec{\rho}_1 - \vec{\rho}_2) d\vec{\rho}_1 d\vec{\rho}_2 = \frac{(\lambda R)^2}{\pi S_a} \end{aligned} \quad (2.9)$$

Якщо Ω_a - коло з діаметром a_a , то із (2.9) отримуємо

$$\Delta r_0 = \frac{2}{\pi} \frac{\lambda R}{a_a} \quad (2.10)$$

З огляду на, що основні значення $J(\vec{r})$ зосереджені в околиці $\vec{r} = 0$, з (2.10) можна зробити висновок, що основна випромінювана лазером енергія потрапляє в область з розміром $2\Delta r_0 \approx \approx \frac{4}{\pi} \frac{\lambda R}{a_a}$, що відповідає куту розбіжності порядку λ/a_a . Цей кут збігається з мінімальним кутом, (межа якого встановлюється дифракція електромагнітних хвиль на області Ω_a).

Спрощена модель випромінювання (2.1) найбільшою мірою відповідає так званому одномодовому режиму роботи лазера. Такому, при якому генерується одне гармонійне коливання (одна мода). Подібний режим забезпечується спеціальних технічними рішеннями, які часто призводять до значного зниження вихідної потужності. Однак навіть в цьому випадку модель (2.1) хоча і є хорошою, але все ж відповідає певній ідеалізації реального сигналу. У лазері завжди присутні природні часові та просторові флуктуації комплексної амплітуди ea що, звичайно, не враховується моделлю (2.1). Як показали експериментальні дослідження, в надпороговому режимі роботи лазера природні флуктуації лазерних пучків в просторі і в часі є слабкими. Саме ця обставина і виправдовує використання опису (2.1) для подібних випадків.

Потужні лазери за вказаною вище причини зазвичай випромінюють велике число статистично незалежних гармонійних коливань. Такий багатомодовий характер випромінювання пов'язаний з багатомодовістю спектра власних коливань оптичного резонатора. У загальному випадку фази окремих мод випадкові, так що випадковим виявляється і все сумарне випромінювання. Природно, що при цьому порушується синфазність електромагнітного випромінювання з торця лазера або іншими словами руйнується як просторова, так і тимчасова його когерентність.

При великому числі мод в силу центральної граничної теореми лазерне випромінювання нормалізується. З досить хорошою точністю описується нормальним законом розподілу. В [2] показується, що це твердження справедливо незалежно від того, чи мають всі випромнені моди одну частоту або їх частоти виявляються різними. Так як будь-яка нормальна закон однозначно описується двома першими статистичними моментами, то, отже, особливо важливу роль для характеристики генерується лазером випромінювання набуває кореляційна функція.

З метою більш детального обговорення виникаючих при цьому питань розглянемо спочатку випадок, коли лазерне випромінювання як і раніше володіє

високою монохроматичністю, а істотного руйнування піддається лише його просторова структура.

Для обліку цього ефекту в вираженні (2.1) замість постійної величини $\tilde{\epsilon}_a$ повинна бути введена функція $\tilde{\epsilon}_a(\vec{\rho})$. Остання, як і $\tilde{\epsilon}_a$, поза Ω_a дорівнює нулю, але всередині Ω_a приймає випадкові значення, які підпорядковуються нормальному закону. Таким чином, тепер замість (2.1) маємо

$$\epsilon_a(\vec{\rho}, t) = \text{Re} \sqrt{2P_a} \tilde{\epsilon}_a(\vec{\rho}) e^{-i\omega_0 t} \quad (2.11)$$

де P_a - вже така середня інтенсивність, що

$$P_a = \frac{1}{T} \frac{1}{S_a} \int_0^T \int_{\Omega_a} \langle \epsilon_a^2(\vec{\rho}, t) \rangle d\vec{\rho} dt \quad (2.12)$$

Звідки, зокрема, випливає, що

$$\frac{1}{S_a} \int_{\Omega_a} \langle |\tilde{\epsilon}_a(\vec{\rho})|^2 \rangle d\vec{\rho} = 1 \quad (2.13)$$

Аргумент комплексної амплітуди $\tilde{\epsilon}_a(\vec{\rho})$ описує з урахуванням відповідного масштабного множника випадковий розподіл фаз, Нереалізована в даному акті випромінювання.

При досить загальних умовах статистичні моменти функції $\tilde{\epsilon}_a(\vec{\rho})$ рівні:

$$\begin{aligned} \langle \tilde{\epsilon}_a(\vec{\rho}) \rangle &= 0; \\ \langle \tilde{\epsilon}_a(\vec{\rho}_1) \tilde{\epsilon}_a(\vec{\rho}_2) \rangle &= \langle \tilde{\epsilon}_a^*(\vec{\rho}_1) \tilde{\epsilon}_a^*(\vec{\rho}_2) \rangle = 0; \\ \langle \tilde{\epsilon}_a(\vec{\rho}_1) \tilde{\epsilon}_a^*(\vec{\rho}_2) \rangle &= \langle \tilde{\epsilon}_a^*(\vec{\rho}_1) \tilde{\epsilon}_a(\vec{\rho}_2) \rangle = \tilde{K}_a(\vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2). \end{aligned} \quad (2.14)$$

Вид кореляційної функції $K_a(\vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2)$ визначається конкретним типом лазера і багато в чому залежить від оптичного резонатора і форми дзеркал. Так, в деяких випадках багатомодове лазерне випромінювання має статистичної однорідністю по простору і тоді $K_a(\vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2) = K_a(\vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2)$, в інших проявляється значна статистична неоднорідність. Часто така неоднорідність проявляється через залежність усередненої за часом випромінюваної інтенсивності від координати $\vec{\rho}$. Тоді при

невеликому радіусі кореляції функція $K_a(\vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2)$ записується у вигляді

$$\tilde{K}_a(\vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2) = f_a(\vec{\rho}_1) \tilde{K}_a(\vec{\rho}_1 - \vec{\rho}_2) \quad (2.15)$$

де функція $f_a(\cdot)$ в порівнянні з K є істотно більш повільною.

Конкретні вираження функції кореляції $K_a(\vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2)$ для сферичного і плоского резонаторів наводяться в [2].

Однак, в кінцевому рахунку важливий не сам вид функції $K_a(\vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2)$ а відповідний їй радіус кореляції $\rho_{л.к}$. Радіус тієї області, де зосереджені основні значення функції $K_a(\vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2)$. Для багатомодових лазерних пучків, порушуваних в плоскому резонаторі з прямокутними дзеркалами, радіус кореляції прямо пропорційний лінійному розміру дзеркала резонатора $2a_l$ і обернено пропорційний числу порушуваних поперечних мод N_1 так що (2)

$$\rho_{л.к} \approx a_l / N_1 \quad (2.16)$$

Зауважимо, що формула (2.16) є наближеною. Зокрема, при її висновку не були враховані можливі неоднорідності в активному середовищі лазера і нерівномірність розподілу інтенсивності по модам.

Для сферичного резонатора формула для $\rho_{л.к}$ істотно відрізняється від (2.16). З'являється залежність величини $\rho_{л.к}$ від координати $\vec{\rho}$, яка призводить до того, що при зміщенні до краю пучка $\rho_{л.к}$ збільшується. Змінюється також і характер залежності від числа N_1 , в останньому випадку величина $\rho_{л.к}$ обернено пропорційна N_1 , а $\sqrt{N_1}$

Використання оптичних систем, що здійснюють перетворення випромінювання з виходу лазера в той сигнал, який випромінюється лазерним локатором, призводить до того, що радіус кореляції останнього $\rho_{a.к}$ пов'язаний з $\rho_{л.к}$ співвідношенням $\rho_{a.к} = \alpha \rho_{л.к}$, де α - відповідний масштабний коефіцієнт. Так як аналогічний зв'язок справедлива і для величин α_a і α_l , то, отже, співвідношення між розмірами α_a і $\alpha_{a.к}$ виявляються такими ж, як і між α_l і $\rho_{л.к}$.

Подивимося, до чого призводять просторові флуктуації.

Поле на відстані R від локатора визначається колишніми формулами (2.3) ... (2.6) з тією лише різницею, що тепер в (2.4) входить не постійна величина $\tilde{\varepsilon}_a$, а випадкова функція $\tilde{\varepsilon}_a(\vec{\rho})$, так що

$$\tilde{E}(\vec{r}) = \int_{\mathcal{Q}_a} \tilde{\varepsilon}_a(\vec{\rho}) H(\vec{\rho} - \vec{r}) d\vec{\rho} \quad (2.17)$$

В результаті і поле і його інтенсивність на відстані R також будуть випадкові. При цьому поле флуктує за нормальним законом, а інтенсивність - за експоненціальним. Середнє значення розподілу інтенсивності по площині \vec{r} , що отримується з урахуванням співвідношень (2.14), рівне

$$\begin{aligned} \langle J(\vec{r}) \rangle &= P_\pi \langle |\tilde{E}(\vec{r})|^2 \rangle = \\ &= P_\pi \int_{\mathcal{Q}_a} \int_{\mathcal{Q}_a} \tilde{K}_a(\vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2) H(\vec{\rho}_1 - \vec{r}) H^*(\vec{\rho}_2 - \vec{r}) d\vec{\rho}_1 d\vec{\rho}_2 \end{aligned} \quad (2.18)$$

Оцінимо радіус кола Δr_π , в якому зосереджені основні значення $\langle J(\vec{r}) \rangle$. Для цього попередньо обчислимо два інтеграла. Якщо пучок є просторово однорідним. $\tilde{K}_a(\vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2) = K(\vec{\rho}_1 - \vec{\rho}_2)$, тоді

$$\begin{aligned} &\int_{-\infty}^{+\infty} \langle J(\vec{r}) \rangle d\vec{r} = \\ &= P_\pi \int_{\mathcal{Q}_a} \int_{\mathcal{Q}_a} \tilde{K}_a(\vec{\rho}_1 - \vec{\rho}_2) e^{i \frac{k}{R} (|\vec{\rho}_1|^2 - |\vec{\rho}_2|^2)} \frac{1}{(\lambda R)^2} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-i \frac{k}{R} (\vec{\rho}_1 - \vec{\rho}_2) \cdot \vec{r}} d\vec{r} d\vec{\rho}_1 d\vec{\rho}_2 = \\ &= P_\pi \int_{\mathcal{Q}_a} \int_{\mathcal{Q}_a} \tilde{K}_a(\vec{\rho}_1 - \vec{\rho}_2) e^{i \frac{k}{R} (|\vec{\rho}_1|^2 - |\vec{\rho}_2|^2)} \delta(\vec{\rho}_1 - \vec{\rho}_2) d\vec{\rho}_1 d\vec{\rho}_2 = P_\pi \tilde{K}_a(0) S_a, \\ \langle J(0) \rangle &= \frac{P_\pi}{(\lambda R)^2} \int_{\mathcal{Q}_a} \int_{\mathcal{Q}_a} \tilde{K}_a(\vec{\rho}_1 - \vec{\rho}_2) e^{i \frac{k}{R} (|\vec{\rho}_1|^2 - |\vec{\rho}_2|^2)} d\vec{\rho}_1 d\vec{\rho}_2 \approx \frac{P_\pi}{(\lambda R)^2} S_a \times \\ &\quad \times \int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{K}_a(\vec{\rho}) d\vec{\rho}, \end{aligned} \quad (2.19)$$

де при переході до останнього наближеній рівності було зроблено припущення про ізотропності випромінювання і про те, що радіус кореляції $\rho_{a,k}$ настільки малий, що крім $a_a \ll \rho_{a,k}$ виконується нерівність $\rho_{a,k}^2 \ll \lambda R$. Останню нерівність ми будемо часто використовувати при оцінці подібних інтегралів. Його фізичний зміст полягає в тому, що область, освітлювана на відстані R , по відношенню до розміру кореляційного плями знаходиться в зоні Фраунгофера.

З урахуванням рівності (2.19) і за аналогією з (2.9) маємо

$$\Delta r_n^2 = \frac{1}{\pi \langle J(0) \rangle} \int_{-\infty}^{+\infty} \langle J(\vec{r}) \rangle d\vec{r} \approx \frac{(\lambda R)^2}{\pi} \frac{\tilde{K}_a(0)}{\int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{K}_a(\vec{\rho}) d\vec{\rho}} \quad (2.20)$$

За визначенням радіус кореляції $\rho_{a,k}$ ізотропного випромінювання дорівнює

$$\rho_{a,k}^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{K}_a(\vec{\rho}) d\vec{\rho} / \pi \tilde{K}_a(0) \quad (2.21)$$

і тому з (2.20) отримуємо

$$\Delta r_n = \frac{2}{\pi} \frac{\lambda R}{2\rho_{a,k}} \quad (2.22)$$

Порівнюючи (2.22) і (2.10), бачимо, що вся різниця між цими формулами проявляється тільки в тому, що якщо в (2.10) в знаменнику стоїть розмір вихідного пучка a_d , то в (2.22) його місце займає подвоєний радіус кореляції $2\rho_{a,k}$ просторових флуктуацій. Так як значення цих величин суттєво різняться ($a_d \gg 2\rho_{a,k}$), то різко розрізняються і значення величин Δr_0 і Δr_n . Радіус висвітлюється на відстані R області в разі малого радіусу просторових кореляцій $\rho_{a,k}$ виявляється набагато більше того ж радіуса при просторово когерентному випромінюванні.

Таким чином, порушення просторової когерентності випромінювання лазера призводить до збільшення кута розходження лазерного пучка, і при $2\rho_{a,k} \gg a_d$ цей кут визначається вже не дифракційною межею λ/a_d , а ставленням $\lambda/2\rho_{a,k}$. Останнє можна трактувати як межа, що встановлюється своєрідною дифракційною розхідністю, що відповідає одному кореляційному плямі.

Звичайно використання формують оптичних систем лазерного локатора і в цьому випадку покращує розхідність, бо зі збільшенням поперечних розмірів пучка одночасно відбувається збільшення і радіуса кореляції просторових флуктуацій. В результаті відносний ефект виявляється такою ж, як і для просторово когерентного випромінювання, але абсолютна його значення зменшується у стільки разів, у скільки $\rho_{a,k}$ менше a_d . Природно, що при цьому знижуються і вимоги на якість формують вихідний випромінювання оптичних

систем.

Збільшення розбіжність лазерного пучка це тільки один із проявів його просторової некогерентності, інше - пов'язане з порушенням регулярної плавної структури випромінювання по площині, що перетинає промінь, який поширюється. Для того щоб з'ясувати статистичні особливості цієї структури, необхідно знайти середні значення і кореляційні функції комплексних амплітуд $E(\vec{r})$ і інтенсивності $J(\vec{r})$. Беручи до уваги (2.4) і (2.14), отримуємо

$$\begin{aligned} \langle \tilde{E}(\vec{r}) \rangle &= 0, \quad \langle \tilde{E}(\vec{r}_1) E(\vec{r}_2) \rangle = 0; \\ \tilde{K}_E(\vec{r}_1, \vec{r}_2) &= \langle \tilde{E}(\vec{r}_1) \tilde{E}^*(\vec{r}_2) \rangle = \\ &= \int_{\vec{\rho}_a} \int_{\vec{\rho}_a} K_a(\vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2) H(\vec{\rho}_1 - \vec{r}_1) H^*(\vec{\rho}_2 - \vec{r}_2) d\vec{\rho}_1 d\vec{\rho}_2; \\ K_J(\vec{r}_1, \vec{r}_2) &= \langle J(\vec{r}_1) J(\vec{r}_2) \rangle - \langle J(\vec{r}_1) \rangle \langle J(\vec{r}_2) \rangle = \\ &= P_n^2 \langle |E(\vec{r}_1)|^2 |E(\vec{r}_2)|^2 \rangle - \langle J(\vec{r}_1) \rangle \langle J(\vec{r}_2) \rangle = \end{aligned} \quad (2.23)$$

$$\begin{aligned} &= P_n^2 \langle E(\vec{r}_1) E^*(\vec{r}_1) E(\vec{r}_2) E^*(\vec{r}_2) \rangle - \langle J(\vec{r}_1) \rangle \langle J(\vec{r}_2) \rangle = \\ &= P_n^2 \langle E(\vec{r}_1) E^*(\vec{r}_1) \rangle \langle E(\vec{r}_2) E^*(\vec{r}_2) \rangle + P_n^2 E(\vec{r}_1) E(\vec{r}_2) \langle E^*(\vec{r}_1) E^*(\vec{r}_2) \rangle + \\ &\quad + P_n^2 \langle E(\vec{r}_1) E^*(\vec{r}_2) \rangle \langle E^*(\vec{r}_1) E(\vec{r}_2) \rangle - \langle J(\vec{r}_1) \rangle \langle J(\vec{r}_2) \rangle = \\ &= |P_n \tilde{K}_E(\vec{r}_1, \vec{r}_2)|^2 = \left| P_n \int_{\vec{\rho}_a} \int_{\vec{\rho}_a} K_a(\vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2) H(\vec{\rho}_1 - \vec{r}_1) H^*(\vec{\rho}_2 - \vec{r}_2) d\vec{\rho}_1 d\vec{\rho}_2 \right|^2, \end{aligned} \quad (2.24)$$

де для отримання остаточного вираження було використано відоме правило з математичної статистики про подання будь-якого парного моменту нормальних випадкових величин з нульовими середніми значеннями через суму моментів [37], а також рівність (2.14).

Порівнюючи (2.24) з (2.18), бачимо, що

$$K_J(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \langle J(\vec{r}) \rangle^2 \quad (2.25)$$

Звідки випливає, що дисперсія флуктуацій інтенсивності $\sigma_{J^2}(\vec{r})$ в будь-якій

точці \vec{r} дорівнює квадрату середнього значення,

$$\sigma_J(\vec{r}) = \langle J(\vec{r}) \rangle \quad (2.26)$$

З метою спрощення отриманих виразів знову скористаємося дециєю радіуса кореляції $\vec{\rho}_{a,k}$ і припустимо, що випромінювання ізотропно, так що $K_a(\vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2) = K_a(|\vec{\rho}_1 - \vec{\rho}_2|)$. Тоді аналогічно (1.18) отримаємо

$$K_J(\vec{r}_1, \vec{r}_2) \approx \left| \pi \rho_{a,k}^2 P_\perp \frac{1}{(\lambda R)^2} \int_{\Omega_a} e^{-i \frac{k}{R} \vec{\rho}(\vec{r}_1 - \vec{r}_2)} d\rho \right|^2 \quad (2.27)$$

Обчислення радіуса кореляції r_k , відповідного функції (2.27) і визначається рівністю (2.21), супроводжується операціями, які повністю збігаються з (2.9), і тому не дивно, що результат виявляється тотожний (2.10), так що

$$r_k = \Delta r_0 = \frac{2\lambda R}{\pi a_a} \quad (2.28)$$

З огляду, що площа всієї освітлювальної в середньому області є $\pi \Delta r_\Pi^2$, знаходимо, що число різних кореляційних осередків, що містяться в цій області, так само

$$M_0 = \frac{\pi \Delta r_\Pi^2}{\pi r_k^2} = \frac{a_a^2}{4 \rho_{a,k}^2} \quad (2.29)$$

Обговоримо фізичний зміст отриманих результатів. Співвідношення (2.18) показує, за яким законом змінюється середня світлова інтенсивність по площині, що знаходиться в далекій зоні, коли вона висвітлюється лазерним випромінюванням з порушеною просторовою когерентністю. Ця інтенсивність є результат складання всіх можливих реалізацій інтенсивності, що виникають при різних випадкових співвідношеннях між фазами всіх генеруючих мод. Про те, як кожна конкретна реалізація світлової інтенсивності відрізняється від середньої інтенсивності, вказують результати аналізу співвідношень (2.26) і (2.27).

У різних кореляційних осередках, віддалених один від одного на відстань,

більшу $2g_k$, статистичний зв'язок між значеннями інтенсивності розпадається, так що ці значення можуть відрізнитися один від одного на величину порядку $\sigma_J(\vec{r})$. В силу рівності (2.26) ці коливання виявляються надзвичайно суттєвими. Отже, якщо освітлювальна область містить M^0 кореляційних осередків, то розподіл інтенсивності в межах цієї області виявляється що складається з приблизно стількох же незалежних один від одного значень. А так як ці значення сильно флюктують, то в результаті освітлена область являє собою сукупність окремих плям, випадково розташованих і котрі мають випадкову форму. В середньому за інтенсивністю ці плями промодульованих функцією (2.18) і характеризуються середнім лінійним розміром $2g_k$. Цікаво, що цей розмір збігається з розмірами того плями, яке відповідає дифракційної розсхідності ідеально плоскої хвилі з області Ω_a .

Зауважимо, що при спрощення формул (2.18) і (2.24) було розглянуто випадок статистично однорідного просторового розподілу. Зазвичай має місце відхилення від однорідності зводиться до появи плавної залежності від $\vec{\rho}$ функції $f_a(\vec{\rho})$ (2.15) і до незначного збільшення радіусу кореляції $r_{л.к}$ при зміщенні до країв генеруючого пучка.

Можна показати, що облік подібних відхилень призводить до незначних уточнень рівності (2.22) і (2.28), так що як оціночні ці співвідношення виявляються цілком придатними і для більш загальних ситуацій.

2.3 Висновок до розділу 2

Підсумовуючи все викладене раніше, слід звернути увагу на те, що в залежності від особливостей генерованого лазерного випромінювання воно може описуватися різними математичними виразами (2.1), (2.11), (2.30), (2.34). Вхідні в ці вирази величини і функції можуть бути як детермінованими (з точністю до окремих випадкових параметрів, наприклад, початкової фази електромагнітних коливань), так і (що набагато частіше) можуть приймати випадкові значення.

РОЗДІЛ 3

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1. Підвищення виявної здатності лазерної локаційної системи управління космічного простору беручи до уваги врахування характеристик турбулентної атмосфери при формуванні оптичних сигналів

Ослаблення енергії за рахунок поглинання атмосферних газів та молекулярного розсіювання визначає коефіцієнт ослаблення залежно від прозорості атмосфери. Цей тип втрат враховується лінійно при односторонньому проходженні випромінювання через атмосферний канал. У різних метеорологічних умовах граничні значення коефіцієнта демпфування становлять від 0,14 до 0,8. Заломлення променя призводить до оптичного подовження шляху і відбитого випромінювання, що може бути враховано в корекційній моделі на основі метеорологічних даних. Явище заломлення мало впливає на інтенсивність випромінювання на об'єкті і не впливає на характеристики виявлення системи розташування.

Вплив випадкових неоднорідностей на показник заломлення турбулентної атмосфери, що призводять до виникнення фазових спотворень у фронті світлової хвилі. Був проведений лабораторний експеримент з дифракції лазерного променя на фазовому екрані. Показано, що фазові спотворення, викликані відхиленням і розширенням лазерного променя, можуть зменшити інтенсивність випромінювання на об'єкті набагато більше амплітуди внаслідок ослаблення енергії. На рис. 3.1 схематично показано кривизну фронту оптичної хвилі після проходження через фазовий екран. Переплетення зони фокусу та дефокусу визначає характерну структуру плям на зображенні лазерного випромінювання в далекій зоні (рис. 3.1).

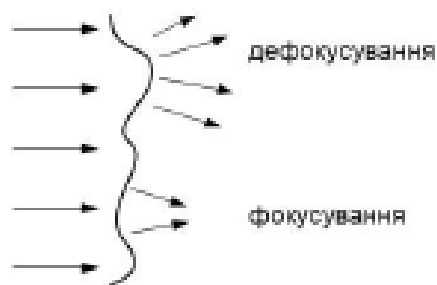


Рис.3 .1. Проходження променя через фазовий екран

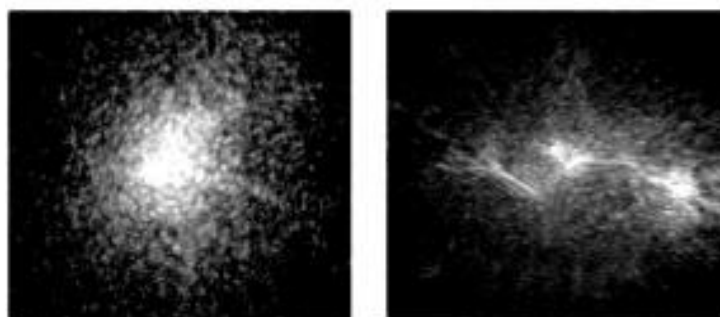


Рис.3.2. Зображення точки лазерним променем, що передається фазовим екраном

Під час експерименту з фазовим екраном на зображенні лазерного плями, реалізованому в зоні Фраунгофера, є деякі ділянки, де зміщена максимальна інтенсивність центру, або деякі ділянки, де інтенсивність локалізована (рис. 3.2, b), залежно від спотворень, коли виникає пучок. Експерименти показують, що за умови, що середовище спотворення та передавач щільно зв'язані (це є характеристикою системи позиціонування землі), коливання фази призведе до відхилення пучка від прямого напрямку. Отже, збільшення енергії імпульсу передавача не може чітко гарантувати, що лазерне випромінювання поширюється через турбулентність до об'єкта, де вирівнюються сигнали позиціонування та відбиття.

Під час лабораторних експериментів фаза рухається по екрану через промінь, так що періодичний вигляд зображення лазерної плями можна спостерігати без явних спотворень та відхилень (рис. 3.2, a). Це дозволяє

припустити, що в турбулентному середовищі з найменшою фазовою кривизною існує момент проходження імпульсу зонда.

Умови, що впливають на поведінку спостереження за місцезнаходженням, також включають параметри об'єкта розташування як другого джерела випромінювання.

Аналіз взаємодії лазерного випромінювання з поверхнею позиціонуючого об'єкта має великий вплив на відбиття СО в приймальній точці на розподіл інтенсивності випромінювання. Набір параметрів об'єкта: ефективна площа розсіювання (ERP), індикатор розсіювання, кількість кутових дзеркал та їх виробничі характеристики суттєво вплинуть на енергію вхідного оптичного сигналу в приймальну оптичну систему.

Коли попередня ймовірність сигналу невідома, враховуйте особливості виявлення відбитого світлового сигналу на тлі перешкод. У цьому випадку для максимізації значення умовної ймовірності D правильного виявлення для даної помилкової тривоги F . використовується тест Неймана-Пірсона. Коли фотодетектор реагує лише на енергію, відображення відбитого сигналу знаходиться в режимі прямого виявлення. Інформація про фазу оптичного середовища не витягується. Коливання інтенсивності відбитого випромінювання та особливості квантової реєстрації призводять до випадкового розподілу сигналів.

Умовну ймовірність правильного виявлення визначали, використовуючи модель випадкового сигналу за розподілом Пуассона.

$$F = \sum_{n=n_0}^{\infty} \frac{\bar{n}_o^n}{n!} e^{-\bar{n}_o} \quad (3.1)$$

$$D = \sum_{n=n_0}^{\infty} \frac{(\bar{n}_c + \bar{n}_s)^n}{n!} e^{-(\bar{n}_c + \bar{n}_s)} \quad (3.2)$$

Розрахунок умовної ймовірності правильного виявлення слабких світлових сигналів показує, що коли середнє число світлових перешкод $pn < 10$, коли є десятки сигнальних фотоелектронів ps , може бути досягнуто

максимальне значення умовної ймовірності правильного виявлення. Фільтрація вхідного сигналу з коефіцієнтом CF 10-2 і подальше посилення фотоумножувача з CFE = 104 призводять до значного зменшення відношення сигнал / шум:

$$\varphi_{\eta} = \frac{\bar{n}_s}{\sqrt{\bar{n}_s + \bar{n}_b}} \frac{I}{\sqrt{K_{\phi} K_{\text{ФЕЛТ}}}} \quad (3.3)$$

Однією з особливостей виявлення слабкого світлового випромінювання є залежність абсолютного значення сигнальної складової та значення шуму.

Квантово-механічні властивості фотоелектричного виявлення унеможливають виявлення слабких сигналів з найбільшою ймовірністю навіть за відсутності перешкод. Отже, видимість LLS може бути збільшена за рахунок збільшення кількості сигнальних фотонів, зареєстрованих приймальною системою. Це вимагає детального вивчення взаємодії лазерного випромінювання з турбулентною атмосферою, що є основною причиною зменшення інтенсивності поверхневого випромінювання КО. На основі аналізу та врахування можливості була вдосконалена здатність виявляти наземний LLS та сформульовано основні цілі дослідження.

У другому розділі розроблення математичної моделі процесів формування, реєстрації та поширення когерентних оптичних сигналів в турбулентних атмосферах.

Використовуючи ідеальну математичну модель процесу передачі оптичного випромінювання, можна побачити, що розподіл інтенсивності лазерного випромінювання в далекій області визначається дифракційною різницею випромінювача та геометричною формою оптичної системи. Зона Фраунгофера характеризується незалежністю відносного розподілу амплітуди та фази на певній відстані. Просторовий розподіл поля в дифракційній площині визначається розподілом поля в площині передавача. Результати показують, що воно суттєво впливає на інтенсивність випромінювання в далекій зоні просторового радіуса зони, пов'язаної з ізотропним випромінюванням. З метою

зменшення різниці випромінювання оптична система передавача збільшує лазерний промінь, оскільки ефективний розмір дифракційної картини обернено пропорційний розміру отвору випромінювання. Максимальна інтенсивність центру диска Ейрі має кутовий радіус, в межах якого 85% всієї світлової енергії зосереджується в потоці. Порушення просторової когерентності лазерного випромінювання призведе до збільшення кута розбіжності лазерного променя.

Розподіл інтенсивності системи в зоні випромінюючої оптичної системи залежить не тільки від оптичної системи передавача, але й від впливу навколишньої атмосфери.

Оскільки фазові спотворення мають найбільший вплив на розподіл інтенсивності в далекій області, введена модель поширення оптичного випромінювання, тобто турбулентна атмосфера використовується як математичний вираз фазового екрану. Описано кореляційні характеристики атмосферного показника заломлення при відстані D ρ_0 Колмогорова-Обухова. Імітація фазового екранування заснована на використанні структурної функції фазових коливань:

$$D_{\varphi}(\Delta r) = 6,88(\Delta r / \rho_0)^{5/3} \quad (3.4)$$

де ρ_0 – Параметр Фріди, що характеризує спотворення оптичного випромінювання, що вводиться турбулентною атмосферою. В якості просторової характеристики шкали турбулентності використовується параметр ρ_0 , який залежить від довжини хвилі λ випромінювання, відстані поширення R траси із zenітним кутом θ , положення h оптичної системи та структурної константи C_n^2 показника заломлення:

$$\rho_0 = \left(\frac{0,06 \lambda^2}{3 \sec \theta C_n^2 \left(1 - \sqrt[3]{h/R}\right) h} \right)^{3/5} \quad (3.5)$$

Параметр Фріди - це просторова шкала неоднорідності атмосфери, яка обмежує потенціал оптичної системи. Фактична різниця детектуючого випромінювання в турбулентній атмосфері пропорційна λ / ρ_0 , що на порядок

більше дифракції $2\lambda / D$. Отже, зміни дифракційної картини, спричинені турбулентною атмосферою, суттєво впливають на розподіл відлуння інтенсивності випромінювання в площині.

Статистичні характеристики інтенсивності лазерного випромінювання в площині об'єкта будуть визначатися характеристиками турбулентної атмосфери. Імпульсний метод лазерного позиціонування має тривалість імпульсу детектування близько 10-10 с. Його унікальна особливість полягає в тому, що турбулентне середовище можна розглядати як миттєву реалізацію фазового сита, без необхідності допомагати фіксувати середній розподіл інтенсивності атмосфери протягом 10-2 с. Потім структура миттєвого розподілу інтенсивності на об'єкті визначається фазовим коливанням при проходженні лазерного променя.

Коли нахилу фронту сигналу не існує, центр інтенсивності випромінювання буде розташовуватися в центральній області об'єкта. Для всіх миттєвих реалізацій фазових коливань екрану кут нахилу фронту хвилі спричинить випадкове відхилення площі опромінення на об'єкті, зменшуючи тим самим інтенсивність вторинного випромінювання в напрямку наземної системи прийому. Як ми всі знаємо, це явище - це «дрейф» лазерного променя.

Використовуючи спектральну функцію фазового коливання оптичного випромінювання в деформованому середовищі, за допомогою чисельного моделювання визначають частоту відхилення освітлюваної області. На малюнку. Посилаючись на фіг.3, крива 1 показує залежність частоти фазових коливань оптичного випромінювання від просторового масштабу спотворень в турбулентному середовищі. Зменшення просторового радіуса кореляції з 50 см до 5 см призводить до збільшення частоти регулювання фазового екрану з 10 Гц до 350 Гц, причому максимальне значення відповідає добовому стану атмосфери в теплу пору року. Частота еволюції турбулентного середовища характеризує зовнішній вигляд турбулентної атмосфери, а кут фазового фронту його оптичного випромінювання є найменшим.

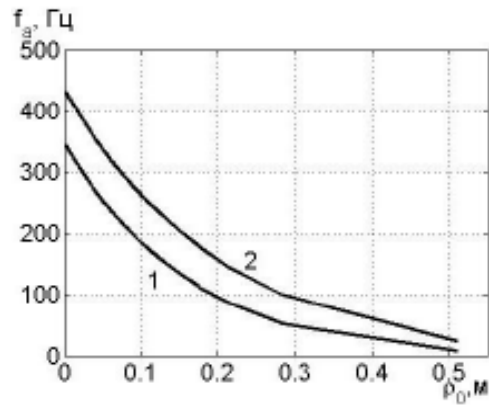


Рис.3.1. Залежність частоти коливань атмосфери від радіуса кореляції атмосферних спотворень на стаціонарному фазовому екрані (1), при русі екрана зі швидкістю 1035 м / с по відношенню до оптичної системи передавача LLS (2)

Представляючи турбулентну атмосферу як нерухоме середовище спотворень, можна зменшити фазові спотворення, пов'язані з ізопланатичним кутом. Для наземних локальних мереж цей кут можна визначити як суцільний кут $\theta_0 = \rho_0 / R_0$, хорда дуги якого на заданій висоті R_0 турбулентного шару дорівнює ρ_0 . На рис. 3.2 схематично показано рух супутника з низькою та середньою орбітою щодо кута ізопланатизму протягом стаціонарного часу атмосфери. Для середньої орбіти об'єктів з відстанню більше 2000 км час польоту в куті ізопланатизму набагато довший за час нерухомості атмосфери, а КО на низькій орбіті зміщується до кутової відстані $\theta_1 \gg \theta_0 \gg \theta_2$.

Обробка об'єкта, що визначає локалізацію, представляється як рух променя на фазовому екрані зі швидкістю v , яка еквівалентна швидкості кістки фазового екрану щодо нерухомого об'єкта. Часові статистичні характеристики коливання фази перекладаються у простір, тоді кореляційною функцією є випадкове поле $u(r, t)$, що рухається:

$$R(r, t) = \langle u(r_1 + r - v_y t, t) \rangle = R(r - v_y t, 0) \quad (3.6)$$

Імітація ковзного фазового екрану представлена у вигляді послідовності екранів, що рухаються зі швидкістю v_0 . Спектр частот W рухомого екрану та одновимірний просторовий спектр S пов'язані між собою:

$$W(r) = \frac{I}{v_u} S\left(\frac{r}{v_u}\right) = \frac{I}{v_u} F\left[\exp\left(-3,44\left(\frac{r/v_u}{\rho_0}\right)^{5/3}\right)\right] \quad (3.7)$$

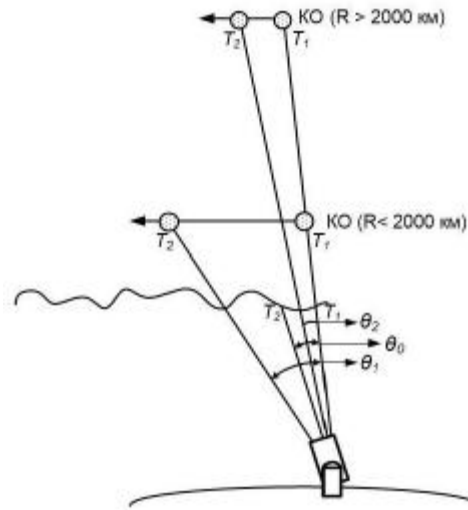


Рис.3.2. Переміщення КО відносно кута ізопланатизму турбулентної атмосфери

Результат моделювання коливань екрану рухомої фази показаний на рис. 3.2, крива 2. Залежність частоти коливань випадкового поля, що передаються з постійною швидкістю. Еволюція турбулентної атмосфери з рухом призводить до збільшення частоти фазових коливань по відношенню до нерухомого середовища. Рух фазового екрану зі швидкістю 1035 м / с відповідає підтримці групи КО високих орбіт. Відповідно до закону Кеплера, в залежності від висоти КО, ескорт буде проходити через турбулентну атмосферу з різною швидкістю, зі зменшеною відстанню КО до спектра фазових спотворень до зони високих частот. Отримані частотні характеристики турбулентної атмосфери можуть накласти деякі обмеження на еталонну частоту зондуючих оптичних імпульсів локаційної системи.

Імітація процесу реєстрації оптичного випромінювання полягає в переході від хвильового подання оптичного поля з розподілом енергії до статистичного опису кількості фотоелектронів n , отриманих за час T фотодетектором з ефективністю η :

$$P(n) = \int_0^{\tau} P(n_x) P(E) dE = \int_0^{\tau} \frac{1}{n!} \left(\frac{\eta E}{h\nu} \right)^n e^{-\frac{\eta E}{h\nu}} P(E) dE \quad (3.8)$$

Середня кількість фотоелектронів сигналу n_s залежить від багатьох факторів, що зменшують енергію оптичного сигналу, що доходить до приймального каналу:

$$E_{np} \approx E_{nep} k_{\Sigma} \frac{16 S_{\text{ш}}}{\pi^2 R^4 \theta_a \theta_{\text{ц}}} \quad (3.9)$$

де E_{nep} - енергія імпульсу лазерного передавача;

k_{Σ} - коефіцієнт ослаблення енергії в оптичній системі та атмосферному каналі;

R - відстань до КО;

$S_{\text{ц}}$ - площа розсіювання поверхні об'єкта розташування,

$\theta_a, \theta_{\text{ц}}$ - невідповідність лазерного променя після проходження через атмосферу та відбиття від цілі розташування.

Характеристики виявлення визначаються на основі використання розподілу шуму та кількості шумного сигналу. На прикладі двох супутників на відстанях 600 км та 6000 км проаналізуйте вплив зовнішніх параметрів на умовне значення ймовірності правильного виявлення при $F = 10^{-5}$ (рис. 3.3). Збільшення відстані об'єкта на порядок вимагає збільшення потужності імпульсу на 4 порядки, що є досить широким діапазоном потужності для лазерних передавачів. Нижній граничний поріг допустимої енергії мДж одиниці зазвичай встановлюється в положенні об'єктів з низькою орбітою. Це видно з малюнка. 3.3, а, це значення з запасом забезпечує максимальну умовну ймовірність правильного виявлення. Параметр θ_a враховує невідповідність лазера випромінювання в турбулентному середовищі. Вплив спотворень атмосфери на зменшення кількості записаних фотоелектронів на ділянці КО на низькій орбіті компенсується регулюванням енергії передавача в діапазоні 10 мкДж. У разі КО центральної орбіти (рис. 3.3, б) вплив атмосфери призводить до необхідності збільшення енергії імпульсу до 80 мДж, і все це створює певні труднощі в роботі каскаду підсилювача лазерного передавача. Таким чином,

знаючи операцію виявлення оптичного сигналу, можна розрахувати мінімальну кількість фотонів сигналу n_s , при якому прийом оптичного сигналу перевищує пороговий рівень з певним ступенем надійності, і правильно вибрати енергетичний потенціал LLS на певній відстані від цілі.

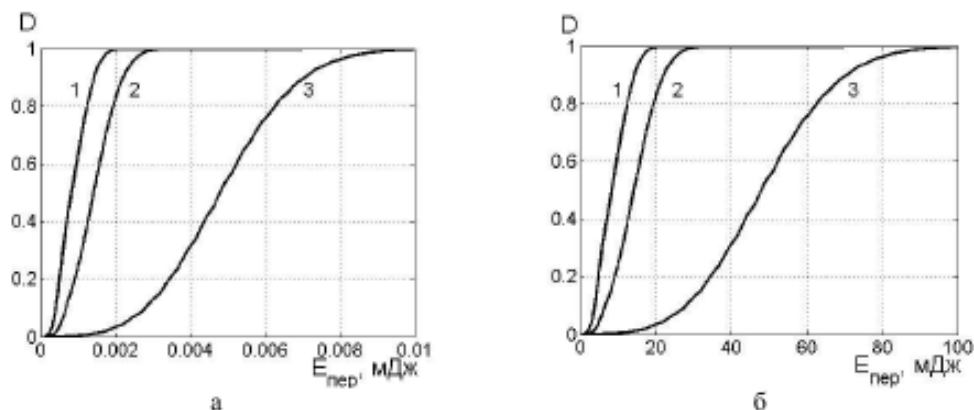


Рис. 3.3. – Залежність умовної ймовірності правильного виявлення КО при визначеному значенні умовної ймовірності помилкової тривоги $F = 10^{-5}$ від енергії зондового імпульсу в різних станах турбулентної атмосфери: 1 - $\rho_0 = 29$ см, 2 - $\rho_0 = 17$ см, 3 - $\rho_0 = 5$ см; на відстані: а) 600 км, б) 6000 км

Запропоновано метод формування та виявлення оптичного сигналу LLS з урахуванням турбулентних параметрів атмосфери.

Враховуючи фактори навколишнього середовища, необхідно розширити діапазон енергетичних значень імпульсу передавача, щоб підтримувати значення, необхідне для умовної ймовірності правильного виявлення.

Розроблено метод генерації імпульсів з лазерного передавача, який забезпечує збільшення енергії імпульсу за рахунок зміни режиму накачування лазера.

Збільшення енергетичного потенціалу LLS відбувається за рахунок використання резервів лазерного передавача в умовах, які перетворюють енергію насоса в когерентне оптичне випромінювання. Моделювання енергетичного процесу, що відбувається в активному тілі лазера АІГ: Nd, показує, що близько 20% енергії, яку може випромінювати когерентне світло, перетворюється на втрати люмінесценції. Ці втрати мають нелінійну залежність

від тривалості імпульсу та енергії оптичного насоса. Для певної тривалості імпульсу насоса існує оптимальне значення енергії імпульсу насоса, при якому ефективність перетворення енергії в активному середовищі досягає максимуму. Крім того, зменшення тривалості оптичної накачки з 125 нс до 50 нс може майже вдвічі збільшити ефективність перетворення енергії світлового квантового генератора (JAG). Отже, енергію імпульсу лазера можна збільшити, контролюючи втрати випромінювання. Механізм зменшення втрат полягає у скороченні часу перебування активного компонента в зворотному стані.

Однак із збільшенням тривалості імпульсного розряду на лампі насоса швидкість наростання струму в лампі збільшується, і це супроводжується підвищенням температури плазми та зміщенням максимального розподілу спектра випромінювання лампи в ультрафіолетовій області. Активний компонент AIG: Частка світлової енергії в смузі поглинання Nd зменшується. Завдання пошуку найбільш ефективного режиму оптичної накачки обмежується двома умовами: одна - режим живлення імпульсної лампи, а інша - ефективність перетворення енергії в активному елементі JAG. Шляхом пошуку рішення є використання багатоступеневого імпульсу, форма якого залежить від величини енергії, встановленої на виході JAG.

Теоретичні дослідження та результати моделювання перевірялись на експериментальному пристрої. Струм вимірюється імпульсною лампою і вимірюється вихідна енергія лазера. Тривалість імпульсу насоса встановлюється ємністю накопичувального конденсатора зарядного пристрою, а енергія насоса визначається напругою на драйвері. Ефективність квантового насоса визначається як відношення максимального значення світла до квадрата сили струму в лампі під час імпульсу насоса. Експериментальні дослідження підтвердили існування значення світлового імпульсу, який є найбільш ефективною функцією твердотільних активних компонентів лазера. Обробка експериментальних вимірювань показує, що отримані дані мають задовільну послідовність і теоретичну кореляцію ефективності перетворення енергії в JAG.

Експериментально, вплив перетворення форми імпульсу накачки (рис. 6) на квантову ефективність. З цією метою ми порівняли дані одноступеневої, триступеневої та п'ятиступінчастої імпульсних конфігурацій. Коли загальна енергія драйвера є постійною, зміна послідовності перемикання ємнісного з'єднання в зарядному пристрої перерозподілить швидкість збільшення сили струму в лампі. В результаті ми змогли досягти ефективності роботи системи імпульсних ламп - активний елемент становить 27%, а для п'ятиступеневого імпульсу насоса він може збільшити вихідну енергію на 13 мДж.

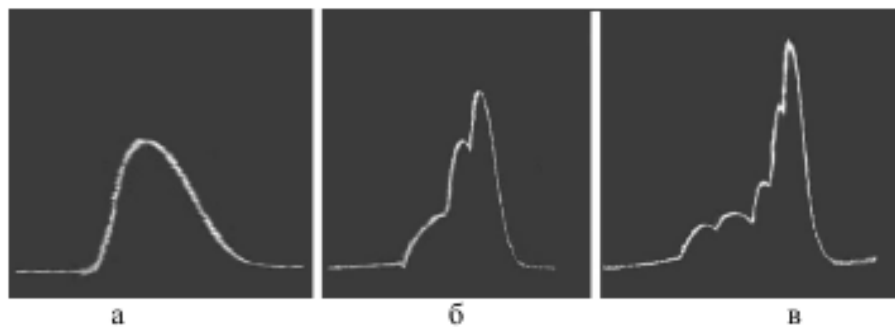


Рис. 3.4. Імпульс струму в лампі насоса генерується з енергією розряду 150 Дж. Енергія імпульсу лазера а) 48 мДж, б) 56 мДж, в) 61 мДж

Розроблено метод підвищення виразності ЗСЖ шляхом ефективною передачі оптичних сигналів з урахуванням зовнішніх параметрів навколишнього середовища через когерентне оптичне випромінювання через турбулентну атмосферу на поверхню позиціонуемого об'єкта. За різних умов спотвореного середовища візьміть позицію супутника LAGEOS як приклад, щоб розглянути ефект запропонованого методу (рис. 3.5). Крива 1 відповідає залежності умовної ймовірності правильного виявлення від енергії лазерного імпульсу в атмосферних умовах $\rho_0 = 40$ см. Для телескопа діаметром 0,8 м це можна розглядати як остаточний вираз. Енергія передавача С, достатня для виявлення відбитого сигналу, становить 10 мДж.

Зі ступенем турбулентності в атмосфері або при видаленні предметів характеристики виявлення в області високих енергій змінюватимуться. При тій

же енергії та $\rho_0 = 20$ см умовна ймовірність правильного виявлення зменшується на 0,16 (точка D2). Цю атмосферу можна спостерігати вночі в теплу пору року.

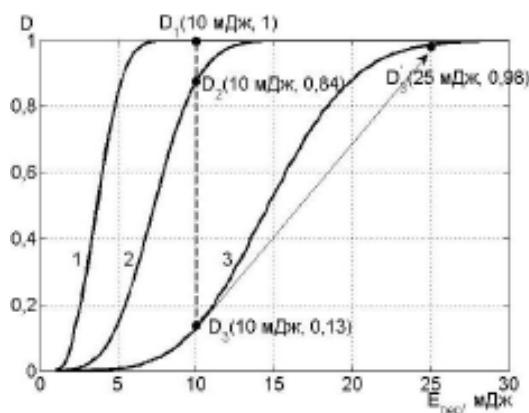


Рис. 3.5. Умовна ймовірність правильного виявлення залежить від енергії імпульсу передавача в положенні наземного супутника LAGEOS за різних умов турбулентності: 1 – $\rho_0 = 40$ см; 2 – $\rho_0 = 20$ см; 3 – $\rho_0 = 10$ см

Збільшення енергії імпульсу на 5 мДж дозволить вам перейти до максимального значення умови для ймовірності правильного виявлення. Перехід з цього положення в денний режим супроводжується збільшенням ступеня деформації, спричиненої турбулентним середовищем (рис. 3.5, крива 3). Видно, що умовна ймовірність правильного виявлення зменшується до 0,13 (точка D3). Відповідно до запропонованого способу, максимальна умовна ймовірність правильного виявлення може бути забезпечена при енергії світлового імпульсу близько 25 мДж. Ефект цього методу можна графічно проілюструвати переходом від точки D3 до D'3 на відповідні характеристики виявлення. Показаний ефект може бути показаний лише при синхронізації передачі імпульсу, що відповідає термінам стану навколишнього середовища з найменшим кутом фронту хвилі. За результатами моделювання коливань перед фазою світлового випромінювання (рис. 3.6, а), для супутника LAGEOS, коли $\rho_0 = 10$ см, цей стан виникає на частоті 500 Гц.

Серед можливих станів коливального середовища деформація хвильового фронту є найменшою в окремі моменти, і оптичне випромінювання

поширюється ненаправлено вздовж напрямку об'єкта. Цей стан навколишнього середовища може забезпечити найбільш ефективну передачу лазерного випромінювання та виявлення відбитих сигналів. Крім того, загальне врахування турбулентних атмосферних умов та параметрів руху цілі призводить до збільшення частоти фазових коливань спотвореного середовища зі збільшенням швидкості об'єкта, збільшуючи тим самим вільний момент проходження пучка зонда. Для низькоорбітального КО висотою не більше 2000 км частота відсікання імпульсу передавача в основному визначається швидкістю КО, і вона значно зростає із зменшенням відстані КО та збільшенням швидкості (рис. 8, б). Межа зміни частоти передачі імпульсів КО з низькою орбітою від 1 кГц до 20 кГц.

На основі поширення лазерного випромінювання вздовж траєкторії положення та всіх втрат, відбитих від цільового положення, визначається значення енергії, необхідне для забезпечення ймовірності правильного виявлення для даних умов. Для типового об'єкта розташування - залежність енергії від зовнішнього стану навколишнього середовища, як показано на малюнку 3. 6. Видно, що вплив турбулентності повинен збільшити енергетичний потенціал системи позиціонування землі.

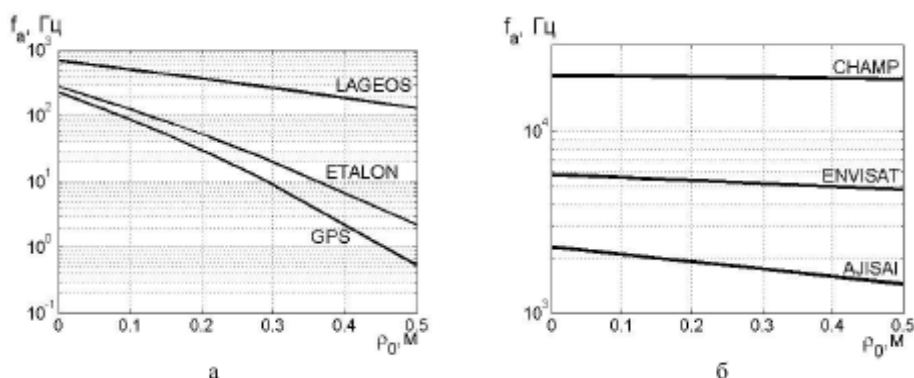


Рис. 3.6. Взаємозв'язок між частотою коливань атмосферної неоднорідності супутника та радіусом простору, пов'язаною з атмосферною неоднорідністю:

а) – LAGEOS, ETALON, GPS; б) – CHAMP, ENVISAT, AJISAI

Порівняно з дифракційною різницею випромінювання, різниця, спричинена турбулентним розширенням, може зменшити інтенсивність випромінювання в цей час більш ніж на один порядок величини. У цьому випадку, коли кривизна хвильового фронту найменша в турбулентному середовищі, за рахунок збільшення енергії імпульсу передавача, забезпечується задане можливе значення умовної ймовірності правильного виявлення відбитого сигналу. Тільки за таких умов можна очікувати відображення та реєстрації корисних оптичних сигналів.

Використання імпульсів передавача з вищими значеннями енергії та частоти не призведе до збільшення кількості відповідей КО, оскільки деякі з них проходять упереджено через атмосферні неоднорідності. У цьому випадку відношення кількості отриманих продажів до кількості упаковок буде менше 1, що свідчить про те, що ефективність спостереження за місцем зниження зменшується.

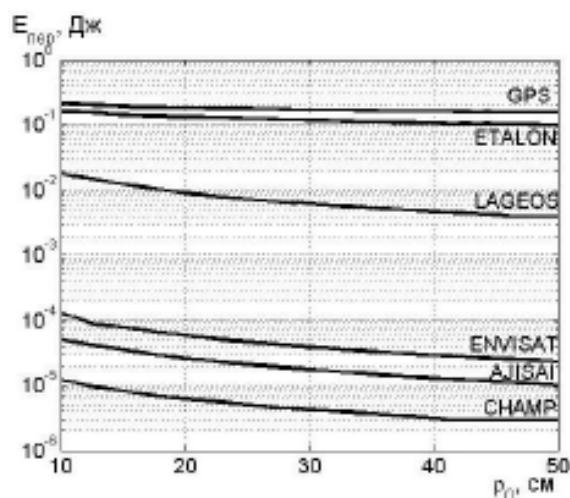


Рис. 3.7. Залежність енергії лазерних імпульсів, при якій $D = 0,9$, забезпечується від радіуса просторової когерентності турбулентної атмосфери для супутників LAGEOS, ETALON, GPS CHAMP, ENVISAT, AJISAI

3.2. Висновки до розділу 3

Науково-практична проблема підвищення виразної здатності контролювати космічний простір шляхом врахування характеристик

турбулентної атмосфери при формуванні оптичних сигналів. Здійснено вплив умов спостереження за космічними об'єктами на виявлення можливостей ЛЛС і показано, що випадкове зменшення сонячного впливу об'єкта, що знаходиться, відбувається за рахунок відхилення та розширення лазерного променя на неоднорідність атмосфери. Однак турбулентний рух атмосферних мас періодично гарантує, що фронт хвилі оптичного випромінювання має найменші коливання і промінь не відхиляється від прямолінійного напрямку поширення.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Електробезпека користувачів персональних комп'ютерів

Заходи щодо усунення небезпеки ураження електричним струмом зводяться до правильного розміщення устаткування та електричних кабелів. Інші заходи щодо забезпечення електробезпеки, збігаються з загальними заходами пожежо- та електробезпеки.

В якості профілактичних заходів для забезпечення пожежної безпеки слід використовувати скриту електромережу, надійні розетки з пожежобезпечних матеріалів, силові мережі живлення устаткування виконувати кабелями, розрахованими на підключення в 3-5 разів більшого навантаження, включати й виключати живлення обладнання за допомогою штатних вимикачів. Треба регулярно робити очистку внутрішніх частин комп'ютерів, іншого устаткування від пилу, розташовувати комп'ютери на окремих неспалюваних столах. Для запобігання іскріння необхідно рідше встромляти і виймати штепсельні вилки з розеток.

Екран дисплея повинен бути розташованим перпендикулярно до напрямку погляду. Якщо він розташований під кутом, то стає причиною сутулості. Відстань від дисплея до очей повинна трохи перевищувати звичну відстань між книгою та очима. Перед екраном монітора, особливо старих типів, повинен бути спеціальний захисний екран. При його відсутності треба сидіти на відстані витягнутої руки від монітора. Ще одним моментом, який стосується зору, є необхідність створення неоднорідного поля зору. Для цього можна розвісити на поверхнях (стінах) плакати та картини, виконані у спокійних тонах. Наприклад, пейзажі.

Важливою є форма спинки крісла, яка повинна повторювати форму спини. Висота крісла повинна бути такою, щоб користувач не відчував тиску на куприк або стегна. Крісло бажано обладнати бильцями. Його потрібно

встановити так, щоб не треба було тягтися до клавіатури. Періодично користувачу необхідно рухатися, вчасно змінювати положення тіла і робити перерви у роботі.

При напруженій роботі за комп'ютером щогодини необхідно робити перерву на 15 хвилин через кожен годину і треба займатися іншою справою. Декілька разів на годину бажано виконувати серію легких вправ для розслаблення.

Наслідками регулярної роботи з комп'ютером без застосування захисних засобів можуть бути: захворювання органів зору (60% користувачів); хвороби серцево-судинної системи (20%); захворювання шлунково-кишкового тракту (10%); шкірні захворювання (5%); різноманітні пухлини.

Режим праці та відпочинку при роботі з персональною електронно-обчислювальною машиною (ПЕОМ) залежить від категорії трудової діяльності. Всі роботи з ПЕОМ ділять на три категорії. Перша - епізодичне зчитування і робота з інформацією не більше 2-х годин за 8-годинну робочу зміну. Друга - зчитування інформації або творча робота не більше 4-х годин за восьмигодинну зміну. Третя - зчитування інформації або творча робота тривалістю більше 4-х годин за зміну.

Якщо у приміщенні експлуатується більше одного комп'ютера, то треба врахувати, що на користувача одного комп'ютера можуть впливати випромінювання від інших, в першу чергу бокових, а також і задньої стінки сусіднього дисплея. Тому необхіден захист спеціальними фільтрами і щоб користувач розміщався від бічних і задніх стінок інших дисплеїв на відстані не ближче одного метра.

Отже, щоб запобігти негативним впливам необхідно знати й небезпечні сторони самого комп'ютера і правила безпечної роботи, знати засоби запобігання небезпек. Вони пов'язані перед усім із загально відомими небезпечними факторами - поразками електричним струмом, пожежонебезпечністю.

Негативні фактори впливу на здоров'я. Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) роботу з персональним комп'ютером віднесла до небезпечних, бо їй притаманний фактор постійно діючого стреса. З-за цього небезпеці піддаються всі життєво важливі органи людини, з'являється ризик виникнення серйозних хвороб.

Електромагнітні поля біля комп'ютера (особливо низькочастотні) негативно впливають на людину і в першу чергу на її центральну нервову систему, викликаючи головний біль, запаморочення, нудоту, депресію, безсоння, відсутність апетиту, виникнення синдрому стресу. Причому нервова система реагує навіть на короткі за тривалістю впливи слабких полів: змінюється гормональний стан організму, порушуються біоструми мозку. Це призводить до погіршення зору, ускладненню серцево-судинних захворювань, зниженню імунітету, виникають негативні впливи на плин вагітності.

Характерною рисою професії оператора ПК є статичний режим роботи: великий обсяг праці треба виконувати в сидячому положенні. При цьому більшість груп м'язів постійно напружені, що призводить до швидкої стомлюваності, сприяє розвитку фахових патологічних вигинів хребта: грудному гіперкифозу, сплюсненню шийного лордозу і формуванню сколіозів. Неправильне розташування дисплеїв по висоті - занадто низьке або високе, під неправильним кутом - є головною причиною появи сутулості. Занадто високе розташування дисплея призводить до тривалої напруги шийного відділу хребта, що, зрештою, може призвести до розвитку остеохондрозу. Ненормальний стан хребта може стати причиною захворювання всього організму.

Основні "комп'ютерні" хвороби. Нерухома напружена поза оператора призводить до втоми і виникнення болю в хребті, шиї, плечових суглобах. Інтенсивна робота з клавіатурою викликає болючі відчуття в ліктьових суглобах, передпліччях, зап'ястях і пальцях рук.

У деяких операторів персонального комп'ютера (ПК) розвивається м'язова слабкість, відбувається зміна форми хребта (синдром тривалого

статичного навантаження - СТСН), що може призвести до непрацездатності. Постійні користувачі ПК найчастіше піддаються психічним стресам, хворобам серцево-судинної системи і верхніх дихальних шляхів. Значному навантаженню піддається зоровий апарат.

При тривалій та інтенсивній роботі за комп'ютером з'являється синдром комп'ютерного стресу (СКС), який проявляється головною біллю, запаленням очей, алергією, дратівливістю, млявістю і депресією, погіршенням зосередженості і працездатності.

Причинами різноманітних симптомів СКС є 5 основних чинників: неправильна робота очей і поза тіла, носіння невідповідних окулярів або контактних лінз, неправильна організація робочого місця, розподілення фізичних, розумових, візуальних навантажень, низький рівень візуальної підготовленості для роботи з комп'ютером. Особливо це характерно для дітей, молодших школярів.

При виконанні робіт оператор персонального комп'ютера повинен:

- витримувати відстань від очей до екрана комп'ютером в межах 60 - 70см;
- дотримуватися внутрішньозмінного режиму праці та відпочинку, регламентованих перерв у роботі, а саме (при 8-годинній денній робочій зміні):
 - для розробників програм - тривалістю 15 хвилин через кожну годину роботи;
 - для інших категорій працівників - тривалістю 15 хвилин через кожні дві години роботи;
 - для операторів комп'ютерного набору - тривалістю 10 хвилин, після кожної години роботи.

Під час регламентованих перерв рекомендується виконувати комплекси вправ для очей, рук, хребта, поліпшення мозкового кровообігу тощо. Про виявлення несправності обладнання або інших факторів, які створюють загрозу для життя або здоров'я працівників, необхідно негайно інформувати свого безпосереднього керівника.

При роботі на персональному комп'ютері не допускається:

- виконання ремонту та налагодження комп'ютерної техніки безпосередньо на робочому місці оператора;
- зберігання біля комп'ютера паперу, дискет, інших носіїв інформації, запасних блоків, деталей тощо, якщо вони не використовуються для поточної роботи;
- відключення захисних пристроїв, самочинні зміни в конструкції комп'ютера;
- використання комп'ютерів, на екранах яких під час роботи з'являються нехарактерні сигнали, нестабільне зображення на екрані тощо;
- доторкання до задньої панелі системного блоку при включеному живленні;
- вимикання живлення під час виконання активного завдання;
- попадання вологи на поверхню системного блоку, монітора, клавіатури, дисководів, принтерів та інших пристроїв;
- приймання напоїв та їжі на робочому місці.

Після закінчення роботи з використанням персонального комп'ютеру необхідно дотримуватися такої послідовності вимикання обладнання:

- закрити всі активні завдання;
- переконатися у відсутності дискет та дисків у дисководах;
- використавши опцію "Завершення роботи" у меню "Пуск", вимкнути живлення системного блоку;
- вимкнути живлення всіх комп'ютерів;
- вимкнути блок аварійного живлення (за наявності);
- відключити комп'ютер від електромережі, при цьому забороняється тягнути штепсельну вилку за дріт.

4.2. Завдання страхування від нещасного випадку. Принципи та види страхування

Страхування від нещасного випадку є самостійним видом загальнообов'язкового державного соціального страхування, за допомогою якого здійснюється соціальний захист, охорона життя та здоров'я громадян у процесі їх трудової діяльності.

Завданнями страхування від нещасного випадку є:

- проведення профілактичних заходів, спрямованих на усунення шкідливих і небезпечних виробничих факторів, запобігання нещасним випадкам на виробництві, професійним захворюванням та іншим випадкам загрози здоров'ю застрахованих, викликаним умовами праці;
- відновлення здоров'я та працездатності потерпілих на виробництві від нещасних випадків або професійних захворювань;
- відшкодування матеріальної та моральної шкоди застрахованим і членам їхніх сімей.

Реалізації цих завдань сприяють і деякі положення Закону України "Про охорону праці". Так, наприклад, працівники під час прийняття на роботу і в процесі роботи повинні проходити за рахунок роботодавця інструктаж, навчання з питань охорони праці, з надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків і правил поведінки у разі виникнення аварії.

Працівники, зайняті на роботах з підвищеною небезпекою або там, де є потреба у професійному доборі, повинні щороку проходити за рахунок роботодавця спеціальне навчання і перевірку знань відповідних нормативно-правових актів з охорони праці. Посадові особи, діяльність яких пов'язана з організацією безпечного ведення робіт, під час прийняття на роботу і періодично, один раз на три роки, проходять навчання, а також перевірку знань з питань охорони праці за участю профспілок.

У разі виявлення у працівників, у тому числі посадових осіб, незадовільних знань з питань охорони праці, вони повинні у місячний строк пройти повторне навчання і перевірку знань.

На підприємствах з чисельністю працюючих понад 50 і більше осіб, роботодавець повинен створити службу охорони праці (відповідно до типового положення, що затверджується центральним органом виконавчої влади з питань нагляду за охороною праці). На менших підприємствах ці функції можуть виконувати особи, які мають відповідну підготовку. Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо роботодавцю.

Спеціалісти служби охорони праці у разі виявлення порушень охорони праці мають право:

- видавати керівникам структурних підрозділів підприємства обов'язкові для виконання приписи щодо усунення наявних недоліків, одержувати від них необхідні відомості, документацію і пояснення з питань охорони праці;

- вимагати відсторонення від роботи осіб, які не пройшли передбачених законодавством медичного огляду, навчання, інструктажу, перевірки знань і не мають допуску до відповідних робіт або не виконують вимог нормативно-правових актів з охорони праці;

- зупиняти роботу виробництва, ділянки, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва у разі порушень, які створюють загрозу життю або здоров'ю працюючих;

- надсилати роботодавцю подання про притягнення до відповідальності працівників, які порушують вимоги щодо охорони праці.

Припис спеціаліста з охорони праці може скасувати лише роботодавець. На підприємстві з метою забезпечення пропорційної участі працівників у вирішенні будь-яких питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища за рішенням трудового колективу може створюватися комісія з питань охорони праці.

Комісія складається з представників роботодавця та професійної спілки, а також уповноваженої найманими працівниками особи, спеціалістів з безпеки, гігієни праці та інших служб підприємства відповідно до типового положення, що затверджується центральним органом виконавчої влади з нагляду за охороною праці.

Рішення комісії мають рекомендаційний характер.

Основними принципами страхування від нещасного випадку є:

- паритетність держави, представників застрахованих осіб та роботодавців в управлінні страхуванням від нещасного випадку;
- своєчасне та повне відшкодування шкоди страховиком;
- обов'язковість страхування від нещасного випадку осіб, які працюють на умовах трудового договору (контракту) та інших підставах, передбачених законодавством про працю, а також добровільність такого страхування для осіб, які забезпечують себе роботою самостійно та громадян - суб'єктів підприємницької діяльності;
- надання державних гарантій реалізації застрахованими громадянами своїх прав;
- обов'язковість сплати страхувальником страхових внесків;
- формування та витрачання страхових коштів на солідарній основі;
- диференціювання страхового тарифу з урахуванням умов і стану безпеки праці, виробничого травматизму та професійної захворюваності на кожному підприємстві;
- економічна зацікавленість суб'єктів страхування в поліпшенні умов безпеки праці;
- цільове використання коштів страхування від нещасного випадку.

Суб'єктами страхування від нещасного випадку є застраховані громадяни, а в окремих випадках члени їхніх сімей та інші особи, страхувальники і страховик.

Застрахованою є фізична особа, на користь якої здійснюється страхування. Страхувальниками є роботодавці, а в окремих випадках - застраховані особи.

Страховик - Фонд соціального страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань України (ФСС НВВ).

Об'єктом страхування від нещасного випадку є життя застрахованого, його здоров'я та працездатність. Роботодавцем вважається:

- власник підприємства або уповноважений ним орган та фізична особа, яка використовує найману працю;

- власник розташованого в Україні іноземного підприємства, установи, організації (у тому числі міжнародних), філії або представництва, який використовує найману працю.

Обов'язковому страхуванню від нещасного випадку підлягають:

1) особи, які працюють на умовах трудового договору (контракту) або на інших підставах, передбачених законодавством про працю;

2) учні та студенти навчальних закладів, клінічні ординатори, аспіранти, докторанти, залучені до будь-яких робіт під час, перед або після занять; під час занять, коли вони набувають професійних навичок; у період проходження виробничої практики (стажування), виконання робіт на підприємствах;

3) особи, які утримуються у виправних, лікувально-трудовах, виховно-трудовах закладах та залучаються до трудової діяльності на виробництві цих установ або на інших підприємствах за спеціальними договорами.

Страхування зародка та новонародженого. Заподіяння шкоди зародку внаслідок травмування на виробництві або професійного захворювання жінки під час її вагітності, у зв'язку з чим дитина народилася інвалідом, прирівнюється до нещасного випадку, який трапився із застрахованим. Така дитина відповідно до медичного висновку вважається застрахованою, та до 18 років або до закінчення навчання, але не більш як до досягнення 23 років їй подається допомога Фонду соціального страхування від нещасних випадків.

На добровільних засадах можуть бути застраховані:

1) особи, які забезпечують себе роботою самостійно - займаються адвокатською, нотаріальною, творчою та іншою діяльністю, пов'язаною з отриманням доходу безпосередньо від цієї діяльності, члени фермерського господарства, особистого селянського господарства, якщо вони не є найманими працівниками;

2) громадяни - суб'єкти підприємницької діяльності.

При страхуванні згода або заява від працівника не потрібна, оскільки страхування здійснюється в безособовій формі. Всі названі особи вважаються застрахованими з моменту набрання чинності Закону України про страхування від нещасних випадків - з 1 квітня 2001 року, незалежно від того, сплачували внески страхувальники чи ні. Для добровільного страхування строк страхування починається з дня наступного за днем подання (прийняття ФСС НВВ) заяви, при обов'язковій умові - сплаті страхового внеску. Якщо протягом трьох місяців з дня подання заяви страховий внесок не був перерахований, то страхування припиняється.

У даному виді страхування використовуються спеціальні поняття.

Страховий ризик - обставини, внаслідок яких може статися страховий випадок.

Страховим випадком є нещасний випадок на виробництві або професійне захворювання, що спричинили застрахованому професійно зумовлену фізичну чи психологічну травму за обставин, з настанням яких виникає право застрахованої особи на отримання матеріального забезпечення та соціальних послуг.

Професійне захворювання є страховим випадком також у разі його встановлення чи виявлення у період, коли потерпілий не перебував у трудових відносинах з підприємством, на якому він захворів.

Перелік обставин, за яких настає страховий випадок, а також види професійних захворювань, затверджуються Кабінетом Міністрів України за поданням спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади.

Нещасний випадок або професійне захворювання, яке сталося внаслідок порушення нормативних актів про охорону праці застрахованим, також є страховим випадком. Порушення правил охорони праці застрахованим не звільняє страховика від виконання зобов'язань перед потерпілим.

Нещасний випадок на виробництві або професійне захворювання розслідується у порядку, затвердженому Кабінетом Міністрів України, відповідно до Закону України "Про охорону праці".

Роботодавець повинен організувати розслідування та вести облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій відповідно до Порядку проведення розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві, що затверджується Постановою Кабінетом Міністрів України за погодженням з всеукраїнськими об'єднаннями профспілок.

За підсумками розслідування нещасного випадку, професійного захворювання або аварії роботодавець складає акт за встановленою формою, один примірник якого він зобов'язаний видати потерпілому або іншій заінтересованій особі не пізніше трьох днів з моменту закінчення розслідування. Цей акт є підставою для оплати потерпілому витрат на медичну допомогу, проведення медичної, професійної та соціальної реабілітації, а також страхових виплат є акт розслідування нещасного випадку або професійного захворювання.

У разі відмови роботодавця скласти акт про нещасний випадок чи незгоди потерпілого з його змістом питання вирішуються посадовою особою органу державного нагляду за охороною праці, рішення якої є обов'язковим для роботодавця. Роботодавець зобов'язаний відшкодувати збитки, завдані

порушенням вимог з охорони праці іншим юридичним, фізичним особам і державі, на загальних підставах, передбачених законом.

Роботодавець відшкодовує витрати на проведення робіт з рятування потерпілих під час аварії та ліквідації її наслідків, на розслідування і проведення експертизи причин аварії, нещасного випадку або професійного захворювання, на складання санітарно-гігієнічної характеристики умов праці осіб, які проходять обстеження щодо наявності професійного захворювання, а також інші витрати, передбачені законодавством.

Нещасний випадок - не обмежена в часі подія або раптовий вплив на працівника небезпечного виробничого фактора чи середовища, що сталися у процесі виконання ним трудових обов'язків, внаслідок яких заподіяно шкоду здоров'ю або настала смерть.

Професійне захворювання - захворювання, що виникло внаслідок професійної діяльності застрахованого та зумовлюється виключно або переважно впливом шкідливих речовин і певних видів робіт та інших чинників, пов'язаних з роботою.

Законодавство про страхування від нещасного випадку складається із Основ законодавства України про загальнообов'язкове державне соціальне страхування, Закону України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності", Кодексу законів про працю України (32208), Закону України "Про охорону праці" (2694-12) та інших нормативно-правових актів.

4.3. Висновок до розділу 4

У четвертому розділі охорона праці розглянуті такі питання завдання страхування від нещасного випадку. Принципи та види страхування.

У даному розділі розглянуто питання забезпечення електричної безпеки користувачів ПК, тому необхідно дотримуватися порядку використання

комп'ютерної техніки на виробництві, який визначається настановою з експлуатування її заводу-виробника. Допуск працівників до роботи з комп'ютерною технікою повинен здійснюватися шляхом проведення навчання, до програми якого мають бути включені питання безпеки під час експлуатації комп'ютерної техніки як електротехнічного пристрою.

ВИСНОВКИ

У першому розділі було проведено дослідження використання оптикоелектронних пристроїв для позиціонування відносно космічних об'єктів, можливості національних оптичних засобів космічного спостереження для контролю геостаціонарної орбіти. Дослідження лазерні локаційні системи (ЛЛС), що входять до складу системи контролю космічного простору та використовуються для високоточного визначення координат космічних об'єктів (КО), а також дозволяють вирішувати завдання космічної геодезії, геодинаміки та навігації.

У другому розділі проаналізовано математичний опис лазерного локаційного сигналу, досліджено сигнал, що випромінюється лазерним локатором, і його статистичні характеристики в околиці мети спостереження.

У третьому розділі проведений аналіз підвищення виявної здатності лазерної локаційної системи контролю космічного простору за рахунок врахування характеристик турбулентної атмосфери при формуванні оптичних сигналів. Доведено, що принцип лазерних локаційних спостережень полягає у виявленні КО за допомогою його опромінювання когерентним електромагнітним світлом та реєстрації відбитого сигналу з наступним вимірюванням часу його розповсюдження.

У четвертому розділі описано електробезпека користувачів персональних комп'ютерів та розписано завдання страхування від нещасного випадку. Принципи та види страхування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. http://www.eurointech.ru/products/AWR/Dmitriev_mwo_2002_1.pdf
2. https://studbooks.net/2367068/tehnika/opisanie_sredy_proektirovaniya_micro_wave_office
3. <http://www.agroosvita.com/sites/default/files/libery/ecology/Техноэкология.pdf>
4. <https://studfile.net/preview/2448288/page:4/>
5. <https://knowledge.allbest.ru/life/d2c0a65635a3bd68a5c53b88521216c37.html>
6. <https://studfiles.net/preview/5152967/page:4/>
7. <https://studfiles.net/preview/5642316/page:51/>
8. <https://lektsii.org/10-15494.html>
9. <https://nauchkor.ru/uploads/documents/5b887daf7966e1073081b4e8.pdf>
10. <https://habr.com/ru/post/237589/>
11. <https://dou.ua/lenta/articles/voice-controlled-smart-home/>
12. <https://www.bestreferat.ru/referat-140657.html>
13. <https://referatbank.ru/referat/preview/45906/referat-sistemy-raspoznavaniya-rechi.html>
14. <https://www.bibliofond.ru/detail.aspx?id=871454>
15. <https://bot.konveier.com/2018/12/24/osobennosti-primeneniya-tehnologij-raspoznavaniya-golosa/>
16. <https://moluch.ru/archive/163/45163/>
17. <https://www.primavista.ru/blog/2017/08/03/programmyi-raspoznavaniya-rechi>
18. https://studentlib.com/diplom-205110-razrabotka_sistemy_golosovogo_upravleniya_elektromehaničeskimi_ustroystvami.html
19. <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=528193>
20. <https://www.bestreferat.ru/referat-168577.html>
21. <https://works.doklad.ru/view/JfQion7ow-4/all.html>

22. <https://blog.dti.team/voice-assistants-3/>

23. <https://vc.ru/flood/27565-preimushchestva-i-nedostatki-golosovyh-interfeysov>

24. http://cinref.ru/razdel/05600voenoe_delo/03/179870.htm

ДОДАТКИ

Діапазони частот згідно класифікації ІЕЕЕ

Діапазони частот		
Назва	Частотний діапазон, ГГц	
Назва діапазону	Діапазон частот РЛС	Діапазон частот в супутниковому зв'язку
L		1,0 – 2,0
S		2,0 – 4,0
C	4,0 – 8,0	4,0 – 7,0
X	8,0 – 12,0	7,0 – 10,7
Ku	12,0 – 18,0	10,7 – 18,0
K	18,0 – 26,5	18,3 – 20,2; 27,5 – 31,5
Ka	26,5 – 40,0	

УДК [681.78](#)

Дембічак М.А., студент - магістр кафедри радіотехнічних систем,

Черній В.В., магістр, провідний спеціаліст Держспецзв'язку України

Химич Г.П., науковий керівник, ст. викл.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИЧНОГО (ЛАЗЕРНОГО) МЕТОДУ ДОСЛІДЖЕННЯ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ.

Dembichak M., student - master of the department of radio engineering systems,

Cherniy V., master, leading specialist of the State Special Communications of Ukraine

Khymych G., scientific supervisor, senior lecturer

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

SUBSTANTIATION OF THE OPTICAL (LASER) METHOD SPACE OBJECT RESEARCH.

Інтенсивний розвиток моніторингу та дослідження космічних об'єктів, особливо супутників Землі штучного походження почався одночасно з запуском перших космічних апаратів. Для таких досліджень використовують як радіотехнічні так і оптичні (лазерні) локаційні системи. Враховуючи те, що кількість штучних супутників Землі (ШСЗ) постійно зростає і до 2024 р. згідно програми Starlink компанії SpaceX Ілона Маска (Elon Musk) планується запуснути 4500 апаратів на висоті (1100-1300) км і 7500 — на висоті 346 км [1]. Враховуючи те, що на різних орбітах наразі знаходиться близько 1740 активних та 2600 «мертвих» супутників (каталог НОРАД-USSTRATCOM), багато космічного сміття, як побічний продукт від їх діяльності, то постало складне питання про контроль за космічними об'єктами та їхнім станом. Вирішення даної проблеми реалізується на використанні ефективних локаційних системи (оптичних, радіотехнічних).

Запропонований метод оптичного (лазерного) дослідження космічних об'єктів (природних, штучних) ґрунтується на інноваційних оптичних технологіях. Враховуючи недоліки оптичних методів, які в основному ґрунтуються на спотворенні променів при переході через атмосферу в прямому та зворотному шляхах (флуктуації атмосфери, рефракція, затухання та ін.) та на створенні висококогерентного сигналу, запропонований метод змінного спектру дає можливість уникнути багатьох недоліків та суттєво покращити отримані результати про геолокацію космічного об'єкту.

Згідно закону Кеплера, залежно від висоти космічного об'єкту, моніторинг та в подальшому супровід проходить через турбулентну атмосферу із різною швидкістю, і при зменшенні віддаленості космічного об'єкту спектр

флуктуації фазових спотворень зміщується в зону високих частот. Отримані частотні характеристики турбулентної атмосфери накладають певні обмеження на частотний режим посилення зондувальних оптичних імпульсів локаційної системи [2]. Існує багато варіантів, коли оптичне випромінювання зі спектром у видимій області необхідно перетворити у випромінювання в іншому діапазоні довжин хвиль, тобто виконати частотний зсув спектру. Зміна спектрального складу оптичного випромінювання з переносом його в інший спектральний діапазон електромагнітних хвиль переважно базуються на квантово-механічних явищах і законах взаємодії випромінювання з речовиною, за допомогою генерації оптичних гармонік, вимушеного розсіювання Рамана або розсіювання Комптона, фазової самомодуляції та інших нелінійних ефектів. Запропонований метод дозволить більш ефективно використовувати оптичні локаційні системи для дослідження космічних об'єктів.

Література:

1. <https://www.ukrinform.ua/rubric-society/2432788-globalnij-wifi-ilona-maskace-gonitva-ozbroen-hhi-stolitta.html>.
2. Коваль С.Т., Слободяник А.Д. Спектроенергетичне перетворення оптичного випромінювання. XIII Міжнародна НТК “Приладобудування: стан і перспективи”, 23-24.04. 2014 р., НТУУ “КПІ”, м. Київ, Україна.