

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра Автоматизованих систем
моніторингу навколишнього
середовища

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Розробка та дослідження імітаційної моделі польоту радіозонда»

Виконав студент 2 курсу групи МК- 61
спеціальності 122 Комп'ютерні науки
та інформаційні технології
Звонарьов Олексій Юрійович

Керівник к.т.н., доц.
Лавріненко Юліан Володимирович

Консультант _____

Рецензент д.ф. – м.н., проф.
Ковальчук Володимир Володимирович

Одеса 2018

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Магістерської та аспірантської підготовки
Кафедра Автоматизованих систем моніторингу навколишнього середовища
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 122 Комп'ютерні науки та інформаційні технології
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматизованих систем моніторингу навколишнього середовища

Перелигін Б.В.

“ 04 ” листопада 2017 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

ЗВОНАРЬОВУ ОЛЕКСІЮ ЮРІЙОВИЧУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка та дослідження імітаційної моделі польоту радіозонда

керівник роботи Лавріненко Юліан Володимирович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від „2” листопада 2017 року № 321с
та „12” лютого 2018 року № 28с

2. Строк подання студентом роботи 01. 02. 2018 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

Характеристики існуючої системи зондування атмосфери за допомогою радіозондів

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

1. Аналіз існуючої системи зондування атмосфери за допомогою радіозондів.

2. Розробка та обґрунтування пропозицій щодо вдосконалення існуючої системи.

3. Побудова імітаційної моделі автономного польоту радіозонда.

4. Розробка алгоритму і програми реалізації моделі польоту радіозонда.

5. Результати моделювання польоту радіозонда для різних початкових умов

6. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу Презентація роботи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____ „04” листопада 2017 року _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Одержання завдання на виконання магістерської роботи	04.11.2017		
2	Пошук та підбір літератури та інших джерел інформації	09.11.2017		
3	Проведення аналізу предметної області і написання першого розділу пояснювальної записки до магістерської роботи	22.11.2017		
4	Проведення аналізу предметної області і написання другого розділу пояснювальної записки до магістерської роботи	07.12.2017		
5	Розгляд і вибір класу моделі, та написання третього розділу пояснювальної записки до магістерської роботи	24.12.2017		
6	Рубіжна атестація	27.12.2017		
7	Розробка алгоритму та програмного коду імітаційної моделі польоту радіозонда	15.01.2018		
8	Проведення дослідження і написання , формулювання висновків та пропозицій	26.01.2018		
9	Виготовлення презентації	27.01.2018		
10	Друкування пояснювальної записки	28.01.2018		
11	Одержання висновку керівника магістерської роботи	29.01.2018		
12	Проходження нормативного контролю	30.01.2018		
13	Переплетіння пояснювальної записки	31.01.2018		
14	Здача роботи ка кафедру та одержання висновку кафедри про допуск магістерської роботи до захисту	01.02.2018		
15	Перевірка на плагіат	09.02.2018		
16	Одержання рецензії	13.02.2018		
17	Здача готової магістерської роботи і документів секретарю АК	19.02.2018		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)			

Студент _____ Звонарьов О.Ю.

Керівник роботи _____ Лавріненко Ю.В.

АНОТАЦІЯ

Тема магістерської роботи «Розробка та дослідження імітаційної моделі польоту радіозонда».

Актуальність магістерської роботи полягає в необхідності розробки програмного забезпечення, яке здійснює імітацію польоту моделі радіозонда для дослідження в різних умовах.

Мета роботи – дослідження та розробка імітаційної моделі радіозонда та пошук шляхів вдосконалення системи радіозондування.

Задачі:

- розглянути проблеми сучасного радіозондування;
- запропонувати технології, які можуть вплинути на розвиток радіозондування;
- побудувати імітаційну модель польоту радіозонду.

Для реалізації поставленої мети були вирішені наступні питання: проведено дослідження та аналіз існуючих типів радіозондів; був проведений огляд сучасних рішень і варіантів вдосконалення радіозондів; визначені вимоги до імітаційної моделі польоту радіозонда; вибраний програмний комплекс для розробки моделі. Практична цінність магістерської роботи полягає в тому, що розроблена модель може бути використана для дослідження поведінки радіозонда в різних умовах і ці данні в свою чергу можуть вплинути на розробку нового типу радіозонда.

Магістерська робота містить 64 сторінок, 9 таблиць, 20 рисунків, 25 посилань та 1 додаток.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: радіозондування, радіозонд, технології, навігація, телеметрія.

ANNOTATION

Theme of the master's work "Development and research of simulation model of flight of a weather ballon".

The urgency of the master's work is the need to develop a software that simulates the flight of a model of a radio probe for research in different conditions. The purpose of the work is the research and development of the simulation model of the radio probe and the search for ways to improve the system of radio sensing.

Tasks:

- to consider the problems of modern radio sensing;
- to propose technologies that may affect the development of radio sensing;
- to build a simulation flight simulator;

The following issues were solved for the realization of this goal: research and analysis of existing types of radio probes was carried out; An overview of modern solutions and options for improving radiosonde was conducted; defined requirements for the simulation flight simulator model; Select a software package for model development. The practical value of the master's work is that the developed model can be used to study the behavior of the radio probe in various conditions, and these data will affect the development of a new type of radio probe.

Master's thesis contains 64 pages, 9 tables, 20 figures, 25 references and 1 attachment.

KEY WORDS: radio sensing, radio probe, technology, navigation, telemetry.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	5
ВСТУП.....	7
1 РАДІОЗОНДУВАННЯ.....	8
1.1 Основні типи систем радіозондування.....	12
1.2 Проблеми сучасного радіозондування.....	21
2 РОЗРОБКА ШЛЯХІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ РАДІОЗОНДУВАННЯ.....	25
2.1 Методи відстеження радіозондів.....	43
3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ПОБУДОВИ ТРАЕКТОРІЇ РУХУ РАДІОЗОНДУ.....	54
ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	63
ДОДАТОК А Код програми.....	65

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АРЗ – Аерологічний радіозонд

АПК – Антенний перемикач

БОІУ – Блок обробки інформації та управління

БС – Базова станція

ГЛОНАСС – Глобальна навігаційна супутникова система

ДС – Діаграма спрямованості

ПЗ – програмне забезпечення

РЗ – Радіозонд

РК – Радіоканал

СРНС – Супутникова радіонавігаційна система

СР – Система радіозондування

САІ – Споживач аерологічної інформації

GPS – Global Positioning System

ВСТУП

Перші кроки в галузі досліджень високих шарів атмосфери були пов'язані з польотами вільних аеростатів. Прагнення здешевити метод досліджень, зробити спостереження більш систематичними, поліпшити їх якість і збільшити досягаються висоти висунуло ідею підйому малого повітряного кулі, що випускається в політ з автоматичним приладом без спостерігачів. Цей спосіб зондування отримав назву методу куль-зондів. Метод куль-зондів полягає в тому, що до гумового або іншої кулі, наповненому воднем і тому володіє вільної підйомної силою, підвішується легкий метеорограф. Куля випускається у вільний політ і піднімається до тих пір ,поки оболонка не лопне. Тоді метеорограф починає падати на землю. Після знаходження приладу проводиться обробка його запису. Для того щоб після розриву оболонки метеорограф опустився на землю зі швидкістю, безпечної для приладу і записи, застосовують парашути. Цій же меті служить підйом метеорограф на двох кулях. У такому випадку після розриву оболонки одного кулі метеорограф починає падати і друга куля, подібно парашута, гальмує спуск приладу. Метеорографи, що застосовувалися в методі куль-зондів, мали малоінерційні приймачі температури і вологості ,і володіли малою вагою. Легкий прилад дає можливість досягти більшої висоти, так як при тій же самій підйомній силі вимагає меншого наповнення кулі, тобто меншого розтягнення оболонки. Ідея методу куль-зондів знайшла застосування в проведенні досліджень за допомогою куль-зондів або автоматичних аеростатів, на яких піднімаються прилади не тільки для вимірювання тиску, температури і вологості повітря, а й для вивчення складу повітря, вмісту озону, інтенсивності і природи космічної радіації, електричного стану високих шарів атмосфери і т. д. Розвиток методу куль-зондів призвів до винаходу радіозонда. Метою даної дипломної роботи є моделювання польоту

радіозонду в атмосфері.

1 РАДІОЗОНДУВАННЯ

Метод радіозондів має ряд переваг у порівнянні з іншими методами зондування атмосфери. У методах дослідження атмосфери за допомогою аеростатів і літаків результати вимірювань можуть бути отримані тільки після спуску метеорографу, іноді через кілька годин після початку підйому. Крім того, ці методи не завжди забезпечують необхідні для служби погоди висоти зондування. У методі куль-зондів результати запису метеорографу можливо обробити тільки після знаходження приладу.

На відміну від цих способів, при радіозондуванні результати вимірювань стають відомими (приймаються по радіо в пункті випуску радіозонда) вже під час підйому приладу.

Незалежність отримання даних від повернення приладів дає можливість з успіхом проводити підйоми радіозондів в полярних районах, над морями і океанами (з кораблів і на островах), в пустелях і т. д. Це забезпечує регулярні дослідження вільної атмосфери в таких районах до висот, які не доступні іншим видам зондування. Крім того, радіозонди можуть бути застосовані в будь-яких погодних умовах.

Поряд з визначенням тиску, температури і вологості при підйомі радіозондів проводяться вимірювання вітру при будь-якій погоді і в будь-який час доби за допомогою радіопеленгаційної або радіолокаційної установки, а у разі прямої видимості радіозонду за допомогою теодолітних спостережень. Нарешті, додаткові пристосування дають можливість визначати висоту нижніх та верхніх хмарних шарів, обмерзання, вертикальних рухів та ін. Таким чином, за допомогою радіозонду можна здійснити цілий комплекс найважливіших аерологічних вимірювань, що поряд з іншими його перевагами і призвело до

швидкого розвитку методу радіозондов в останні роки. Винахідником радіозонда і методу його застосування і використання є видатний радянський вчений П. О. Молчанов. Він вперше здійснив ідею телевимірювань метеорологічних елементів за допомогою радіо.

Метод радіозондів полягає в тому, що до випущеної в вільний політ кулі, наповненому воднем, підвішується прилад (радіозонд), в якому приймачі метеорологічних елементів керують сигналами легкого радіопередавача, при підйомі радіозонд автоматично посилає умовні радіосигнали, відповідні показанням приладу, прийнявши ці сигнали на землі і розшифрувавши їх, отримують значення метеорологічних елементів на різних висотах [1].

Поряд з випуском у вільний політ на кулі, наповненій воднем, радіозонди можуть встановлюватися на літаках, аеростатах або інших літальних апаратах. Є радіозонди, які скидають з літака або вільного аеростата; вони виробляють зондування не знизу вгору, як зазвичай, а зверху вниз.

На відміну від метеорографа, радіозонд, крім приймачів метеорологічних елементів, має кодуєчий пристрій, що перетворює свідчення приймачів в радіосигнали, і радіоблок. Останній включає короткохвильовий або ультракороткохвильовий передавач, яке випромінює пристрій і джерело електричного живлення. Для отримання даних про швидкість і напрям вітру застосовується пеленгуючий передавач або передавач-відповідач.

Дальність дії передачі радіозонда становить близько 150-200 км, що відповідає 1,5-2 годинам його безперервної роботи.

Прийом сигналів радіозондів здійснюється за допомогою звичайних або спеціалізованих радіоприймачів і радіолокаційної апаратури. Найбільш простий спосіб прийому – слуховий, що не вимагає додаткових пристосувань у приймача. Однак автоматична реєстрація сигналів має ряд переваг перед слуховим прийомом. Переваги автоматичної реєстрації полягають у більшій об'єктивності фіксації одержуваних сигналів, а також в швидкості і зручності обробки. Поряд з повною автоматизацією застосовується також комбінований спосіб прийому,

(полу-автоматична реєстрація): в цьому способі сигнали приймаються на слух і реєструються за допомогою відповідного пристосування). Процес радіозондування здійснюється за допомогою інформаційно-вимірювальних систем, заснованих на будь-якому способі визначення просторових координат радіозонда і включають крім самого радіозонда різні пристрої для прийому і обробки інформації. В даний час в багатьох країнах світу використовуються супутникові навігаційні системи зондування. На аерологічній мережі застосовуються системи радіозондування, засновані на радіолокаційному принципі визначення координат радіозонда. Застосування радіозондів дозволило створити оперативну аерологічну мережу, а потім і принципово новий метод тривимірного аналізу атмосферних процесів, який став основою прогнозування погоди та досліджень в галузі фізики атмосфери. У 1982 р аерологічна мережу СРСР налічувала близько 200 станцій. Поява нової елементної бази (транзистори, мікросхеми) і необхідність підвищення безпеки польотів авіації призвели до створення легкого, малогабаритного і економічного радіозонда. У 1982 р був розроблений транзисторний радіозонд МАРЗ, розпочато серійне виробництво, Держстандарт СРСР атестував його як засіб вимірювань.

У 1998-2001 рр. почалося серійне виробництво нової радіолокаційної станції (РЛС) марлі, заснованої на сучасній елементній базі і принципах обробки сигналів. Станція МАРЛ виконана у вигляді одноблокової конструкції. З виробничого циклу виключені роботи з виготовлення точної механіки для системи супроводу радіозонда. В якості антени використовується активна фазована антенна решітка (АФАР). Станція МАРЛ автоматично знаходить і супроводжує зонд в польоті, видає його поточні координати, приймає і обробляє метеорологічну інформацію. З перших днів створення методу радіозондування поряд з розробками з удосконалення техніки і методики радіозондування почалися дослідження точності радіозондових вимірювань. У наступних працях вітчизняних і зарубіжних вчених розвивалися

метрологічні основи аерологічних вимірювань і методу радіозондів як специфічного методу вимірювань. Розроблялися і з успіхом використовувалися в практиці, в тому числі і при міжнародних порівняннях радіозондів, різні оригінальні методи визначення випадкових похибок вимірювань, такі як метод потрійного контролю, метод спарених випусків і аналізу структурних функцій. Розвивалися математичні моделі взаємодії датчиків з навколишнім середовищем. Найбільшу увагу протягом всієї історії розвитку радіозондування приділялося вивченню радіаційних похибок вимірювання температури. В результаті були зроблені оцінки (в основному граничні) випадкових похибок вимірювань при радіозондуванні. Систематичні складові похибки вимірювань температури і похибки вимірювань вологості оцінені досить умовно. Паралельно з науковими дослідженнями і розробкою апаратури йшла велика організаційно-методична робота на аерологічній мережі, спочатку в Головної геофізичної обсерваторії, а з 1940-х років в ЦАО. Таким чином, з кінця ХХ століття радіозондування на аерологічній мережі проводиться за допомогою приладів, що мають близькі і регламентовані (для умов виробництва) технічні характеристики. Терміни зондування і правила його виконання, оформлені у вигляді відповідних нормативних документів, єдині для всієї мережі. В квартирі регулярно повірка контрольно-вимірювальних приладів аерологічних станцій. Радіозонди проходять державні випробування як засоби вимірювальної техніки, результати вимірювань виражаються в узаконених одиницях. Оцінюються на доступному для свого часу рівні похибки вимірювань. В цілому можна констатувати, що на аерологічній мережі до кінця ХХ століття досягнуто однаковість виконання вимірювань і створені передумови для забезпечення їх єдності. Такий рівень метрологічного забезпечення аерологічних вимірювань відповідав стану радіозондування в найбільш розвинених зарубіжних країнах. Наземне обладнання аерологічних станцій – аерологічної реєстраційно-обчислювальний комплекс, або більш коротко РЛС, радіотеодоліт або будь-яка навігаційна система – забезпечує супровід

радіозонда в польоті, визначення його координат (і тим самим вимір висоти самого зонда і параметрів вітру), прийом і реєстрацію радіотелеметричних сигналів. До складу наземного обладнання входять також пристрої для обробки сигналів радіозонда, підготовки і передачі споживачам аерологічної повідомлення[2].

1.1 Основні типи систем радіозондування

В даний час у аерологічній мережі діють основні радіолокаційні комплекси АВК-1, АВК-1М, а також РЛС нового покоління МАРЛ і «Вектор-М». Нові радіолокатори мають невелику, в порівнянні з АВК, вагу, легко монтуються на даху будь-якого будинку, мають низьке енергоспоживання від звичайної мережі 220 В, 50 Гц (0,5 ... 1,0 кВт) і малу випромінюючу потужність. Обидві станції працюють в міжнародному діапазоні частот 1680 МГц. Технічні характеристики нових комплексів в цілому задовільні (табл. 1.1) . Однак для надійного досягнення необхідних висот в 35 ... 40 км і високої якості зондування необхідно забезпечення належного стану сервісного обслуговування. Збільшення потенціалу станцій за дальністю, можливо, потребуватиме їх деякої доробки.

Таблиця 1.1 - Основні технічні характеристики РЛС

Характеристика	АВК-1	МАРЛ	«Вектор-М»
Робоча частота, МГц	1782±8	1680±8	1680±8
Дальність автоматичного супроводження, км	До 300	0,1...200	0,2...200

Тип антени	Дзеркальна	АФАР	АФАР
------------	------------	------	------

Продовження таблиці 1.1

Характеристика	АВК-1	МАРЛ	«Вектор-М»
Межі повороту ДНА,град.: в гориз. площині в верт. площині	± 360 10...180	± 360 -10...+100	-10...+140
Ширина ДНА, град., не більш: в горизонт. площині в верт. площині	6 ± 1	9 6	20 за рівнем 0,5 6..6,5 за рівнем 0,5
Потужність передаючої частоти АФАР, Вт	1...25	0,115	0,15...0,3
Тривалість імпульсу, мкс, не більш: в ближній зоні в дальній зоні	0,5 1,2	0,5 1...1,1	0,5 1,2
Електроживлення,В/Гц	220(3 фази)	220/50	220/50
Споживана потужність ,кВт: середня пікова	10	0,15 0,5	0,2 0,5

Порядок величини середньоквадратичної похибки обчислень ,не більш:			
температура, град.	0,1	0,1	0,1
вологість,%	1,0	1,0	1,0
швидкість вітру ,м/с	1,0	1,0	1,0
напрямок вітру, град.	1,5	1,5	1,5
атмосферний тиск, гПа	0,5	0,5	0,5
Загальна маса, кг	3300	150	150

Типи використовуваних в даний час у аерологічній мережі радіозондів: малогабаритний аерологічної радіозонд МРЗ-3А, (1780 МГц), МРЗ-3АТ (1680 МГц), малогабаритний аерологічної радіозонд МРЗ-3А* (1780 МГц) МРЗ-3А* (1680 МГц), малогабаритний аерологічної радіозонд мережевий АК2-01А (1780 МГц), АК2-01М (1680 МГц), радіозонд підвищеної точності АК2-02АО, (1780 МГц), АК2-02МО (1680 МГц), радіозонд підвищеної точності РФ-95 (1780 МГц).

За допомогою представлених радіозондів вимірюються вертикальні профілі температури і відносної вологості повітря, а також параметрів вітру від рівня землі до висот 30 ... 35 км. Їх технічні та деякі метрологічні характеристики представлені в табл. 1.2. Як видно з табл. 1.2, всі представлені типи вітчизняних радіозондів затвержені Федеральним агентством з технічного регулювання і метрології як типи СІ з однаковими метрологічними характеристиками (МХ) у всіх мережевих радіозондів і відповідно у обох типів радіозондів підвищеної точності (все для нормальних умов) [2].

Однак якість радіозондів і рівень метрологічного забезпечення їх виробництва підприємствами-виробниками істотно розрізняються. Метрологічний контроль виробництва радіозондів, який раніше здійснювали територіальні органи Держстандарту, в даний час відсутній. Це призводить до великого промислового браку, порушенню

репрезентативності спостережень, а також не сприяє розвитку і вдосконаленню аерологічної техніки. Для ефективного використання радіозондів підвищеної точності на аерологічній мережі необхідно розробити відповідну методику виконання зондування з їх допомогою, а також атестувати радіозонди підвищеної точності в якості зразкових засобів вимірювань.

Метрологічний контроль виробництва радіозондів, який раніше здійснювали територіальні органи Держстандарту, в даний час відсутній. Це призводить до великого промислового браку, порушенню репрезентативності спостережень, а також не сприяє розвитку і вдосконаленню аерологічної техніки.

Таблиця 1.2 - Технічні та метрологічні характеристики радіозондів

Характеристика	МРЗ-3А	МРЗ-3А*	АК2-01 (мережевий)	АК2-01 (підвищеної точності)	РФ-95
Наявність сертифікату	+	+	+	+	+
Тип датчику температури	ММТ-1	ММТ-1	ММТ-1	СТ8103С5	
Основна похибка, °С	1,8	1,8	1,8	1,0	1,0
Постійна часу датчику температури, с, на висоті 0...30 км	8..36	8..36	8..36	2...16	
Тип датчику вологості	СДД	НІН-4000	НІН-4000	НІН-4000	
Основна похибка датчику вологості, %	15	7	7	7	7
Постійна часу датчику вологості, с,					

на висоті:					
0...2 км	3				
3...5 км	60			6	
6...8 км	100			25	
9...10 км	180			60	
11...12 км	300			95	

На рис.1.1 представлені типи радіозондів, які використовуються по всьому світу, а в табл.1.3 кількість станцій та країни поширення цих радіозондів. Данні були взяті з сайту ВМО і ми можемо побачити, що найбільш поширеним є радіозонд Vaisala RS92, вироблений у Фінляндії.

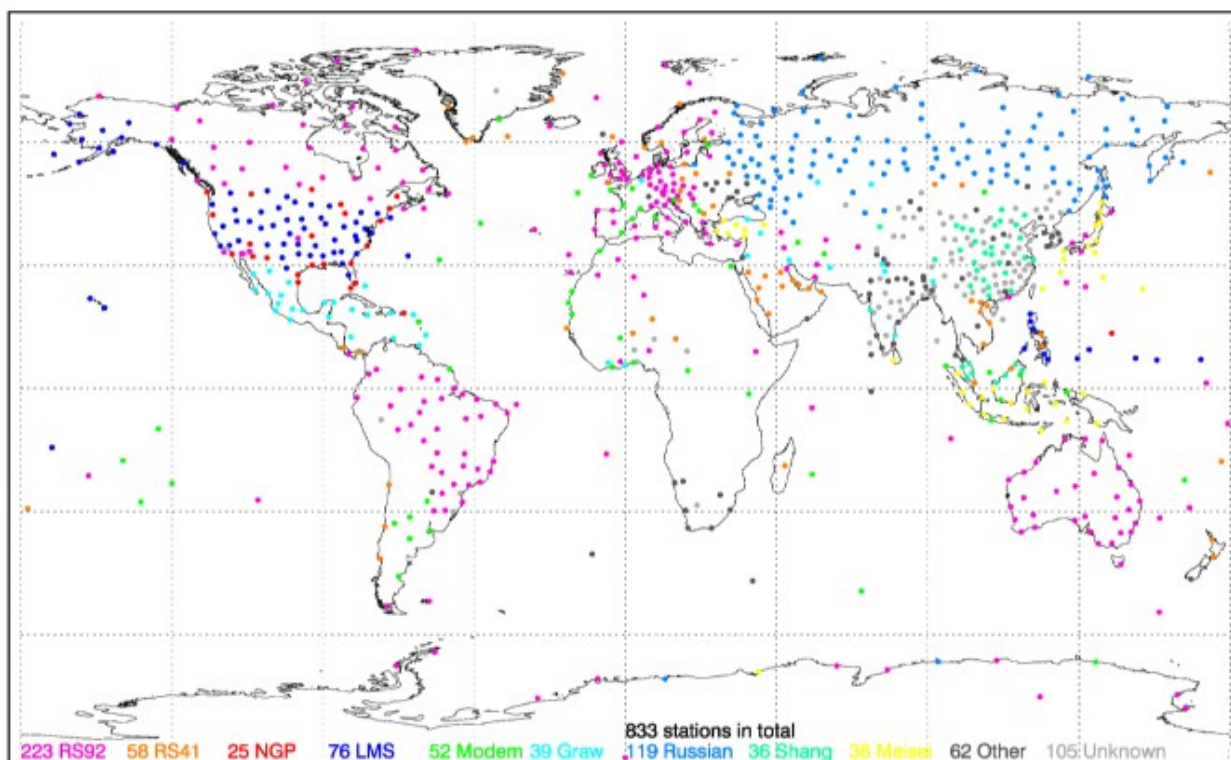


Рисунок 1.1 - Найпоширеніші типи радіозондів

Таблиця 1.3 – Типи зондів та їх поширення у різних країнах

Тип,Виробник	Номера типів	Поширення	Кількість станцій
RS92,Vaisala,Фінляндія	14,79,80,81	Широке поширення	223
RS92-NGP,Фінляндія/США	52	США	25
RS41,Vaisala,Фінляндія	41,42,24	Широке поширення	58
DFM-09,Graw,Германія	17	Мексика,Індія	39
M10,Modern,Франція	77	Широке поширення	52
LMS6,LMS,США	82,11	США,Тихоокеанський регіон	76
Росія,різноманітні	27-29,53,58-62,69,88-90	Росія,Казахстан	119
Meisei,Японія	22,30,35,55	Японія,Індонезія,Турція	38
GTS1,Шанхай,Китай	32	Китай,Малайзія	36
Інші			62

На даний час за статистикою ВМО найбільш стабільні результати радіозондування дають зонди Vaisala ,а саме новий тип RS41-SG(рис.1.2). Він має дуже точні телеметричні показники та високу якість.



Рисунок 1.2 – Радіозонд Vaisala RS41-SG

Датчик температури радіозонда Vaisala RS41, що використовує лінійну резистивну платинову технологію, володіє підвищеною стабільністю. Невеликий розмір датчика зменшує помилки внаслідок сонячного випромінювання і гарантує швидкий відгук. Датчик температури RS41 також забезпечує ефективний захист від охолодження випаровуванням-феноменом, іноді виникаючого при виході радіозонда з верхньої межі хмари.

Датчик вологості радіозонда Vaisala RS41 об'єднує чутливі елементи вологості і температури, що гарантує унікальні можливості. Перед запуском автоматичне відновлення властивостей датчика вологості ефективно видаляє хімічні забруднення і забезпечує виняткову точність вимірювання вологості. Вбудований датчик температури використовується для компенсації впливу сонячного випромінювання в реальному часі, що дає високу точність вимірювань. Функція обігріву датчика забезпечує активний і ефективний спосіб захисту від обмерзання при проходженні

радіозонда через шари з умовами замерзання. Датчик вологості дуже точний по всьому діапазону вимірювань і швидко реагує при виявленні малорозмірних структур атмосфери[3].

Наземна перевірка RS41 включає кілька функціональних перевірок: перевірку температури, відновлення властивостей датчика вологості, перевірку вологості і настройку параметрів радіозонда. наземна перевірка проводиться до запуску, для цього радіозонд поміщається в пристрій наземної перевірки RI41, яке легко управляється за допомогою ПО MW41. Для включення живлення радіозонда і передачі даних під час наземної перевірки в пристроях для наземної перевірки використовується бездротовий канал зв'язку ближньої дії. Бездротовий канал зв'язку заснований на RF-технології в діапазоні близько 4 см. Перевірка вбудованого датчика температури включає порівняння показань температурного елемента датчика вологості і самого датчика температури, що робить функціональну перевірку більш достовірною.

Завдяки новій конструкції датчика вологості радіозонд може створювати фізичний еталон найменшої вологості більш послідовно, ніж це можливо з допомогою поглиначів вологи. Датчик може вимірювати відхилення вимірювання вологості при 0% відносної вологості (фізичний нуль) і відповідним чином виконувати точну настройку вимірювання вологості.

Вітер, висота і тиск виходять з вимірювань швидкості та місцезнаходження GPS-приймача RS41. Висота і тиск розраховуються з кодів визначення координат супутника в поєднанні з диференціальними поправками від наземної станції MW41. При обчисленні тиску також використовуються температура і вологість від радіозонда. Вітер розраховується незалежно на підставі зміни частоти сигналу супутника.

Радіозонд Vaisala RS41-SG перевірений на передачу даних від

радіозонда на приймач на відстань до 350 км. Це досить для будь-яких операцій зондування. Надходження даних у час зондування гарантовано передачею цифрового коду з корекцією помилок і виявленням помилок телеметрії. Завдяки вузькосмуговому тракту в метеорологічній полосі частот доступно більше число каналів[4].

Датчики температури і вологості радіозонда Vaisala RS41 відкалібровані за стандартами, що відносяться до стандартів СІ. Похибки вимірювань розраховуються відповідно до рекомендацій Об'єднаного комітету по посібникам в області метрології, 100: 2008.

За допомогою розмотувача стріла датчика радіозонда автоматично встановлюється в ідеальне положення для зондування. Оскільки розмотувач відділений від радіозонда, куля-пілот і розмотувач готуються заздалегідь, що спрощує підготовку до запуску.

Система RS41 має послідовний інтерфейс для додаткових датчиків, перш за все для під'єднання озонового інтерфейсу OIF411 до RS41. Крім того, можливе підключення інших датчиків за допомогою протоколу Xdata. Дані передаються безпосередньо або через OIF411 на радіозонд RS41 і далі на систему зондування Vaisala MW41.

Система Vaisala MW41(рис 1.3) забезпечує роботу радіозонда RS41-SG компанії Vaisala, радіозонда RS41-SGP а також радіозонда попереднього покоління RS92-SGP. Це робить систему MW41 відмінним вибором для синоптичних і дослідницьких застосувань.



Рисунок 1.3 – Система MW41

Система MW41 забезпечує плавне і економічне оновлення більш ранніх систем зондування Vaisala. Програмне забезпечення MW41 сумісно з широко використовуваними операційними системами Windows і апаратними засобами. Це означає, що воно підтримує встановлену у клієнтів ІТ-базу і зводить до мінімуму витрати на обслуговування. Крім того, є можливість підключення до існуючих автоматичних метеорологічних станцій Vaisala, що забезпечує високоточну інформацію про приземну погоду, спрощує експлуатацію і робить її менш схильною до людського фактору.

Інтерфейс користувача відділений від інших функцій програмного забезпечення і управляється з будь-якої точки в межах мережі клієнта. Наприклад, операції зондування можуть передаватися з пункту зондування на інше місце в мережі. Крім того, за допомогою комерційного веб-браузера всі користувачі мережі мають віддалений онлайн-доступ до даних зондування.

Програмне забезпечення MW41 доступно в якості стандартного пакету ПО, що включає всі функції, необхідні для виконання синоптичного зондування. Для зондування підвищеної складності можлива поставка ряду додаткових модулів - наприклад, кошти зондування озону або розширені графічні можливості. Це робить систему вкрай гнучкою. Її можна

налаштовувати під специфічні потреби пункту зондування.

Система MW41 автоматично супроводжує процес підготовки радіозонда і від користувача потрібна мінімальна кількість натискань і введів. У списку буде відображено зрозумілі індикатори стану і анімація. На допомогу оператору є також контекстно залежна довідка. Завдяки інтуїтивно зрозумілою роботі інтерфейс також прискорює процес навчання. доступні можливості конфігурації забезпечують виконання зондування простим і зрозумілим способом. У той же час для експлуатації пропонується широкий спектр можливостей індивідуальної настройки. Завдяки використанню різних груп користувачів і відповідних їм прав, оператор має доступ до певного набору функцій.

Система MW41 також легко налаштовується для роботи. інтерфейс користувача підтримує швидке налаштування параметрів пункту, включаючи створення всіх необхідних повідомлень і відправку параметрів. Більш того, система налаштовується дистанційно. Підтвердження даних зондування гарантує, що система MW41 надає дані високої якості. Система може створювати повідомлення ВМО та спеціальні текстові звіти, використовуючи підтвержені дані. Дані також доступні в форматі XML.

Роблячи підсумок, можна сказати, що ця система майже ідеальна і вітчизняні радіозонди дуже відстають від її прогресу та прогресу систем радіозондування інших європейських виробників[5].

Сучасне радіозондування неможливе без повної автоматизації процесу обробки сигналів про координатах радіозонда і сигналів радіотелеметрії. У всіх згаданих вітчизняних системах радіозондування атмосфери для обробки сигналів радіозонда використовуються персональні комп'ютери з програмним забезпеченням (ПЗ) за форматом ЕОЛ. Дане ПО управляє роботою АРВК і автоматично обробляє телеметричні дані.

Однак обробляються телеметричні сигнали за тим же алгоритмом, який був створений в 50-і роки минулого століття, коли вся

обчислювальна робота аеролога могла бути виконана тільки за допомогою логарифмічної лінійки [6].

1.2 Проблеми сучасного радіозондування

В даний час розроблена з достатнім ступенем деталізації та експериментально перевірена теорія термометричного (гігromетричного) тепло- і масообміну тіл при русі їх у вільній атмосфері. Тобто з'явилася реальна можливість при обробці результатів зондування обчислювати дійсні параметри атмосфери по виміряним їх значенням з урахуванням як досліджених МХ приладу, так і реальних параметрів навколишнього середовища безпосередньо в процесі зондування .

До точності радіозондових вимірювань пред'являються дуже високі і різнопланові вимоги. Найбільш повні вимоги до точності вимірювань при радіозондуванні атмосфери сформульовані всесвітньою метеорологічною організацією (ВМО). У табл. 1.4 та табл. 1.5 показані отримані в результаті досліджень імовірнісні характеристики похибок вимірювань температури і вологості при радіозондуванні атмосфери на аерологічної мережі.

Таблиця 1.4 - Величини систематичної $M_T \dot{\epsilon}$ та випадкової $[\sigma_T(\Delta) \dot{\epsilon}_p]$ складової, а також сумарних похибок вимірювань (з ймовірністю $K=0,95$) температури на різних висотах при радіозондуванні атмосфери, °С

Р,гПа	$M_T \dot{\epsilon}$	$[\sigma_T(\Delta) \dot{\epsilon}_p]$	$[\Delta T, \sum \dot{\epsilon}$
1000	0,1	0,50	0,1±1,0
850	0,2	0,50	0,2±1,0
700	0,2	0,55	0,2±1,1
500	0,3	0,60	0,3±1,2
300	0,3	0,70	0,3±1,4

200	-0,1	0,75	-0,1±1,5
100	-0,4	0,55	-0,4±1,1
70	-0,5	0,60	-0,5±1,2
50	-0,6	0,65	-0,6±1,3
30	-1,0	0,70	-1,0±1,4
20	-1,9	0,90	-1,9±1,8
10	-3,0	1,44	-3,0±2,5
5	-5,9	1,25	-5,9±3,8
3	-8,8	2,50	-8,8±5,0

Таблиця 1.5 - Сумарні похибки (з ймовірністю $K=0,95$) вимірювань вологості при радіозондуванні атмосфери

$P, \text{гПа}$	$[\tilde{\Delta}\varphi, \sum_p \dot{t}, \%$	$[\tilde{\Delta}d, \sum_p \dot{t}, ^\circ\text{C},$ в одиницях точки роси
1000	1±19	0,2±6,0
850	2±19	0,5±5,7
700	5±19	1,0±5,5
500	8±24	1,6±5,4
300	15±31	2,3±5,9
200	44±19	12±7,6
100	23±19	8±7,6
70	19±18	7±7,6
50	18±18	7±7,6
30	16±17	7±7,6
20	16±16	7±7,6
10	16±15	7±7,6
5	13±15	7±7,6
3	10±14	7±8,7

Як видно з таблиць, ці похибки значні як по температурі, так і по вологості, а при вимірюванні вологості вище 5...7 км просто неприйнятні.

Для висот вище 26 км є тільки теоретичні розрахунки похибки вимірювання температури, які, безумовно, потребують експериментальної перевірки.

Зіставлення отриманих оцінок похибок систем радіозондування "Метеорит 2" – МАРЗ, АВК-1 – МРЗ-3А (МРЗ-3А *) і МАРЛ – МРЗ-3А (МРЗ-3А *) з вимогами ВМО показує, що точність радіозондування на вітчизняній аерологічній мережі поки ще далека від граничних значень, але в досить великому діапазоні висот не виходить за межі, що визначають практичну цінність даних про температуру і вологість для вивчення і прогнозу атмосферних процесів мезо- і синоптичного масштабів.

Показання у табл. 1.4 і табл. 1.5 середні величини систематичних складових похибок вимірювань температури і вологості характеризують зміщення результатів, одержуваних системою радіозондування як типом, і тому не можуть використовуватися в якості виправлень при конкретних випусках радіозондів. Таким чином, в даний час радіозондування на аерологічній мережі проводиться за допомогою приладів, що мають однакові і нормовані характеристики. Терміни радіозондування і правила його виконання, оформлення результатів у вигляді відповідних документів єдині для всієї мережі. Ведеться регулярний моніторинг роботи мережевих АРВК і перевірка контрольно-вимірювальних приладів аерологічних станцій.

Отже, для подальшого розвитку вітчизняної аерології в найкоротший час необхідно вирішити такі завдання:

1)

Точність вимірювань і якість даних аерологічної зондування поки відстає від лідируючих позицій і перспективних вимог ВМО. Необхідно впроваджувати нові сучасні датчики температури і вологості, а також переробити ПО обробки даних радіозондування на основі врахування метрологічних характеристик радіозондів і конкретних умов проведення вимірювань.

2) Організувати сервісне обслуговування аерологічної техніки.

3) Забезпечити приплив нових кадрів (в першу чергу проблема стосується інженерів по радіолокації).

4) На аерологічних станціях замінити застарілі ПЕОМ, комплектуючі до яких вже не випускаються і на які не можна поставити сучасне програмне забезпечення.

5) Необхідно розвивати як в технічному, так і в методичному плані систему оперативного моніторингу якості радіозондування.

6) Потрібно вже сьогодні приступити до розробки системи зондування нового покоління. Такою системою може бути тільки навігаційна система радіозондування з використанням супутникових систем GPS і ГЛОНАСС [7].

2 РОЗРОБКА ШЛЯХІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ РАДІОЗОНДУВАННЯ

Загальною проблемою виробництва і експлуатації СР атмосфери є створення високоточних систем визначення координат АРЗ, недорогих конструкцій аерологічних радіозондів, що забезпечують вимір метеорологічних параметрів атмосфери з необхідною точністю, надійну передачу інформації з борту АРЗ на наземну станцію в оперативному радіусі дії СР.

Відомий GPS-зонд який не оброблює кодовий сигнал, а ретранслює його на наземний приймач.

Прилад для вимірювання швидкості вітру, приймач якого обробляє сигнали супутникової навігаційної системи GPS без використання широкосмугових кодів. Цей прилад ігнорує двофазний код і виділяє тільки несучі частоти сигналів всіх «видимих» приймальною антеною супутників. Використовуються два таких приймача. Один приймач розташовується на землі, в місці, з відомими координатами (широта і довгота) . Інший приймач розміщується на балонному аерологічному радіозонді і запускається в

атмосферу. Передавач телеметрії на борту зонда, пов'язаний з GPS-системою, передає сигнал, що містить інформацію про несучі частоти супутників GPS, на приймач сигналів телеметрії розташований на землі. Сигнали з виходу приймача телеметрії і локального, який не обробляє кодовий сигнал GPS-приймача надходять на групу стежущих фільтрів. Відфільтровані сигнали оцінюються для вимірювання різниці між несучими частотами локального GPS-приймача і частотами GPS-приймача зонда, викликані швидкістю переміщення зонда щодо базового приймача, тобто тут спостерігається доплеровський ефект. Швидкість вітру обчислюється виходячи з вимірних доплеровських зсувів GPS-приймача зонда і відомих координат супутників GPS. Швидкість зонда обчислюється у вигляді трьохкоординатного просторового вектора. Цей вектор може бути інтегрований, для отримання координат X , Y і висоти Z від точки запуску зонда. Відомий метод і апаратура для стеження за місцем розташування і швидкістю приладів, що знаходяться в повітрі.

Визначається метод і система стеження, принаймі, за одним рухомим об'єктом, таким, як перебуваючий у повітрі метеорологічний прилад, з розташованою на землі станцією стеження шляхом перехоплення широкосмугових сигналів, які передаються супутникам, в яких кодова послідовність не відома. Метод і система включають в себе схему приймача на об'єкті, що рухається, яка стискає широкосмугові сигнали в вузькосмуговий сигнал, видаляє всі частотні зрушення за допомогою еталонного генератора зі зміщеною частотою, формує вузькосмуговий аналоговий сигнал, що модулює і передає його на базову станцію, в якій виконується переклад сигналу в спектральну область і отримані спектральні складові порівнюються з синтезованими спектральними величинами, щоб ідентифікувати кожен супутник, оцінюється зсув частоти еталонного генератора, а також визначаються координати і швидкість рухомого об'єкту [8].

Відомий віддалений GPS-датчик і система обробки для віддаленого GPS-зондування і централізована обробка

на наземній станції для віддаленого мобільного визначення місця розташування і швидкості. Приклад здійснення даного винаходу – система радіозондування, що включає в себе цифровий буфер знімка сигналів GPS і послідовний комунікаційний контролер для передачі кадрів повідомлень, які формуються комбінацією цифрових даних з буфера знімка сигналів GPS і оцифрованих метеорологічних даних, отриманих пристроєм вимірювання вологості, температури і тиску. Кадри повідомлення передаються з порівняно низькою швидкістю по метеорологічному радіоканалу на наземну станцію. Вся традиційна цифрова обробка GPS -сигналів головним чином виконується на наземній станції, включаючи відновлення несучої частоти, захоплення псевдовипадково-шумового коду, виділення псевдодальностей, виділення ефемеридної інформації, збір альманаху, вибір супутників, обчислення навігаційного рішення і диференціальні поправки. Крім того, наземна обробка включає в себе фільтрацію Калмана обчислення швидкості вітру . Відома система GPS-стеження. Недорога система стеження, яка використовує супутники Глобальної системи позиціонування (GPS), придатна для застосування в прикладних задачах, в яких задіяні радіозонди, радіогідроакустичні буйки і інші рухомі об'єкти. Система стеження включає в себе датчик, встановлений на кожному об'єкті, який в оцифровує сигнали GPS-супутників, і записує їх у буфер даних. Потім ці цифрові вибірки передаються, з меншою швидкістю, ніж ці сигнали GPS-супутників були оцифровані, по телеметричному каналу зв'язку, чергуючись з іншими телеметричними даними об'єкта. Ці дані GPS обробляються обчислювальною робочою станцією, яка обчислює координати і швидкість датчика на момент вибірки (оцифровки) сигналу. Буфер даних датчика періодично оновлюється, а на робочій станції періодично перераховуються координати і швидкість датчика. Крім цього робоча станція обчислює диференціальні поправки, щоб допомогти виявити сигнали і підвищити точність визначення координат[9].

Технічною задачею винаходу є підвищення точності визначення координат аерологічної радіозонда і забезпечення надійної передачі

інформації з борту АРЗ на наземну станцію в оперативному радіусі дії СР. Для вирішення поставленого завдання пропонується система радіозондування, що містить N навігаційних супутників системи GPS, аерологічної радіозонд (АРЗ) з приймачем навігаційних сигналів системи GPS і передавачем координатно-телеметричної інформації, наземну базову станцію, забезпечену першою і другою приймальними антенами і містить блок обробки інформації і управління, що відрізняється тим, що в неї введено M навігаційних супутників системи ГЛОНАСС, аерологічний радіозонд (АРЗ) додатково забезпечений приймачем сигналів системи ГЛОНАСС, базова станція забезпечена третьою антеною, антенним перемикачем і блоком передачі метеорологічної інформації з наступними сполуками: навігаційні сигнали систем GPS і ГЛОНАСС по першому і третьому радіоканалах пов'язані з першим і другим входами аерологічного радіозонда; навігаційні сигнали системи GPS по другому радіоканалу пов'язані з першим входом першої антеною системи, навігаційні сигнали системи ГЛОНАСС пов'язані четвертим радіоканалом з другим входом першої антеною системи; аерологічної радіозонд (АРЗ) п'ятим радіоканалом пов'язаний з входом другої антеною системи, а шостим радіоканалом – з входом третьої антеною системи; вихід першої антеною системи інформаційної шиною пов'язаний з першим входом блок обробки інформації і управління; виходи другої і третьої антенних систем другої і третьої інформаційними шинами з'єднані з першим і другим входами антенного перемикача, вихід якого четвертою інформаційної шиною з'єднаний з блок обробки інформації і управління, перший вихід якого п'ятою інформаційної шиною з'єднаний з третім входом антенного перемикача, а другий вихід блок обробки інформації та управління з'єднаний з входом блоку передачі метеорологічної інформації. Метеорологічна система може працювати окремо за сигналами ГЛОНАСС або GPS, або одночасно за сигналами ГЛОНАСС і GPS. Перша антенна система метеорологічної системи забезпечує диференційний режим роботи, друга антенна система має широкую діаграму спрямованості і забезпечує

прийом сигналів АРЗ в ближній зоні, третя антенна система має кругову діаграму спрямованості в азимутальній (горизонтальній) площині і вузьку діаграму спрямованості в кутомістній (вертикальній) площині, а перемиканням другої і третьої антени управляє блок обробки інформації і управління за допомогою антенного перемикача. На рис. 2.1 зображена структурна схема системи радіозондування атмосфери, побудована на основі використання сигналів СРНС GPS / ГЛОНАСС. До складу СР входить: 1 – N супутників СРНС GPS / «Навстар»; 2 – М супутників СРНС ГЛОНАСС; 3 – аерологічної радіозонд, забезпечений приймачем сигналів СРНС GPS / «Навстар» і ГЛОНАСС; 4 – антена прийому сигналів СРНС в диференціальному режимі (А1); 5 – антена прийому сигналу радіозонда з широкою діаграмою спрямованості (А2) і коефіцієнтом посилення 2-3 дБ; 6 – антена прийому сигналу радіозонда з круговою діаграмою спрямованості в азимутальній площині і вузькою діаграмою спрямованості в кутомістній площині (А3) і коефіцієнтом посилення 10-12 дБ; 7 – блок обробки координатно-телеметричної інформації та управління комплексом (БОІУ); 8 – керований антенний перемикач (АПК); 9 – блок зберігання і передачі споживачеві аерологічної інформації (БПІ); 10 – наземна базова станція; 11 – споживач аерологічної інформації (САІ). Система

радіозондування атмосфери складається з базової станції (БС) (10) і аерологічного радіозонду (АРЗ) (2). Побічно в системі задіяні супутникові радіонавігаційні системи (СРНС) GPS (1), ГЛОНАСС (2) і споживач аерологічної інформації (САІ) (11). Аерологічної радіозонд (2) забезпечений на приймальний пристрій здійснює одночасний прийом навігаційних сигналів супутникових радіонавігаційних систем GPS і ГЛОНАСС надходять по радіоканалах РК1 і РК3. З отриманої навігаційної інформації і вимірних значень метеорологічних параметрів АРЗ (2) формує інформаційний координатно-телеметричний сигнал і передає його на базову станцію БС (9) по радіоканалу РК5 або РК6. У звичайному режимі роботи координатно-телеметричний сигнал АРЗ (3) надходить по радіоканалу РК5 на

антену А2 (5) з широкою діаграмою спрямованості (ДС) і по інформаційній шині 2 на антенний перемикач АПК (8). Антенний перемикач АПК (8) управляється по інформаційній шині 5 командами блоку БОІУ (7). Далі прийнятий сигнал надходить з виходу АПК (8) по інформаційній шині 4 на «Вхід 2» блоку БОІУ (7). Блок обробки і управління (БОІУ) (7) здійснює демодуляцію сигналу АРЗ (2), виділяючи з нього координатно-телеметричну інформацію, здійснює подальшу обробку даних, відображення і збереження результатів радіозондування атмосфери. Результати радіозондирования атмосфери в прийнятій формі видаються на блок зберігання і передачі споживачеві аерологічної інформації в БПІ (9). Далі координатно-телеметрична інформація по каналах зв'язку передається споживачеві метеорологічної інформації.

У диференціальному режимі роботи БС (10) приймає навігаційні сигнали СРНС GPS (1) і ГЛОНАСС (2) що надходять по радіоканалах РК2 і Рна приймальну антену А1 (4). Прийняті сигнали передаються по «інформаційній шині 1» на «Вхід 1» і обробляються в БОУ (7). У диференціальному режимі визначення координат АРЗ, отримана таким чином навігаційна інформація використовується для формування коригувальних поправок при заздалегідь відомих геодезичних координатах БС (10) до навігаційних вимірів, виконаним АРЗ. Диференційний режим дозволяє підвищити точність вимірювання координат АРЗ. Для боротьби з перешкодами методом просторової селекції, збільшення робочої дальності телеметричного радіоканалу, підвищення надійності отримання координатно-телеметричної інформації в БС (10), а також збільшення пропускної здатності телеметричного радіоканалу сигнал АРЗ, що надходить по радіоканалу РК 6, може прийматися БС (10) через антену А3 (6), яка має кругову діаграму спрямованості в азимутальній площині і вузьку діаграму спрямованості в кутомістній площині. При зниженні відносин сигнал / шум нижче допустимого значення блок БОУ (7) автоматично командами по «інформаційній шині 5» здійснює підключення антени А3 за допомогою блоку СВЧ ПК (8) і забезпечує прийом сигналу радіозонда по «інформаційній

шині 4». Запропонована система радіозондування забезпечує підвищення точності і надійності визначення поточних координат радіозонда за рахунок одночасного використання навігаційних сигналів СНРС GPS і ГЛОНАСС. За рахунок введення антени з круговою діаграмою спрямованості в азимутальній площині і вузькою діаграмою спрямованості в кутомістній площині, яка має підвищений на 8- 9дБ коефіцієнт посилення, відповідно підвищується стійкість і дальність дії системи радіозондування [6]. Оскільки для обчислення положення необхідно знати час із високою точністю, то, щоб усунути потребу в надточному годиннику, отримують інформацію з 4-х чи більше супутників, тобто, GPS-приймач використовує чотири параметри для обчислення чотирьох невідомих: x , y , z та t .

В деяких окремих випадках можна обійтися меншою кількістю супутників. Якщо заздалегідь відома одна змінна (наприклад, висота над рівнем моря човна в океані дорівнює 0), приймач може обчислити положення, використовуючи дані з трьох супутників. Також на практиці приймачі використовують різну допоміжну інформацію для обчислення положення з меншою точністю в умовах відсутності чотирьох супутників (рис. 2.1).

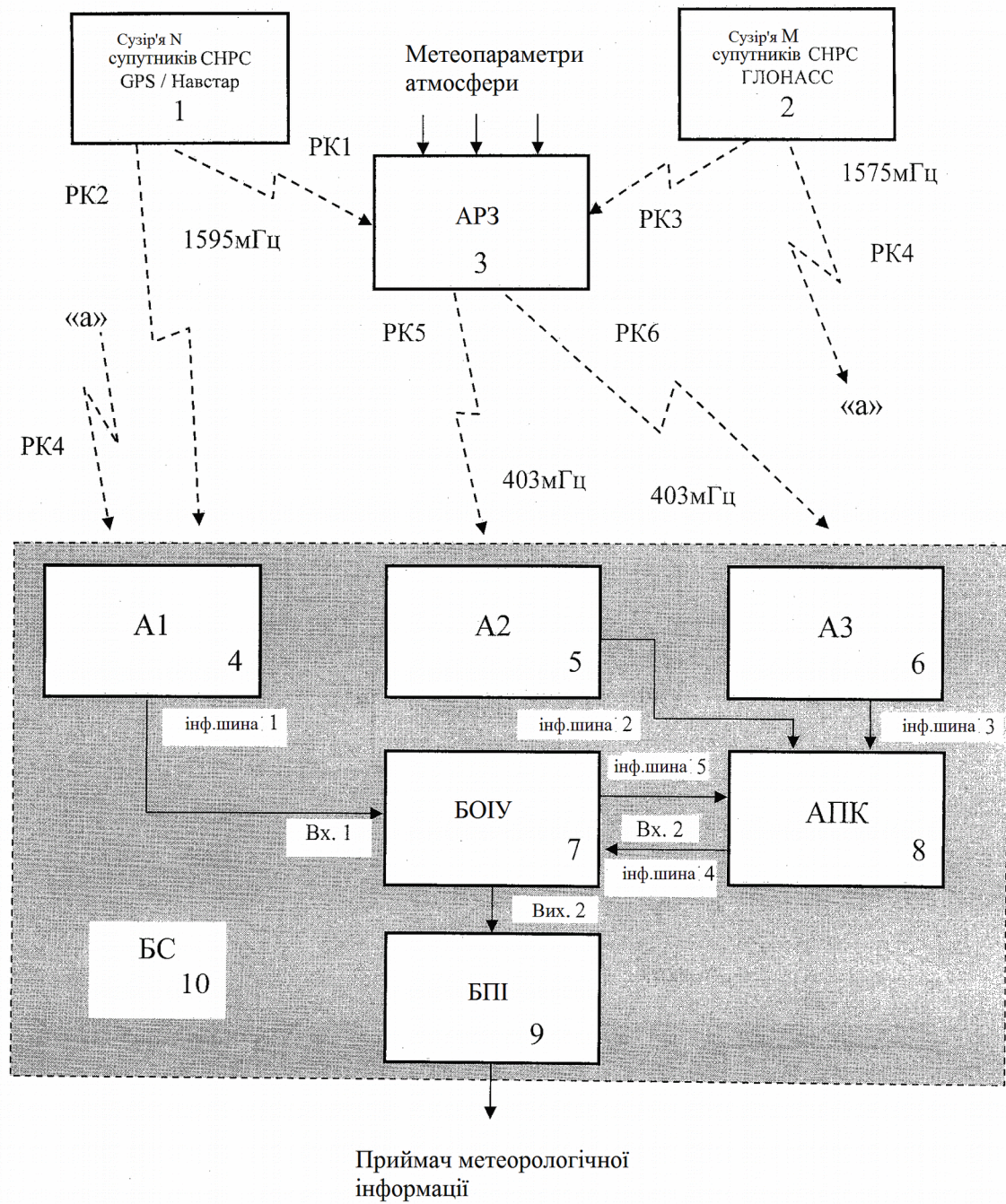


Рисунок 2.1 - Структурна схема прототипу системи радіозондування атмосфери

Загальною проблемою при проектуванні й експлуатації СР є створення високоточних систем вимірювання координат АРЗ недорогих конструктивів АРЗ, що забезпечують вимірювання з мінімальною похибкою метеорологічних параметрів атмосфери (МПА), надійну передачу телеметричної інформації з борту АРЗ на наземну РЛС в оперативному радіусі дії системи АРЗ-РЛС. Самостійною проблемою при створенні та експлуатації СР є забезпечення надійної і точної передачі телеметричної інформації про МПА з борту АРЗ на РЛС в умовах завмирання сигналу радіозонда через його розгойдування і нерівномірною діаграми спрямованості антени. Вітчизняні системи радіозондування атмосфери (СР) побудовані за кутомірно-дальньомірному методу вимірювання координат, швидкості і напрямку руху радіозонда у вільній атмосфері. Вимірювання кутових координат: азимута (β), кута місця (ϵ), а також похилої дальності (R_n у складі радіозондів свержегенеративних приймачів-відповідачів (СПП). Інтенсивне випромінювання СПП забезпечує надійну передачу телеметричної інформації та супровід по кутовим координатам. Висока чутливість до СПП радіоімпульсному запрошуваному сигналу дозволяє сформувати відповідний сигнал по дальності у вигляді короткої паузи у випромінюванні СПП при зниженій потужності передавача запитальний радіоімпульсів РЛС. Важливим в кінцевому рахунку виявляється той факт, що система визначення координат і канал передачі телеметричної інформації системи радіозондування працюють на одній несучій частоті.

Відома система радіозондування атмосфери радіолокаційного типу «Метеорит-РКЗ», що працює в діапазоні частот 1780 МГц [7,8]. Ламповий радіозонд типу РКЗ забезпечений свержегенеративним прийомопередатчиком (СПП), який спільно з наземної РЛС «Метеорит» забезпечує вимір кутових координат, похилої дальності по запитними радіоімпульс і передачу на РЛС метеорологічної інформації, яка здійснюється шляхом амплітудної маніпуляції випромінювання СПП телеметричним сигналом. Перевагою СР типу «Метеорит-РКЗ» є повна

автономність роботи, невисока вартість вимірювання МПА в оперативному радіусі дії до 250 км. Недоліками системи є, низька перешкодозахищеність СР при амплітудної модуляції телеметричним сигналом випромінювання СПП, великий інтервал передачі циклу метеорологічної інформації (циклу телеметричних частот вимірювального перетворювача АРЗ) протягом 20 секунд, що знижує надійність і точність вимірювання МПА в умовах завмирання сигналу АРЗ при його розгойдуванні. Відома система радіозондування атмосфери радіолокаційного типу АВК-МРЗ працює в діапазоні 1780 МГц [9]. Напівпровідниковий АРЗ типу МРЗ-3 забезпечений свержегенеративним прийомопередатчиком (СПП), який спільно з наземної РЛС АВК-1 забезпечує вимірювання кутових координат, визначення похилої дальності по запитними радіоімпульс і передачу на РЛС метеорологічної інформації, яка здійснюється шляхом модуляції піднесуючої (суперіруючої) частоти СПП телеметричним сигналом. Перевагами СР типу АВК-МРЗ є повна автономність роботи, низька вартість вимірювання МПА в оперативному радіусі дії до 250 км.

Недоліками системи при всіх її перевагах є значне споживання електроенергії, а також великий інтервал передачі циклу метеорологічної інформації (циклу телеметричних частот вимірювального перетворювача АРЗ) протягом 20 секунд, що знижує надійність і точність вимірювання МПА, порушує стійкість автосупроводження сигналу АРЗ по кутових координатах, ускладнює прийом і обробку телеметричного сигналу при великих шпаруватість.

Відомі однотипні малогабаритні напівпровідникові РЛС МАРЛ і «Вектор-М», які спільно з АРЗ типу МРЗ-3 забезпечують вимір кутових координат, визначення похилої дальності по запитними радіоімпульс і передачу на РЛС метеорологічної інформації, яка здійснюється шляхом модуляції піднесуючої (суперіруючої) частоти СПП телеметричним сигналом. Перевагами СР типу МАРЛ – МРЗ, «Вектор-М» – МРЗ є низьке енергоспоживання, висока автоматизація управління комплексом і обробки

інформації, повна автономність роботи, низька вартість вимірювання МПА в оперативному радіусі дії СР (до 250 км) [10].

Недоліком всіх систем при всіх їх перевагах є великий інтервал передачі циклу метеорологічної інформації (циклу телеметричних частот вимірювального перетворювача АРЗ) протягом 20 секунд, що знижує надійність і точність вимірювання МПА, порушує стійкість автосупроводження сигналу АРЗ по кутових координатах, ускладнює прийом і обробку телеметричного сигналу при великих шпаруватість. При розгойдуванні радіозонда за рахунок нерівномірності його діаграми спрямованості на виході приймального пристрою РЛС при великих віддаленнях відбувається завмирання сигналу до 10-20 дБ з періодом 2-5 сек. При цьому припиняється прийом телеметричної інформації РЛС, оскільки період одного циклу передачі телеметричної інформації радіозонда становить 20 сек [11].

Робота

відомих СР здійснюється наступним чином. Вітчизняні СР, що знаходяться в експлуатації на аерологічній мережі РЛС типу АВК-1, марля, «Вектор-М», функціонують спільно з радіозонда типу МРЗ-3. Телеметрична інформація в АРЗ формується у вигляді видеоімпульсів вторинного вимірювального перетворювача (вимірювального генератора), до якого послідовно підключаються опору опорного (каліброваного) резистора, датчика температури і датчика вологості. АРЗ передає інформацію про МПА протягом одного циклу, тривалість якого становить $T_{\text{ц}} = 20$ сек (рис 2.3). Протягом цього інтервалу часу послідовно протягом 5 сек передаються частоти каналів: частота опорного (каліброваного) каналу з періодом $T_{\text{оп}} = 0,7$ мсек і частоти телеметричних (вимірювальних) каналів температури і вологості, періоди яких змінюються в залежності від стану датчиків в межах $T_t = 0,8-60,0$ мсек, $T_u = 0,8-10,0$ мсек. Передача частоти кожного каналу відбувається протягом 5 сек. Інформація про МПА міститься в Y -параметрі, рівному відношенню періоду опорної частоти $T_{\text{оп}}$ відповідно до періодів телеметричних частот T_t , T_u . Обробка і видача метеорологічної інформації

здійснюється в ЕОМ наземної РЛС шляхом обчислення температури і вологості по величина прийнятих періодів $T_{оп}$, T_t , T_y , відомими коефіцієнтами калібрування вимірювального перетворювача АРЗ і датчиків з циклом 20 сек. При такому методі передачі телеметричної інформації виникають наступні проблеми:

1) великий інтервал часу отримання метеорологічної інформації створює проблему його стійкого прийому при завмираннях сигналу на великих віддаленнях радіозонда, оскільки інтервал завмирання сигналу зазвичай становить близько 2-5 сек. Поява хоча б одного завмирання сигналу в циклі (протягом 20 сек) передачі інформації не дозволяє обчислити Y -параметри і отримати результат вимірювань;

2) інша проблема виникає при попаданні частоти телеметричних сигналів, викликаних паразитною амплітудної модуляцією випромінювання передавача АРЗ, в смугу пропускання каналу кутовий автоматики РЛС і порушення стійкості автосупроводження АРЗ по кутових координатах;

3) третя проблема пов'язана з обмеженнями в існуючих СР на максимальне значення періоду телеметричних частот вимірювального перетворювача (ІІ) АРЗ, рівне $T_{тел.макс} = 60,0$ мсек. Період телеметричних частот ІІ визначається опором відповідного датчика АРЗ. Це обмеження не дозволяє використовувати сучасні датчики температури з малою постійною часу на основі бусінкових терморезисторів, що володіють великим опором (2-4 порядку МОм) на низьких температурах порядку мінус 80-90 ° С, тому що період телеметричних частот в цьому випадку ІІ значно перевищує допустиму величину $T_{тел.макс} = 60,0$ мсек і наземної РЛС не обробляється;

4) додаткові труднощі виникають при прийомі імпульсного телеметричного сигналу в приймальному пристрої РЛС при зміні періоду відеоімпульсів в значних межах $T_{віз} = 1,5-60,0$ мсек, оскільки змінюється їх шпаруватість, постійна складова сигналу в десятки разів, що ускладнює роботу порогового пристрою вимірника періоду імпульсів[12].

Для вирішення цього завдання пропонується система

радіозондування атмосфери з пакетною передачею інформації, яка містить аерологічної радіозонд – АРЗ і базову станцію – РЛС, блок предпольотної підготовки АРЗ, що складається з пульта предпольотної підготовки і блоку контролю і запису параметрів АРЗ з наступними сполуками: пульт предпольотної підготовки АРЗ через блок контролю і запису параметрів АРЗ з'єднаний двобічної шиною М1 з входами мікроконтролера АРЗ; до складу РЛС введені блок декодування пакетної телеінформації і блок вторинної обробки телеінформації і видачі сигналів метеопараметрів атмосфери з наступними сполуками: односпрямована шина М2 приймально-передавального пристрою РЛС з'єднана через блок декодування пакетної телеінформації з блоком вторинної обробки телеінформації і видачі метеопараметрів атмосфери, вихід якого є виходом системи; блок предпольотної підготовки виконаний окремим конструктивом і з'єднаний з аерологічними радіозондом на час введення формату пакетної інформації, також за бажанням замовника може бути вирішене в мікроконтролері програмно АРЗ; приймач аерологічної радіозонда виконаний за схемою свержегенератора і включає в себе послідовно з'єднані: формувач і модулятор суперіруючої напруги, ланцюг автозміщення і НВЧ-автогенератор, навантажений на антену. На рис. 2.2 наведена структурна схема системи радіозондування з пакетним методом передачі телеметричної інформації, на якій показано: 1 – метеорологічні параметри атмосфери (МПА), а саме: температура, тиск, вологість і ін.; 2 – аерологічної цифровий радіозонд (АРЗ); 3 – блок первинних і вторинних перетворювачів МПА (БПВП); 4 – мікроконтролер АРЗ (МК); 5 – пристрій сполучення; 6 – обчислювач; 7 – формувач і модулятор суперіруючої напруги свержегенеративного прийомопередача (СПП); 8 – ланцюг автозміщення (АС); 9 – СВЧ-автогенератор СПП; 10 – блок предпольотної підготовки (БПП) АРЗ; 11 – блок контролю і запису параметрів АРЗ; 12 – пульт предпольотної підготовки (ППП); 13 – власне РЛС; 14 – приймально-передавальний пристрій РЛС (ППУ); 15 – система управління РЛС; 16 – блок

декодування ПТІ; 17 – блок вторинної обробки ТІ і видачі МПА; А1 – АРЗ антена; А2 – антена РЛС; РК – радіоканал, М1 – двонаправлена шина зв'язку, М2 - односпрямована шина зв'язку. 11 – блок контролю і запису параметрів АРЗ; 12 – пульт предпольотної підготовки (ППП); 13 – власне РЛС; 14 – приймально-передавальний пристрій РЛС (ППУ); 15 – система управління РЛС; 16 – блок декодування ПТІ; 17 – блок вторинної обробки ТІ і видачі МПА; А1 – АРЗ антена; А2 – антена РЛС;

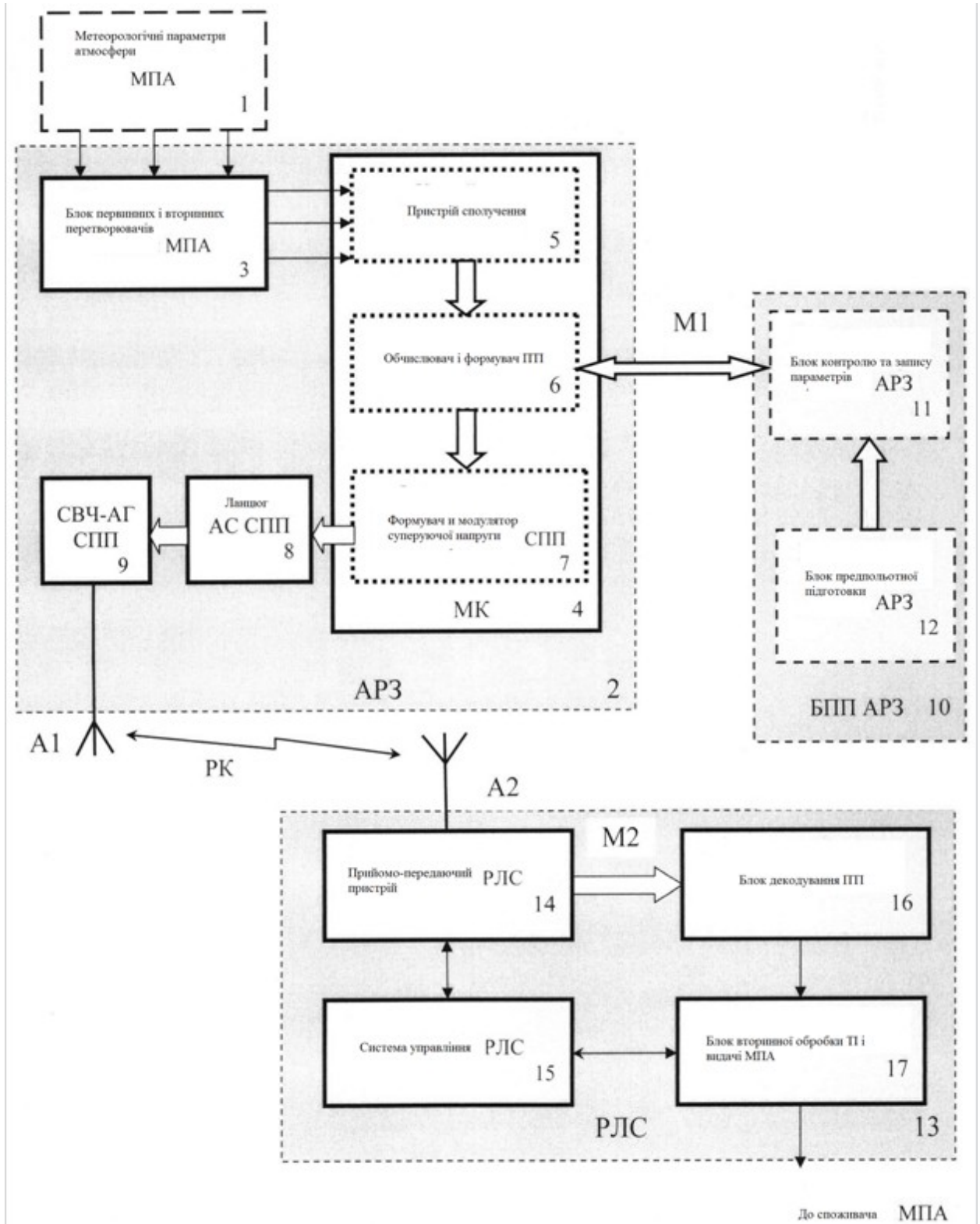


Рисунок 2.2 – Структурна схема системи радіозондування з пакетним методом передачі телеметричної інформації

Система в цілому по рис. 2.2 має наступні сполуки. Метеорологічні параметри атмосфери МПА 1 з'єднані з метеовходами АРЗ 2, вихід якого через антену А1 радіоканалом з'єднаний з антенною А2 РЛС 13; вихід РЛС 13 з'єднаний зі споживачами МПА. Блок предпольотної підготовки БПП 10 двобічної шиною з'єднаний з мікро контролером МК 4 радіозонда АРЗ 2.

На рис. 2.2 зображено часові діаграми, що пояснюють принцип передачі телеметричної інформації в серійній СР типу АВК-МРЗ. На рис. 2.3 зображено повний тимчасовий цикл Тц роботи вимірювального генератора радіозонда МРЗ-3, що включає тимчасові інтервали опорного каналу $T_{оп}$; каналу температури T_t , каналу вологості T_u , каналу тиску T_d серійній СР типу АВК-МРЗ.

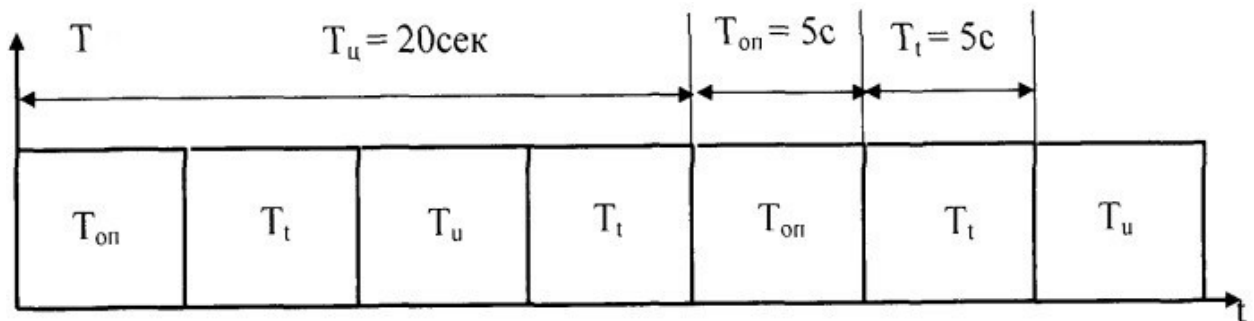


Рисунок 2.3 – Часова діаграма

На рис. 2.4 зображений фрагмент запропонованої структури цифрового пакету телеметричної інформації АРЗ в тимчасовому масштабі.

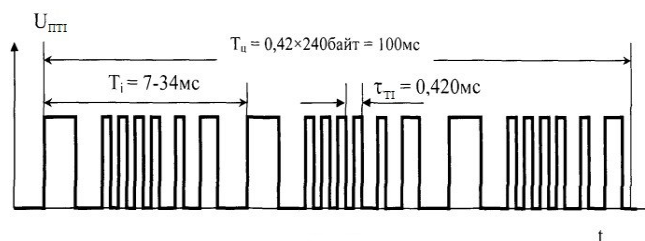


Рисунок 2.4 – Структура цифрового пакету

На рис. 2.5 приведена структура інформаційного пакету.

2 байта	2 байта	4 байта	2 байта	4 байта	2 байта	4 байта	10 байта
Преамбула	Заголовок	Період опорного каналу	Статус	Період каналу температури	Період каналу вологості	Період каналу тиску	Резервний канал

Рисунок 2.5 – Структура інформаційного пакету АРЗ

На вході СР діють метеорологічні параметри атмосфери (МПА) 1: температура, вологість, тиск. До складу аерологічної радіозонда АРЗ 2 входять: блок первинних (датчиків) і вторинних (вимірювальних) перетворювачів МПА 3, мікроконтролер АРЗ МК 4, до складу якого відповідно входять: пристрій сполучення 5, обчислювач і формувач пакетної телеметричної інформації (ПТІ) 6, формувач і модулятор суперіруючої напруги СПП 9, до складу РПП входять ланцюг автозміщення АС СПП 8, СВЧ-автогенератор НВЧ-АГ СПП 7 і прийомопередаюча антена А1. До складу пристрою передпольотної підготовки УПП АРЗ 10 входять блок контролю і запису параметрів АРЗ 11 і пульт передпольотної підготовки АРЗ 12. До складу наземної РЛС 13 входять: прийомопередаюча антена А2, прийомопередаючий пристрій РЛС 14, блок декодування ПТІ 15, система управління РЛС 16 і блок вторинної обробки телеметричної інформації (ТІ) і видачі МПА 17 споживачеві інформації МПА[13].

Блок передпольотної підготовки 10 призначений для введення інформації про первинних параметрах АРЗ

(робочої частоти передавача, калібрувальних коефіцієнтів датчиків) і контролю його функціонування перед запуском. За допомогою пульта передпольотної підготовки АРЗ 12, блоку контролю і запису параметрів АРЗ інформація завантажується через інтерфейс вводу-виводу типу RS-232 в мікроконтролер МК 4 радіозонда АРЗ 2. Метеорологічні параметри атмосфери МПА 1, наприклад температура, вологість, тиск, впливають на блок первинних (датчиків) і вторинних (вимірювальних) перетворювачів АРЗ 3, вихідні електричні сигнали якого у вигляді рівня напруги, частоти або тривалості відеоімпульсів подаються на вхід пристрою сполучення 5, з виходу якого у вигляді цифрового коду надходять на обчислювач і формувач пакетної телеметричної інформації (ПТІ) 6 4. мікроконтролера в обчислювачі 6 відбувається статистична обробка телеметричної інформації, отримана від кожного датчика протягом одного циклу вимірювання, рівного 2 секундам. У кожному циклі вимірювання забезпечується протягом 2 секунд визначення всіх МПА. Далі в процесорі МК 4 формується цифровий пакет телеметричної інформації (рис 2.4). У структуру пакету вводиться ряд службової інформації, що забезпечує синхронізацію телеметричних каналів всередині пакету і синхронізацію поточного потоку пакетів, який далі надходить на вхід СПП АРЗ (рис 2.5). СПП містить генератор і модулятор суперіруючої напруги 9, ланцюг автозміщення 8, СВЧ-автогенератор і приймально-передавальних антену А1. Сигнал випромінювань АРЗ 2, що містить телеметричну інформацію в пакетному вигляді, приймається антеною А2 з вузькою діаграмою спрямованості на земній РЛС 13. Система управління РЛС 15 забезпечує синхронізацію роботи всіх пристроїв і блоків РЛС 13. Технологія вимірювання поточних координат АРЗ, а саме похилій дальності імпульсним методом, кутових координат методом рівносигнальної зони. Радіотехнічний сигнал АРЗ оптимально обробляється в каналі телеметрії приймального пристрою РЛС і в формі цифрового потоку відеоімпульсів подається на вхід блоку декодування пакетної телеметричної інформації 14, в якому здійснюється дешифрування пакетної інформації і формування її у вигляді

канальних телеметричних сигналів в цифровій формі, пропорційних температурі, вологості, тиску. З виходу блоку декодування ПТІ 14 інформація подається на вхід блоку вторинної обробки телеметричної інформації (ТІ) 16, в якому відбувається її обробка і представлення у вигляді метеорологічних параметрів атмосфери (МПА): графічних залежностей температури, вологості, тиску від висоти підйому АРЗ, стандартних аерологічних телеграм для різних споживачів МПА. Для забезпечення необхідної точності перетворення телеметричної інформації, вироблення точного часу циклів роботи радіозонда, стабілізації суперіруючої (піднесуючої) частоти СПП і величини її модуляції, синхронізації сигналів в АРЗ 2 використовується мікроконтролер МК 4. При використанні процесора МК 4 здійснюється програмна реалізація всіх функцій для роботи радіозонда, Програмування МК 4, введення-виведення технологічної інформації при виробництві та експлуатації АРЗ здійснюється по послідовному інтерфейсу RS-232. Застосування МК в аерологічній радіозонда дозволяє здійснити сучасні більш ефективні методи модуляції параметрів частоти, що піднесе, наприклад, бінарну частотну (ЧИМ) і фазову (ФІМ) імпульсну модуляцію суперіруючої частоти [14]. Здійснення ЧІМ і ФІМ суперіруючої частоти за допомогою МК здійснюється програмно. У цьому випадку прийом і демодуляція телеметричного сигналу наземної РЛС набагато спрощується, тому що опорний сигнал, необхідний для нормальної роботи частотного або фазового детектора в каналі телеметрії приймального пристрою РЛС, досить просто синхронізується при стабільній частоті суперіруючих імпульсів. Найважливішим завданням МК 4 є формування пакетного режиму передачі телеметричної інформації. Передача пакетів проводиться в односторонньому (симплексному) режимі від радіозонда до аерологічного комплексу. Бітова інформація передається відомим методом частотно-імпульсної модуляції (ЧИМ) піднесуючої (суперіруючої) частоти СПП. Оскільки інформаційна смуга частот координатно-телеметричної інформації не перевищує; $F < 0,5$ Гц, її оновлення здійснюється з темпом не

менше один раз в дві секунди. Вноситься в радіоканал надмірність дозволяє виправляти окремі бітові помилки, які можуть виникати внаслідок впливу перешкод, і багато разів дублювати пакети для боротьби з завмираннями сигналу (в основному через просторових коливань АРЗ). Швидкість передачі даних в каналі становить 2,4 кбіт / с. Спосіб кодування біт – Самосінхронізуючийся код типу Манчестер 2. Пакет передається без змін протягом 2 сек. Після закінчення передачі поточного пакету відразу починається передача нового пакета. Тимчасових пауз між пакетами немає. Пакет складається з двох частин. Перша частина – оперативно змінюється інформація. Друга частина – додаткова інформація, яка передається набагато рідше. Завжди передається номер параметра і його значення. Структура одного з варіантів інформаційного пакета, переданого АРЗ, показана на фіг.3, фіг.4. Загальна довжина пакета дорівнює $30 \text{ байт} \cdot 8 = 240 \text{ біт}$. Для швидкості передачі 2400 біт / с це означає, що за 2 секунди передається 20 однакових пакетів. Таким чином, телеметрична інформація в пакеті передається в 200 разів швидше, ніж у відомому режимі. Така надмірність дозволяє обійтися без завадостійкого кодування. Відновлення помилкових бітів виконується шляхом кореляційного аналізу декількох суміжних пакетів. У тілі пакета передаються дані телеметричного каналу, це – первинні дані вимірювань (температура, вологість, тиск і т.п.) і додаткові допоміжні дані в резервному каналі. Важливо відзначити, що пакетний спосіб передачі інформації з борту радіозонда дозволяє використовувати в якості первинних перетворювачів метеорологічні датчики будь-якого типу, що відповідають вимогам по точності градування статичної характеристики перетворення (СХП), збереження, динамічним параметрам[15].

Для розшифрування пакетів телеметричної інформації необхідна модернізація РЛС МАРЛ, «Вектор-М» шляхом введення у вигляді блоку декодування ПТІ 15 спеціальної підпрограми, що входить до складу системного програмного забезпечення РЛС. При цьому забезпечується стандартне сполучення з блоком вторинної обробки ТІ і видачі МПА 17. Всі

інші характеристики РЛС і радіоканалу СР – ширина спектра випромінювання СПП, чутливість до запитними сигналу каналу дальності, яку випромінює потужність АРЗ і т.д. повністю відповідають вимогам.

В цілому застосування пакетної передачі телеметричної інформації в радіолокаційних СР дозволяє:

- 1) зменшити тривалість циклу передачі інформації до 1-2 сек, тим самим підвищити надійність прийому телеметричної інформації в умовах сильних завмирань сигналу АРЗ;

- 2) знизити рівень паразитного амплітудної модуляції (ПАРМ) сигналу АРЗ за рахунок більш однорідного характеру ПТІ і підвищити стійкість автоматичного супроводу АРЗ по кутових координатах;

- 3) зняти обмеження на тривалість періодів вимірювального перетворювача АРЗ і розширити можливість застосування різних типів датчиків МПА;
- 4) істотно спростити умови прийому та обробки сигналу в приймальному пристрої РЛС, тим самим підвищити надійність прийому телеметричної інформації [16].

2.1 Методи відстеження радіозондів

Основні розуміння технології GPS - одна з ключових технологій, які дозволили нам відслідковувати і відновлювати телеметричну інформацію на повітряній кулі корисних навантажень є система глобального позиціонування GPS або Система Глобального Позиціонування. GPS була розроблена Міністерством оборони США для військових цілей. Вона ніколи не була спочатку призначена для використання в цивільних цілях. У 1983 році авіалайнер місткістю 246 пасажирів (Korean Airlines Flight 007) був збитий в Росії після того, як випадково вторглися в їхній повітряний простір. Це спонукало президента Роналд Реган видати директиву, роблячи GPS у вільному доступі для використання в цивільних цілях для запобігання

майбутніх навігаційних помилок, які привели до загибелі людей. Тим не менш, важливо розуміти, що цивільні особи не мають доступу до всіх можливостей системи GPS. Більшість цивільних приймачів GPS перестане працювати на висоті приблизно 18 000 м ~ 60000 футів. Це запобігає більшості трекерів від того, щоб оновлювати координати знаходження в більш ніж 18000 м. Іноді можна отримати спеціалізовані приймачі GPS, які працюють на висоті понад 18000 м [17]. Приклад GPS приймача зображений на рис. 2.6.



Рисунок 2.6 – GPS receiver

Global Positioning System (GPS) - це супутникова навігаційна система, що складається з шести діючих в єдиній мережі 24 супутників, що знаходяться на 6 орбітах заввишки близько 17 000 км над поверхнею Землі. Супутники постійно рухаються зі швидкістю близько 3 км / сек, здійснюючи два повні оберти навколо планети менш, ніж за 24 години. Кожен супутник передає сигнали на 3-х частотах. Цивільні GPS-приймачі використовують частоту "L1", рівну 1575.42 МГц. Кожен супутник розрахований на роботу приблизно протягом 10 років. Нові супутники виготовляються і запускаються на орбіту в міру необхідності. Орбіти супутників розташовуються приблизно між 60 градусами північної і південної широти. Цим досягається те, що сигнал від хоча б від деяких супутників може прийматися повсюдно в будь-який час. Навіть на полюсах можна "побачити" супутники - правда, вони не

будуть пролітати прямо над головою. Це, звичайно, вплине на геометрію і, отже, на точність - але лише трохи. Одним з найважливіших переваг GPS перед існуючими раніше наземними системами є всепогодність. Незалежно від того, для яких цілей ви використовуєте навігацію, GPS-приймач готовий показати ваше місце розташування - і саме тоді, коли вам це треба. GPS сигнал містить "Псевдовипадковий код" (PRN - pseudo-random code), ефімерис (ephemeris) і альманах (almanach). Псевдовипадковий код служить для ідентифікації передаючого супутника. Всі вони пронумеровані від 1 до 32 і цей номер показується на екрані GPS-приймача під час його роботи. Чому ж кількість PRN-номерів більше, ніж число супутників (24)? Це полегшує обслуговування GPS-мережі: новий супутник може бути запущений, перевірений і включений в експлуатацію ще до того, як старий вийде з ладу. Такому супутнику просто буде присвоєно новий номер (від 1 до 32). Дані ефімериса, постійно передаються кожним супутником, містять таку важливу інформацію, як стан супутника (робочий або неробочий), поточна дата і час, ця частина сигналу вкрай важлива для визначення місця розташування. Дані альманаху говорять про те, де протягом дня повинні знаходитися всі GPS-супутники. Кожен з них передає альманах, що містить параметри своєї орбіти, а також всіх інших супутників системи. GPS-приймач отримує це повідомлення і запам'ятовує ефімерис і альманах для подальшого використання. Ця ж інформація використовується для установки або корекції годинника приймача. Отже, для визначення місця розташування GPS-приймач порівнює час відправки сигналу з супутника згодом його отримання на Землі. Ця різниця в часі говорить приймачу про відстані до конкретного супутника. Якщо додати до цього інформацію про відстань, виміряний до декількох інших супутників, то можна триангулювати своє місце розташування. Це в точності те, що робить GPS-приймач. Маючи сигнали від мінімум трьох супутників, він може визначити широту і довготу - це називається двовимірної фіксацією. Якщо ж супутників чотири або більше, то GPS-приймач може визначити положення в 3-х мірному просторі, тобто

вказати широту, довготу і висоту. Постійно відстежуючи ваше місце розташування протягом деякого часу, приймач також може розрахувати швидкість і напрямок вашого руху (мається на увазі "наземна швидкість" і "наземний курс"). Існує кілька факторів, що вносять похибку положення, що не дозволяє отримати найкращу точність. Перший і найбільш істотний з них є "Вибірчий доступ" (SA - Selective Availability). SA - це навмисне зменшення точності цивільних GPS-навігаторів, здійснюване Міністерством оборони США. SA призводить до зменшення точності максимум до 100 метрів (SA був відключений в травні 2000 року). Інший фактор, що впливає на точність GPS є геометрія супутників. Простими словами, поняття "геометрія супутників" означає те, як вони розташовані щодо один одного і GPS-приймача. Якщо, наприклад, приймач "бачить" чотири супутники і всі чотири розташовані в північному і західному напрямках, то супутникова геометрія погана. Причому аж до того, що приймач взагалі не зможе визначити місце розташування. Тому що всі відстані, виміряні до супутників, будуть лежати в одному глобальному напрямку. Це означає, що триангуляція буде погана і що область перетину побудованих прямих буде досить велика (тобто область ймовірного положення буде займати значний простір і точно вказати координати неможливо). В цьому випадку, навіть якщо приймач видає деякі значення координат, їх точність не буде достатньо хороша (можливо, 100 - 150 м). Якщо ж ці чотири супутники будуть перебувати в різних напрямках як зображено на рис. 2.7, то точність значно зросте. Припустимо, що вони розташовані рівномірно на всі боки горизонту - на півночі, сході, півдні і заході. Тоді, очевидно, геометрія буде дуже хорошою. Область, яка визначається перетином відповідних прямих буде невелика і ми можемо бути впевнені в правильності розрахованого розташування. У такому випадку, навіть якщо взяти до уваги дію SA, точність може бути не гірше 30 м[18].

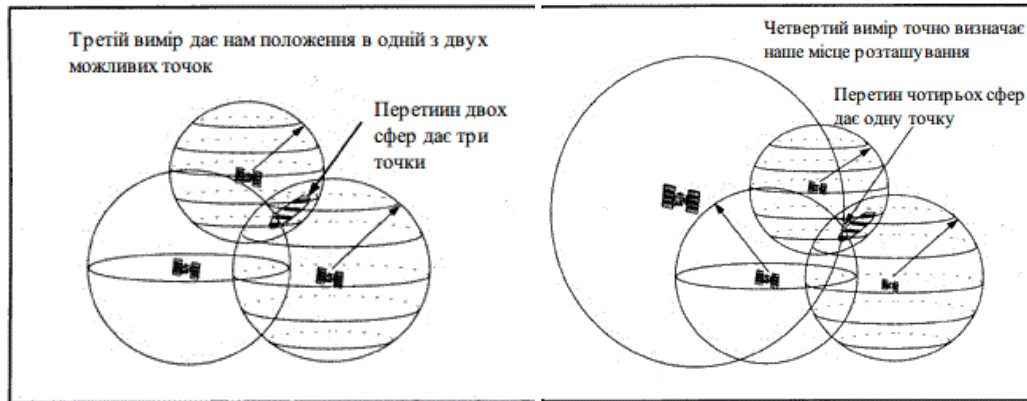


Рисунок 2.7 – Розташування супутників

Іншим джерелом помилок є передзеркалення супутникового сигналу від різних об'єктів. (В побуті ми зустрічаємося з цим явищем у вигляді появи роздвоєного зображення на екрані телевізора.): У випадку GPS передзеркалення виникає при взаємодії сигналу з будівлями або рельєфом місцевості до того, як він досягне прийомної антени. Такий сигнал потрібно більше часу для досягнення приймача, ніж прямий. Це збільшення часу змушує приймач вважати, що супутник знаходиться на більшій відстані, ніж насправді і це збільшує помилку при визначенні положення. Такі передзеркалення, якщо відбуваються, то можуть додати близько 5 м в загальну помилку.

GPS системи стали стандартним обладнанням автомобілів. Деякі базові системи, як, наприклад, виклик техдопомоги і поліції на місце аварії, вже почали впроваджуватися (водій натиснув кнопку, GPS-приймач визначив координати і передав їх разом з сигналом виклику на диспетчерський центр і - виїзна бригада вже знає, куди їхати). Впроваджуються також і інші системи, які відображають на екрані Ваше положення і допомагають прокладати маршрут через лабіринти вулиць і доріг. Для контролю пересування спецавтомобілів (наприклад, інкасаторських) і для боротьби з угонами почали використовуватися системи, постійно відстежують стан рухомого об'єкту на карті місцевості[19].

глобальний стандарт цифрового мобільного стільникового зв'язку, з поділом каналів за часом (TDMA) і частоті (FDMA). Розроблено під егідою Європейського інституту стандартизації електрозв'язку (ETSI) наприкінці 1980-х років. GSM відноситься до мереж другого покоління (2 Generation) (1G - аналоговий стільниковий зв'язок, 2G - цифровий стільниковий зв'язок, 3G - широкопasmовий цифровий стільниковий зв'язок, комутуєма багатоцільовими комп'ютерними мережами, в тому числі Інтернет). Мобільні телефони випускаються з підтримкою 4 частот: 850 МГц, 900 МГц, 1800 МГц, 1900 МГц. Залежно від кількості діапазонів, телефони поділяються на класи і варіацію частот в залежності від регіону використання. Однодіапазонні - телефон може працювати в одній смузі частот. В даний час не випускаються, але існує можливість ручного вибору певного діапазону частот в деяких моделях телефонів, наприклад Motorola C115, або за допомогою інженерного меню телефону. Двودیапазонні (Dual Band) - для Європи, Азії, Африки, Австралії 900/1800 і 850/1900 для Америки і Канади. Трьохдіапазонним (Tri Band) - для Європи, Азії, Африки, Австралії 900/1800/1900 і 850/1800/1900 для Америки і Канади. Чотирьохдіапазонний (Quad Band) - підтримують всі діапазони 850/900/1800/1900.

У стандарті GSM застосовується GMSK-модуляція з величиною нормованої смуги $BT = 0,3$, де B - ширина смуги фільтра за рівнем мінус 3 дБ, T - тривалість одного біта цифрового повідомлення. GSM на сьогоднішній день є найбільш поширеним стандартом зв'язку. За даними асоціації GSM (GSMA) на даний стандарт доводиться 82% світового ринку мобільного зв'язку, 29% населення земної кулі використовує глобальні технології GSM. У GSMA в даний час входять оператори більш ніж 210 країн і територій. GSM забезпечує підтримку таких послуг: послуги передачі даних (синхронний і асинхронний обмін даними, в тому числі пакетна передача даних - GPRS), передача мовної інформації, передача коротких повідомлень (SMS), передача факсимільних повідомлень. GSM

трекер це будь-який пристрій з підтримкою SIM-карти для відстеження радіозонду, також це будь-який пристрій який передає свої координати через сотову мережу. Трекер включає в себе смартфон з програмою для



відстеження також дуже популярні автомобільні трекери та трекери для домашніх тварин, які працюють відправляючи просте текстове повідомлення. Ці трекери не рекомендується використовувати у радіозондах тому що є велика ймовірність що він не зможе передати свої координати приземлення. Велика кількість зондів приземляється у тих місцях де обмежене або навіть відсутнє покриття. Батареї у цих трекерах не призначені для тих умов у яких знаходиться зонд і швидше за все трекер вимкнеться до того як зонд виконає приземлення. GPS – приймач у цих типах трекерів не призначений для польотів на великі висоти. Інформація на такому трекері перестане оновлюватися при польоті на висоту більш 18000 метрів. Приклад GSM – трекеру зображений на рис. 2.8.

Рисунок 2.8 – GSM – трекер

APRS - це узагальнене найменування технології і протоколу пакетного (цифрового) аматорського радіозв'язку. Протокол APRS був розроблений американським радіоаматором Бобом (Боб Брунінг, позивний WB4APR) в 1992 році. Тоді ж була і зареєстрована в США торгова марка APRS. На підставі цього протоколу реалізовані всі ті різноманіття електронних

технологій, розроблених раніше, що розробляються в даний час і використовуваних в радіоаматорській практиці. Зараз цієї технологію користуються понад 7000 радіоаматорів в світі[20].

Друга буква Р в транскрипції APRS часто розшифровується як Position замість Packet, і це не зовсім точний переклад, так як - це звукує сприйняття технології тільки до відстеження координат і погоди.

Це стандарт, що описує типи і формати повідомлень, які можуть передаватися по мережі. Формат пакета може трохи відрізнитися в залежності від середовища передачі, але зміст і призначення пакета від цього не змінюється.

Типи повідомлень:

1. Маяк (Beacon) - мабуть, саме часто використовується повідомлення. Воно містить у собі позивний станції, його координати і короткий коментар.

2. Коротке текстове повідомлення (Message) - аналог СМС, містить позивний одержувача, відправника та текст короткого повідомлення.

3. Пакет від погодної станції (WX) - містить інформацію про метеорологічні умови в даній точці (температура, тиск, вологість, сила і напрямок вітру).

Маяки і текстові повідомлення - це самі часто використовувані типи повідомлень. Є ще цілий ряд типів повідомлень, про які можна дізнатися зі стандарту. Серед них, наприклад, повідомлення про телеметрії станції, тобто можна передавати вільно визначаються параметри показань якого-небудь датчику.

Мережа складається зі станцій (рухливі або стаціонарні) та об'єктів. В мережу передається сигнал (Callsign) та координати (QTH) станції чи об'єкта. Додатково передається значок , який визначає призначення станції (автомобіль, автобус, будинок і так далі) і короткий текстовий коментар. Наприклад, я хочу знати, де зараз знаходиться мій автомобіль. Мережа якраз

і виконує функцію передачі інформації про координати станції і другом його параметри всіх зацікавлених. Як правило, станції відображаються на карті за переданими координатам. Інша станція, будучи повноцінним учасником мережі, може відправити текстове повідомлення іншій станції. Наприклад, диспетчер таксі по карті бачить авто, які найближче до потрібного місця і відправляє текстове повідомлення з адресою, куди їхати. В ідеальному випадку пакети від станції повинні потрапити в глобальну мережу Інтернет. Після цього будь-який підключений до мережі Інтернет зможе отримати інформацію про станції. Для цього існує світових APRS серверів. Завдяки інтернет, розрізнені частини радіомережі об'єднується в одну світової мережі APRS (і станції можуть зв'язатися між собою). Найпростіший варіант, коли станція має пряме підключення до мережі Інтернет (наприклад програма на смартфоні + GPS + мобільний інтернет, або програма на стаціонарному комп'ютері + підключення до інтернет). В цьому випадку виконується пряме підключення до APRS серверу і програма веде прямий прийом і відправлення повідомлень у світовій мережі APRS[21].

Добре розвинена радіомережа APRS має на увазі наявність мережу клас станції - радіоретранслятори (пакетні ретранслятори - діджіпінтери (DIGI)). Тут можна провести аналогію з базовими станціями стільникового зв'язку. Ці станції стоїть високо, чує далеко і приймає сигнали мобільних радіостанцій з рухомими об'єктами. Після прийому APRS повідомлення DIGI його ретранслює .

Крім ретрансляторів є ще клас станцій - мости (GATE) вони можуть переслати пакет з одного діапазону на інший. Наприклад, якщо у GATE є два трансивера на різні діапазони, то він може передати пакет з одного діапазону на інший.. Але у такого рішення є фінансові та технічні обмеження. Тому є ще один клас станції - гейти, які підключені до мережі Інтернет - IGATE. Саме через них пакети з радіо ефіру потрапить в світовій мережі APRS. Світові сервери APRS з'єднані між собою і обмінюються повідомленнями, які кожен з них приймає. Клієнти ці

сервера це кінцеві станції, які підключаються до світової мережі APRS безпосередньо для обміну повідомленнями, або станції IGATE, які відправляють пакети з ефіру в світовій мережі. Інші станції, до якого б сервера вони не були підключені, отримують це повідомлення. Повідомлень в світовій мережі дуже багато, тому сервери підтримують систему фільтрації за певними параметрами[22].

Хоча трекери ARPS не так надійні як супутникові вони також використовуються у відстеженні радіозонду. Контролери APRS передають своє місцезнаходження у мережу ретрансляторів і інтернет воріт (IGATE), керованих операторами радіоаматорами. Більшість трекерів APRS призначени для відстеження транспортних засобів . Їх GPS – приймачі мають таку саму проблему і не працюють на висоті більш 18000 метрів як це роблять супутникові трекери . У ARPS існує проблема GPS – приймачів та якщо зонд приземлиться далеко від аматорської радіостанції ви вже не зможете прийняти сигнал вашого трекера і не зможете виявити де приземлиться зонд. ARPS трекер зображен на рис. 2.9.



Рисунок 2.9 – ARPS - трекер

Супутникове відстеження – це безумовно кращий варіант відстеження телеметричних даних з радіозонду . Супутникові трекери мають міцну і надійну конструкцію. На відміну від мобільного телефону і APRS трекерів, супутникові трекери покладаються на мережу супутників на орбіті ,щоб отримати сигнал з їх положенням. Потім ці супутники ретранслюють сигнал на шлюз який знаходиться на землі і підключен до

Інтернету. Це дозволяє працювати трекеру майже у будь-якій точці на планеті . Поки ваш трекер має чітке уявлення про небо ,спутник на орбіті буде отримувати сигнал положення вашого трекера. Є кілька речей які потрібно мати на увазі при використанні супутникового стеження . Антена супутникового трекера завжди повинна бути спрямована в небо. Багато людей використовують пінопластові охолоджувачі, як їх корисного навантаження корпусів, які мають тенденцію до рулон на бік, або навіть з ніг на голову, коли вони приземляються . І супутник перестав отримувати сигналу трекера. При проектуванні такого трекера треба змістити центр ваги на низ і тоді при приземленні він не буде змінювати своє положення. Супутникові трекери також вимагають абонентської плати. Так само як ви платите щомісячну абонплату за Інтернет або телебачення ви також повинні сплатити щомісячну або річну плату постачальнику послуг супутникового трекера. Супутникові трекери зазвичай оновлюють свою позицію один раз кожні 5-10 хвилин[3]. Вони також не використовують спеціалізовані приймачі GPS і тому зупиняють оновлення вище 18000 метрів. Після того як повітряна куля лусне и зонд знизиться нижче зони блокування відстеження відновиться[23]. Приклад такого трекера зображен на рис. 2.10.

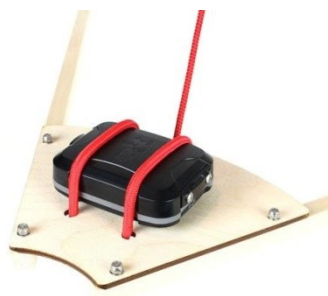


Рисунок 2.10 – Satellite - трекер

3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ПОБУДОВИ ТРАЕКТОРІЇ РУХУ РАДІОЗОНДУ

Клас моделі, яка будується у цій роботі відноситься до імітаційного моделювання. Імітаційне моделювання - метод, що дозволяє будувати моделі, що описують процеси так, як вони проходили б у дійсності. Таку модель можна відтворити в часі як для одного випробування, так і заданої їх безлічі. При цьому результати будуть визначатися випадковим характером процесів. За цими даними можна отримати достатньо стійку статистику.

Якщо спробувати визначити для імітаційного моделювання властивий йому коло проблем, то в їх числі виявляться проблеми, пов'язані в широкому сенсі з вивченням і передбаченням поведінки моделі складної системи, коли експеримент над цією системою неможливий або небажаний в реальних умовах її існування. В цілому ряді випадків імітаційна модель є єдиною альтернативою отримання інформації про поведінку об'єкта і його характеристиках. За час свого існування імітаційне моделювання проникло в багато галузей науки, серед яких вже традиційно на першому місці

виділяються економіка, екологія та військові області (в деяких моделях вони тісно переплітаються). Перераховані дисципліни можна об'єднати за деякими ознаками об'єктів їх досліджень, які характеризуються як великі системи. В останні роки імітація проникає в області розробки і застосування складних технічних систем (в першу чергу, космічних) що пов'язано з радикальним ускладненням самих цих систем, що стоять перед ними завдань, а також високою ціною ризику при неправильних діях екіпажу, оператора і т. д. Серед характерних прикладів можна привести роботу зі стикування і складанні великогабаритних розгалужених елементів орбітальних станцій, дистанційне керування планетними автоматами в умовах великої тривалості поширення радіосигналу (до 40 хвилин для Марса) і багато інших, коли прийняття рішень вимагає попереднього відтворення декількох варіантів розвитку подій і їх наслідків при різних стратегіях управління. На відміну від великих систем, які частіше орієнтовані на прогнозування і прийняття рішень, розраховані на тривалі інтервали, і засновані на інтегральних оцінках (сумарні втрати, середнє або інтервальні значення ймовірностей відмови або успіху, коефіцієнт готовності і т.п.), моделювання технічних систем вимагають дещо іншого підходу. Модель поведінки технічної системи - це, як правило, модель ситуації, опис і дослідження якої будується на основі оперативної інформації, що надійшла в певний момент часу, і вимагає прийняття єдиного альтернативного рішення протягом заданого (досить короткого) інтервалу часу. Тут критерієм прийняття рішення можуть бути ймовірні, вартісні та інші аналогічні оцінки, але вирішальну роль грає швидкий розвиток ситуації зі зміною критеріїв (хоча загальним критерієм може залишатися, наприклад, вартість обладнання космічної станції) і зворотний зв'язок по мінливих параметрами, які характеризують ситуацію[24].

Різниця в підході до моделювання великих і технічних систем накладає відбиток і на характер інтерпретації вихідної інформації при моделюванні. Якщо розглядати граничні випадки, то ймовірна імітаційна модель великої

системи може використовуватися для отримання одного однини, що характеризує, наприклад, рівень середньої рентабельності до певного році. У той же час модель детермінованої, але розгалуженою технічної конструкції з розподіленою масою, яка використовується для прийняття рішення про траєкторії її переміщення, може зажадати інтерпретації величезного масиву тривимірних координат і кутів орієнтації для безлічі елементів цієї конструкції.

Аналітичне моделювання складних систем, очевидно, має обмежені можливості, що і викликало до життя імітаційні моделі (реалізовані у формі апаратурних комплексів і програм для ЕОМ). Можуть бути виділені наступні основні класи імітаційних моделей: безперервне, дискретне, просторове. У першому випадку предметна область описується сукупністю динамічних зв'язків, що відображають розвиток процесу в часі у формі звичайно-різницевого рівняння і рекурентних співвідношень. Модель відтворює поведінку об'єкта за певний період часу; в цьому сенсі імітаційна модель є динамічною. Значення всіх змінних, що входять в імітаційну модель, обчислюються в кожен момент модельного часу. Потім, через певний інтервал на основі старих значень обчислюються нові значення змінних, і т. Д. Таким чином, імітаційна модель поширюється по певній траєкторії протягом заданого відрізка модельного часу. Вихідні аналітичні моделі - системи звичайних диференціальних рівнянь.

Другий тип моделей описує потоки випадкових подій, що проходять через складну сукупність шляхів і вузлів, і спрямований на дослідження стаціонарних, сталих процесів. Тут в якості аналітичного прототипу виступає теорія систем масового обслуговування.

У третьому випадку розглядаються процеси, що проходять в просторі (на площині або в обсязі). Вихідні аналітичні моделі - системи диференціальних рівнянь в приватних похідних, особливо часто - такий їхній клас, як рівняння математичної фізики.

Слід зазначити, що в даний час дана класифікація багато в

чому стає умовною, оскільки сучасні інтегровані засоби моделювання охоплюють як безперервні, так і дискретні, і просторово-часові процеси[25].

Розроблена програма містить вісім вхідних параметрів. Перші чотири керують значеннями змінних для керування деякими налаштуваннями програми. Наступні чотири є функціональні данні ,які використовуються для побудови траєкторії руху. Детальніше про усі вісім значень вхідних даних можливо побачити у табл. 3.1, вихідні данні у табл. 3.2.

Таблиця 3.1 - Вхідні данні

Вхідний параметр	Розмір матриці	Опис
Graph	1x1	Вмикає або вимикає побудову графіків
Fig_Num	1x5	Нумерує графіки у відповідності з введеними даними

Продовження таблиці 3.1

Display	1x1	Вмикає або вимикає відображення таблиці з вихідними даними
Random	4x3	Матриця, яка використовується для створення випадкових даних
Wind	Nx3	Змінна за розміром матриця, яка містить швидкість повітря, напрямок та висоту
Start	1x3	Матриця початкових координат у тривимірному просторі
End	1x3	Матриця кінцевих координат у тривимірному просторі
a	1x2	Матриця ,яка містить прискорення підйому

		та падіння
--	--	------------

Таблиця 3.2 - Вихідні данні

Вихідні данні	Опис
Total_Distance	Повна відстань яку пролетів радіозонд
Coordinates	Матриця, яка містить усі координати польоту

Повна траєкторія руху с початкової точки до кінцевої складається з шости частин які можливо побачити у табл. 3.3.Всього програма відображає п'ять графіків які можливо побачити у табл. 3.4

Таблиця 3.3 - Шість складових траєкторії руху

Координата №1	Стартова точка
Координата №2	Місце знаходження після першої зміни висоти
Координата №3	Після першого горизонтального руху
Координата №4	Після другої зміни висоти
Координата №5	Після другого горизонтального руху
Координата №6	Кінцева точка

Таблиця 3.4 - Опис кожного відображаемого графіку

Графік	Опис
Графік №1	Тривимірний графік відображаючий траєкторію руху з напрямками вітру
Графік №2	Двовимірний графік у X-Y площині з напрямками вітру у центрі
Графік №3	Двовимірний графік у X-Y площині та додаткові у X-Z, Y-Z
Графік №4	Двовимірний графік у X-Z площині

	та додаткові у X-Y, Y-Z
Графік №5	Двовимірний графік у Y-Z площині та додаткові у X-Z, X-Y

На рис. 3.1 та 3.2 можливо побачити таблиці які ми отримаємо у кінці роботи програми

```

+++++
Balloon Trip Outputs
.....Output.....|...Value.....|...Units..
-----
Total Distance Travelled...|...7942.2699...|...feet...
-----
+++++

```

```

+++++
Coordinates
.....X.....|.....Y.....|...Z.....
-----
...0.....|...0.....|...0.....|
...57.5604.....|...1.4437.....|...3000...
...1836.6262...|...2121.6517...|...3000...
...1865.0801...|...2134.9199...|...1000...
...1987.7526...|...2012.2474...|...1000...
...2000.....|...2000.....|...0.....
+++++

```

Рисунок 3.1 - Повна відстань яку пролетів радіозонд

Рисунок 3.2 - Таблиця координат

У програмі як вже було написано вище можливо відображення п'яти вікон з графіками. Перші два вікна унікальні та наступні три є однаковими але з різним головним графіком. Також є два спеціальних графіка які з'являться у тому разі якщо програма не зможе прорахувати траєкторію. Перший графік відображає траєкторію руху у тривимірному просторі та

напрямки вітру. Чим більша стрілка яка вказує напрямок вітру тим сильніший вітер. Приклад першого графіку можливо побачити на рис. 3.3.

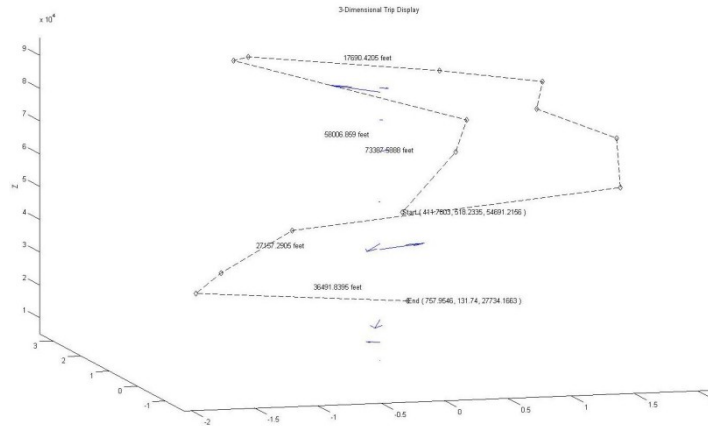


Рисунок 3.3 - Траєкторія руху у тривимірному просторі

Наступний графік це двовимірне зображення траєкторії руху у X-Y площині з видом зверху та напрямками вітру розташованими у центрі (рис. 3.4).

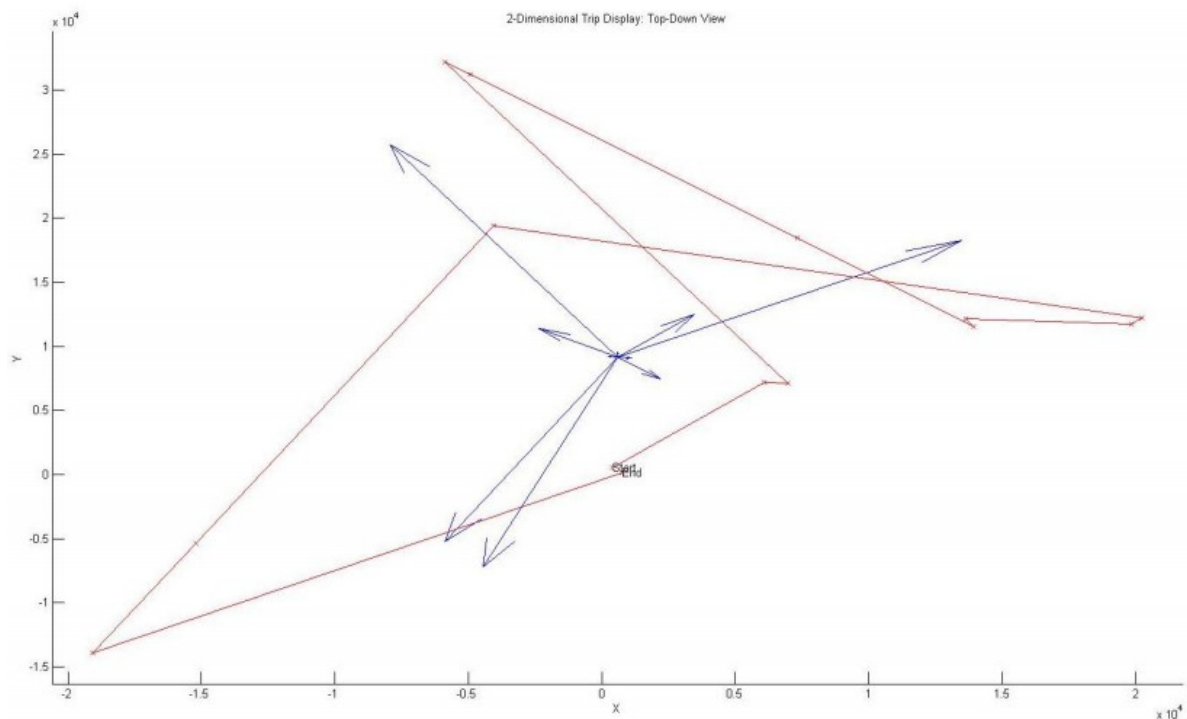


Рисунок 3.4 - Двовимірний графік у X-Y площині

Третій, четвертий та п'ятий графіки відображують три різні двовимірні зображення траєкторії руху. Третій графік відображає головним графіком двовимірний графік у X-Y площині (рис. 3.5), четвертий вид збоку у X-Z площині (рис. 3.6), п'ятий відображає вид збоку у Y-Z площині (рис. 3.7).

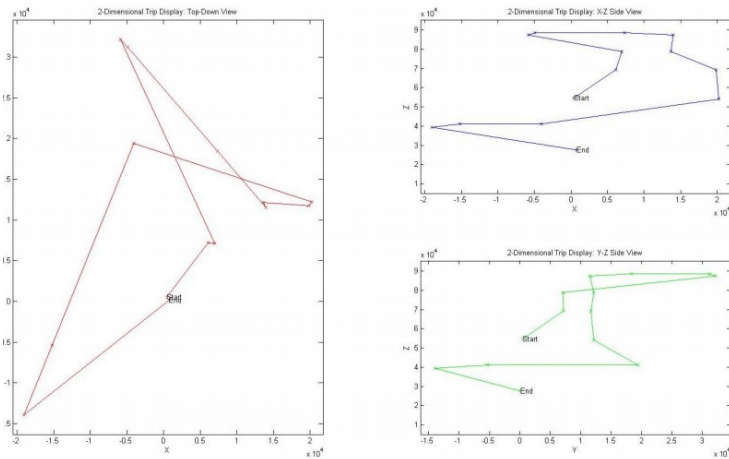


Рисунок 3.5 - Головний графік вид зверху у X-Y площині та види збоку у X-Z та Y-Z площинах

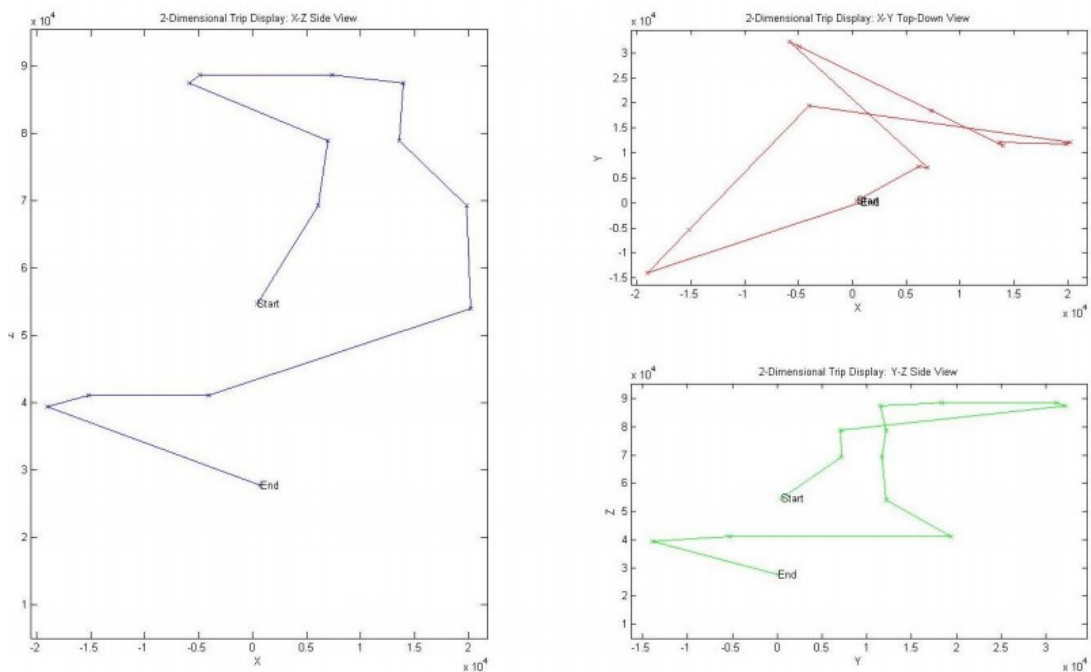


Рисунок 3.6 - Головний графік вид збоку у X-Z площині

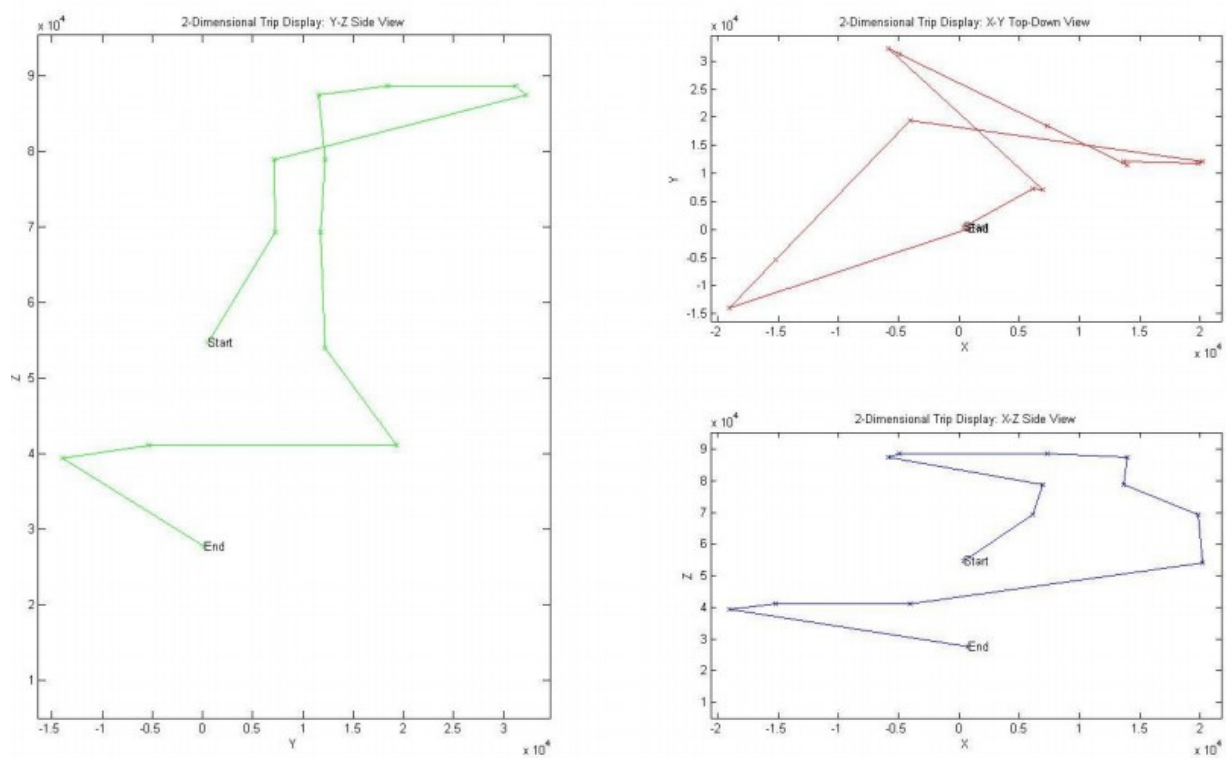


Рисунок 3.7 - Головний графік вид збоку у Y-Z площині

ВИСНОВКИ

У данній магістерській роботі був проведений аналіз різних типів радіозондів, а також перспектив розвитку. Були розглянуті проблеми сучасного радіозондування. Було з'ясовано, що сучасне радіозондування не відповідає вимогам у точності вимірювань. Перспективи подальшого розвитку техніки радіозондування перш за все пов'язані з поліпшенням існуючої апаратури та окремих її елементів та вузлів, в частині метеодатчиків. Метою поліпшення є зазвичай збільшення точності вимірювань, зниження експлуатаційних витрат, поліпшення технічних характеристик, зручність обслуговування та ін. Також пошук принципово нових можливостей в реалізації задачі радіозондування атмосфери зокрема впровадження нових технологій зокрема GPS та ГЛОНАСС. У результаті дослідження був розроблений ряд функцій у середовищі Matlab для створення моделі польоту радіозонду в атмосфері, за допомогою якої ми можемо побачити траєкторію польоту зонду при різних умовах. Вхідні данні генеруються випадково або можуть бути задані користувачем.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Киселев В.Н., Кузнецов А.Д. Методы зондирования окружающей среды. – СПб.: Малоохтинский пр., 1998. 398 с.
2. Черногор Л.Ф. Дистанционное радиозондирование атмосферы и космоса. – Харків.: ХНУ имени В.Н.Каразина, 2009. 245 с.
3. Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. – М.: Техносфера, 2008. 212 с.
4. Wang, L., and Geller, M. A., “Morphology of Gravity-Wave Energy as Observed from 4 Years (1998–2001) of High Vertical resolution U.S. Radiosonde Data,” *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 108, No. D16, 2003, pp. 1–19.
5. Фрейман И.Г. О передаче от шара-зонда // Труды 2-й полярной конференции. Л.: Издательство группы СССР «Аэроарктика». 1930. С. 61–64.
6. Радиозондирование атмосферы – [Электронный ресурс]. – <http://www.ria-stk.ru/mi/adetail.php?ID=30717>
7. Хахалин В.С. Современные радиозонды. М.: Госэнергоиздат. 1959.
8. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2005. 272 с.
9. Зайцева Н.А. Аэрология. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. 325 с.
10. Ефимов А.А. Принципы работы аэрологического информационно-вычислительного комплекса АВК-1. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. 149 с.
11. Fields, T., Heninger, M., LaCombe, J., and Wang, E., “In-Flight Landing Location Predictions Using Ascent Wind Data for High Altitude Balloons,” *AIAA Balloon Systems Conference*, AIAA, Reston, VA, 2013, pp. 1–12. doi:10.2514/6.2013-1294
12. Иванов В. Э., Фридзон М. Б., Ессяк С. П. Радиозондирование атмосферы: Технические и метрологические аспекты разработки и применения радиозондовых измерительных средств / под ред. В.Э. Иванова. – Л.: Гидрометеиздат, 2004. – 600 с.
13. Statement of Col. Brad Parkinson, USAF, GPS Program Manager. / Hearings on Military Posture and H.R. 3689, April 11, 1975. — Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1975. — P. 5212 — 5324 p.

14. Молчанов П. А. О точности зондирования атмосферы методом радиозондов // Метеорология и гидрология. 1936. № 2. С. 31–41.
15. Срмаков В.И., Кузенков А.Ф., Юрманов В.А. Системы зондування атмосфери. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. 304 с.
16. Горбачёв А. Ю. Математическая модель погрешностей gps // Авиакосмическое приборостроение. — М.: "НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ", 2010. — № 5.
17. Анучин О.Н., Емельянцева Г.И. Интегрированные системы ориентации для морских подвижных объектов / Под ред. В. Г. Пешехонова. — 2-е изд. — СПб.: ГНЦ РФ-ЦНИИ «Электроприбор», 2003. — С. 160-161. 390 с. — ISBN 5-900780-47-3.
18. Система радиозондирования с пакетной передачей информации – [Электронный ресурс]. – <http://www.findpatent.ru/patent/252/2529177.html>
19. P. Pauley, A. Kats, J. Ator, D. Keyser, A. Doerenbrcher, 2016a: Progress towards high-resolution, real-time radiosonde reports Bull. Amer. Meteor. Soc., Early online release DOI: <https://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/BAMS-D-15-00169.1>
20. Jensen, M.P., Holdridge, D.J., Survo, P., Lehtinen, R., Baxter, S., Toto, T., and Johnson, K.L., 2016: Comparison of Vaisala radiosondes RS41 and RS92, Atmos. Meas. Tech., 9, 3115–3129, DOI: 10.5194/amt-9-3115-2016
21. Nash, J., T. Oakley, H. Vömel, and L. I. Wei, 2011: WMO intercomparison of high quality radiosonde systems (Yangjiang, China 12 June–3 August 2010). WMO Instruments and Observing Methods Rep. 107, 238 pp.
22. Козловский, Е. Искусство позиционирования / Е. Козловский // Вокруг света. — М.: 2006. — № 12, 204-280 с.
23. Сетевые спутниковые радионавигационные / В. Шебшаевич [и др.]. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1993. 408 с.
24. Якимов И.М., Девятков В.В. Развитие методов и систем имитации , 2002. 5с.
25. Лысенко А. В. Краткий обзор методов имитационного моделирования / А. В. Лысенко, Н. В. Горячев, И. Д. Граб, Б. К. Кемалов, Н. К. Юрков // Современные информационные технологии. 2011. № 14, 171–176 с.

ДОДАТОК А Код програми

```

function [Total_Distance, Coordinates, Wind, Start, End, a] =...
Balloon_Trip(Graph, Fig_Num, Display, Random,...
Wind, Start, End, a)
warning('off', 'MATLAB:divideByZero');
Graph=1;
Fig_Num = [1 2 3 4 5];
Display =1;
Random = [5 0 10;...
50000 0 10;...
0 0 0;...
7000 6000 9000;];
[R_Wind, R_Start, R_End, R_a] = SUB_Random_Balloon_Trip(Random);
Wind = R_Wind;
Start = R_Start;
End = R_End;
a = R_a;
%Inputs
Wind_Speed = Wind(:,1)*60/1;%Speed matrix for Wind, in seconds
Direction = Wind(:,2);%Directional Matrix for Wind
Elevation = Wind(:,3);%Elevation for Wind
[Wind_C] = size(Wind);%Number of Columns and Rows in Wind
X_S = Start(1,1);%Starting X Location
Y_S = Start(1,2);%Starting Y Location
Z_S = Start(1,3);%Starting Z Location
X_E = End(1,1);%End X Location
Y_E = End(1,2);%End Y Location
Z_E = End(1,3);%End Z Location
a_rise = a(1,1);%Rising Acceleration
a_fall = a(1,2);%Falling Acceleration
%Re-stating Direction so that each Direction value is between
% +360 and 0
while max(Direction) >= 360 || min(Direction) < 0
for i = 1:Wind_C
if Direction(i,1) >= 360
Direction(i,1) = Direction(i,1) - 360;
elseif Direction(i,1) < 0
Direction(i,1) = Direction(i,1) + 360;
end
end
end
for i = 1:Wind_C
if Direction(i,1) == 90 || Direction(i,1) == 270
Direction(i,1) = Direction(i,1) + .0001;
end
end
%End of Section
%Constants and Variables Directly based on Inputs
X = [X_S];%x component of the Location Variable (North / South)
X_1 = X(length(X));%X1
Y = [Y_S];%y component of the Location Variable (West / East)
Y_1 = Y(length(Y));%Y1
Z = [Z_S];%z component of the Location Variable (Elevation)
Z_1 = Z(length(Z));%Z1
X_bar = [X_E - X_S];%Distance between X Start and End locations

```

```

Y_bar = [Y_E - Y_S];%Distance between Y Start and End locations
Z_bar = [Z_E - Z_S];%Distance between Z Start and End locations
Q = atand(Y_bar / X_bar);%Angle to x/y End location from Start location
%Trip Calculator
%Step 1, Possible Horizontal movement during the 1st Elevation Change
%Step 2, Initial Direction Chooser
%Step 3, Calculate 2nd Elevation Change Movement
%Step 4, Possible Horizontal movement during the Final Elevation Change
%Step 5, Final Direction Chooser
%Step 6, Remaining Coordinate Variables
%Step 1
%Possible Horizontal movement during the 1st Elevation Change
for i = 1:Wind_C
if i == 1
if Elevation(i,1) < Z_S
%set values to NaN if the elevation is lower that start
%elevation
X2(i,i) = NaN;
Y2(i,i) = NaN;
Z2(i,i) = NaN;
Time2(i) = NaN;
H2(i) = NaN;
Q2(i) = NaN;
else
%Calculate values for i=1
[D2, C2, S2] = SUB_Direction(Direction(i,1));
a2 = a_rise;
Time2(i) = ((Elevation(i,1) - Z_S) / a2)^.5;
X2(i,i) = X_S + C2 * Wind_Speed(i,1) * Time2(i);
Y2(i,i) = Y_S + S2 * Wind_Speed(i,1) * Time2(i);
Z2(i,i) = Elevation(i,1);
H2(i) = (( Wind_Speed(i,1) * Time2(i) )^2 +...
( Elevation(i,1) - Z_S )^2)^.5;
Q2(i) = [atand( ( abs(Y_E - Y2(i)) ) /...
( abs(X_E - X2(i)) ) ) ]];
%make sure that Q2 is in the correct direction
if X2(i,i) > X_E
if Y2(i,i) > Y_E
Q2(i) = Q2(i) + 180;
elseif Y2(i,i) <= Y_E
Q2(i) = 180 - Q2(i);
end
elseif X2(i,i) <= X_E
if Y2(i,i) > Y_E
Q2(i) = 360 - Q2(i);
elseif Y2(i,i) <= Y_E
Q2(i) = Q2(i);
end
end
end%end i=1
%set k for use in Elevation values above Z_E
k = i;%[k=1]
elseif i ~=1
if Elevation(i,1) < Z_S
%set values to NaN if the elevation is lower that start
%elevation
X2(i,i) = NaN;
Y2(i,i) = NaN;
Z2(i,i) = NaN;
Time2(i) = NaN;
H2(i) = NaN;
Q2(i) = NaN;
%set k for use in Elevation values above Z_E

```



```

k = i;
else
%Calculate values for i>1
for j = k+1:i
%calculate various values for each elevation change up to
%to the "final elevation" of (i)
if Elevation(j-1,1) < Z_S
Elevationj(j-1) = Z_S;
else
Elevationj(j-1) = Elevation(j-1,1);
end
if j == k+1 && isnan(X2(1,1)) ~= 1 && isnan(Y2(1,1)) ~= 1
Xj(j-1) = X2(1,1);
Yj(j-1) = Y2(1,1);
elseif j == k+1
Xj(j-1) = X_S;
Yj(j-1) = Y_S;
else
Xj(j-1) = Xj(j-1);
Yj(j-1) = Yj(j-1);
end
[D2,C2,S2] = SUB_Direction(Direction(j,1));
a2 = a_rise;
Timej(j) = ((Elevation(j,1) - Elevationj(j-1)) / a2)^.5;
Xj(j)= Xj(j-1) + C2 * Wind_Speed(j,1) * Timej(j);
Yj(j)= Yj(j-1) + S2 * Wind_Speed(j,1) * Timej(j);
Hj(j) = (( Wind_Speed(j,1) * Timej(j) )^2 +...
( Elevation(j,1) - Elevationj(j-1) )^2)^.5;
X2(i,j) = [Xj(j)];%final value in Xj
Y2(i,j) = [Yj(j)];%final value in Yj
Z2(i,j) = Elevation(j,1);
end
%end calculated values
Time2(i) = [sum(Timej)];%sum of time it took to get from
%start to Elevation(i)
H2(i) = [sum(Hj)];%sume of distance traveled
Q2(i) = [atand( ( abs(Y_E - Y2(i,i)) ) /...
( abs(X_E - X2(i,i)) ) )];
%direction from (X2(i),Y2(i)) to (X_E,Y_E)
%make sure that Q2 is in the correct direction
if X2(i,i) > X_E
if Y2(i,i) > Y_E
Q2(i) = Q2(i) + 180;
elseif Y2(i,i) <= Y_E
Q2(i) = 180 - Q2(i);
end
elseif X2(i,i) <= X_E
if Y2(i,i) > Y_E
Q2(i) = 360 - Q2(i);
elseif Y2(i,i) <= Y_E
Q2(i) = Q2(i);
end
end
%Clear "j" variables for use in next "i" Value
clear Timej Xj Yj Hj
end%end i~=1
end%end if i
end%end for i
%Step 1 "Outputs"
X2;%Starting location after 1st Elevation change in X
Y2;% "New" Starting location after 1st Elevation change in Y
Z2;% "New" Starting location after 1st Elevation change in Z
H2;%Distances from (X_S,Y_S,Z_S) to (X2,Y2,Z2)

```

```

Q2;%Directions from (X2,Y2) to (X_E,Y_E)
clear D2;%clears D2 Variable for so that it can be used in the next step
%Step 2
%Initial Direction Chooser
for i = 1:Wind_C
for j = 1:Wind_C
D2(i) = Direction(i,1);
%Find the difference between the Wind directions and the direction
%between the start and end location
ID(i,j) = abs( D2(i) - Q2(j) );
%makes sure that the Initial_Elevation is above the start location
if Elevation(i) < Z_S
ID(i,j) = NaN;
end
end%end for j
end%end for i
%Find the angle direction closest to that of the angle
%between Start and End Locations
[ID_V1, ID_I1] = min(ID);
[ID_V2, ID_I2] = min(ID_V1);
ID_I = ID_I2;
ID_V = ID_V2;
Initial_Direction = Direction(ID_I1(ID_I2),1);
%Initial Horizontal Direction chosen to travel
Initial_Wind_Speed = Wind_Speed(ID_I1(ID_I2),1);
%Initial Horizontal Wind Speed
Initial_Elevation = Elevation(ID_I1(ID_I2),1);
%Initial Horizontal Wind Speed Elevation
if isnan(X2(1,1)) == 1
I=0;
else
if isnan(Y2(1,1)) == 1
I=0;
else
I = 1;
X(2) = X2(1,1);
Y(2) = Y2(1,1);
Z(2) = Z2(1,1);
end
end
for i = k+1:ID_I1(ID_I2)
if ID_I1(ID_I2) == 1
else
X(i+I-k+1) = [X2(ID_I1(ID_I2),i)];
%Initial Horizontal Movement start in X
Y(i+I-k+1) = [Y2(ID_I1(ID_I2),i)];
%Initial Horizontal Movement start in Y
Z(i+I-k+1) = [Z2(ID_I1(ID_I2),i)];
%Initial Horizontal Movement start in Z
end
end
%get rid of incorrectly added NaNs and Zeros
for i = 1:length(X)
if X(i) == 0 && Y(i) == 0 && Z(i) == 0 && i ~= 1
ii(i) = i;
else
ii(i) = 0;
end
end
XYZ = 0;
for i = 1:length(X)
if ii(i) == i
XYZ = XYZ + 1;

```

```

XX(i) = X(i+XYZ);
YY(i) = Y(i+XYZ);
ZZ(i) = Z(i+XYZ);
elseif i+XYZ <= length(X)
XX(i) = X(i+XYZ);
YY(i) = Y(i+XYZ);
ZZ(i) = Z(i+XYZ);
end
end
clear X Y Z
X = XX;
Y = YY;
Z = ZZ;
clear XX YY ZZ i j
X_2 = X(length(X));%X2
Y_2 = Y(length(Y));%Y2
Z_2 = Z(length(Z));%Z2
Distance(1) = [H2(ID_I1(ID_I2))];
%Distance from Start to Initial Horizontal start
%Step 3
%Calculate 2nd Elevation Change Movement
for iii = 1:Wind_C
if Initial_Elevation >= Elevation(iii,1)
%higher elevation to lower
a2P = a_fall;
count = 0;
for i = 1:Wind_C
if Elevation(i,1) == Initial_Elevation
j = i;
jj = i;
end
end
for i = 1:Wind_C
if Elevation(i,1) < Elevation(iii,1)
%do nothing
count = count;
elseif Elevation(i,1) > Initial_Elevation
%do nothing
count = count;
else
%Stuff happens here
count = count +1;
if count == 1
[D2P, C2P, S2P] = SUB_Direction(Direction(j,1));
Time2P(count,iii) = ((Elevation(j,1) - Z(length(Z)))...
/ a2P )^.5;
WS2P(count,iii) = Wind_Speed(j,1);
X2_PRIME(count,iii) = X(length(X)) +...
C2P * WS2P(count,iii) *...
Time2P(count,iii);
Y2_PRIME(count,iii) = Y(length(Y)) +...
S2P * WS2P(count,iii) *...
Time2P(count,iii);
Z2_PRIME(count,iii) = Z(length(Z));
DeltaX(count,iii) = X2_PRIME(count,iii) - X(length(X));
DeltaY(count,iii) = Y2_PRIME(count,iii) - Y(length(Y));
else
j = j - 1;
[D2P, C2P, S2P] = SUB_Direction(Direction(j+1,1));
Time2P(count,iii) = ( (Elevation(j+1,1) -...
Elevation(j,1))...
/ a2P )^.5;
WS2P(count,iii) = Wind_Speed(j,1);

```

```

X2_PRIME(count,iii) = X2_PRIME(count-1,iii) +...
C2P * WS2P(count,iii) *...
Time2P(count,iii);
Y2_PRIME(count,iii) = Y2_PRIME(count-1,iii) +...
S2P * WS2P(count,iii) *...
Time2P(count,iii);
Z2_PRIME(count,iii) = Elevation(j,1);
DeltaX(count,iii) = X2_PRIME(count,iii) - X(length(X));
DeltaY(count,iii) = Y2_PRIME(count,iii) - Y(length(Y));
end%End if
end%End if
end%End for i
elseif Initial_Elevation < Elevation(iii,1)
%lower elevation to hogher
a2P = a_rise;
count = 0;
for i = 1:Wind_C
if Elevation(i,1) < Initial_Elevation
%do nothing
count = count;
elseif Elevation(i,1) > Elevation(iii,1)
%do nothing
count = count;
elseif Elevation (i,1) >= Initial_Elevation
%Stuff happens here
count = count +1;
if count == 1
[D2P, C2P, S2P] = SUB_Direction(Direction(i,1));
Time2P(count,iii) = ((Elevation(i,1) - Z(length(Z)))...
/ a2P)^.5;
WS2P(count,iii) = Wind_Speed(i,1);
X2_PRIME(count,iii) = X(length(X)) +...
C2P * WS2P(count,iii) *...
Time2P(count,iii);
Y2_PRIME(count,iii) = Y(length(Y)) +...
S2P * WS2P(count,iii) *...
Time2P(count,iii);
Z2_PRIME(count,iii) = Z(length(Z));
DeltaX(count,iii) = X2_PRIME(count,iii) - X(length(X));
DeltaY(count,iii) = Y2_PRIME(count,iii) - Y(length(Y));
else
[D2P, C2P, S2P] = SUB_Direction(Direction(i,1));
Time2P(count,iii) = ( (Elevation(i,1) -...
Elevation(i-1,1))...
/ a2P )^.5;
WS2P(count,iii) = Wind_Speed(i,1);
X2_PRIME(count,iii) = X2_PRIME(count-1,iii) +...
C2P * WS2P(count,iii) *...
Time2P(count,iii);
Y2_PRIME(count,iii) = Y2_PRIME(count-1,iii) +...
S2P * WS2P(count,iii) *...
Time2P(count,iii);
Z2_PRIME(count,iii) = Elevation(i,1);
DeltaX(count,iii) = X2_PRIME(count,iii) - X(length(X));
DeltaY(count,iii) = Y2_PRIME(count,iii) - Y(length(Y));
end%End if
end%End if
end%End for i
end%End if higher or lower
end%End for iii
%Step 4
%Possible Horizontal movement during the Final Elevation Change
for i = 1:Wind_C

```

```

if i == 1
if Elevation(i,1) < Z_E
%set values to NaN if the elevation is lower than end
%elevation
X5(i,i) = NaN;
Y5(i,i) = NaN;
Z5(i,i) = NaN;
Time5(i) = NaN;
H5(i) = NaN;
else
%Calculate values for i=1
[D3, C3, S3] = SUB_Direction(Direction(i,1)+180);
a5 = a_fall;
Time5(i) = ((Elevation(i,1) - Z_E) / a5)^.5;
X5(i,i) = X_E + C3 * Wind_Speed(i,1) * Time5(i);
Y5(i,i) = Y_E + S3 * Wind_Speed(i,1) * Time5(i);
H5(i) = (( Wind_Speed(i,1) * Time5(i) )^2 +...
( Elevation(i,1) - Z_E )^2)^.5;
Z5(i,i) = Elevation(i,1);
end%end i=1
%set k for use in Elevation values above Z_E
k = i; %[k=1]
elseif i ~=1
if Elevation(i,1) < Z_E
%set values to NaN if the elevation is lower than end
%elevation
X5(i,i) = NaN;
Y5(i,i) = NaN;
Z5(i,i) = NaN;
Time5(i) = NaN;
H5(i) = NaN;
%set k for use in Elevation values above Z_E
k = i;
else
%Calculate values for i>1
for f = k+1:i
%calculate various values for each elevation change up to
%to the "final elevation" of (i)
if Elevation(f-1,1) < Z_E%if Elevation(k,1)<Z_E
Elevationf(f-1) = Z_E;
else
Elevationf(f-1) = Elevation(f-1,1);
end
if f == k+1 && isnan(X5(1,1)) ~= 1 && isnan(Y5(1,1)) ~= 1
Xf(f-1) = X5(1,1);
Yf(f-1) = Y5(1,1);
elseif f == k+1
Xf(f-1) = X_E;
Yf(f-1) = Y_E;
else
Xf(f-1) = Xf(f-1);
Yf(f-1) = Yf(f-1);
end
[D3,C3,S3] = SUB_Direction(Direction(f,1)+180);
a5 = a_fall;
Timef(f) = ((Elevation(f,1) - Elevationf(f-1)) / a5)^.5;
Xf(f) = Xf(f-1) + C3 * Wind_Speed(f,1) * Timef(f);
Yf(f) = Yf(f-1) + S3 * Wind_Speed(f,1) * Timef(f);
Hf(f) = (( Wind_Speed(f,1) * Timef(f) )^2 +...
( Elevation(f,1) - Elevationf(f-1) )^2)^.5;
X5(i,f) = [Xf(f)];%final value in Xf
Y5(i,f) = [Yf(f)];%final value in Yf
Z5(i,f) = Elevation(f,1);

```

```

end
%end calculated values
Time5(i) = [sum(Timef)];%sum of time it took to get from
%end to Elevation(i)
H5(i) = [sum(Hf)];%sum of the distance traveled
%Clear "f" variables for use in next "i" Value
clear Timef Xf Yf Hf
end%end i~=1
end%end if i
end%end for i
%re-set Complex values to NaNs
for i = 1:length(X5)
for j = 1:length(X5)
REAL_X(i,j) = isreal(X5(i,j));
REAL_Y(i,j) = isreal(Y5(i,j));
REAL_Z(i,j) = isreal(Z5(i,j));
if REAL_X(i,j) == 0
X5(i,j) = NaN;
end
if REAL_Y(i,j) == 0
Y5(i,j) = NaN;
end
if REAL_Z(i,j) == 0
Z5(i,j) = NaN;
end
end
end
REAL_T(i) = isreal(Time5(1,i));
REAL_H(i) = isreal(H5(1,i));
if REAL_T(i) == 0
Time5(1,i) = NaN;
end
if REAL_H(i) == 0
H5(1,i) = NaN;
end
end
%Step 3 "Outputs"
X5;%Starting location before Final Elevation change in X
Y5;%Starting location before Final Elevation change in Y
Z5;%Starting location before Final Elevation change in Z
H5;%Distances from (X5,Y5,Z5) to (X_E,Y_E,Z_E)
%Step 5
%Final Direction Chooser
for i = 1:Wind_C
if i == ID_I1(ID_I2)
%Set A_Bar so that the initial direction is not chosen again.
LDX(i) = NaN;
LDY(i) = NaN;
X_2E(i) = NaN;
Y_2E(i) = NaN;
X_F(i) = NaN;
Y_F(i) = NaN;
A_Bar(i) = NaN;
DF(i) = NaN;
CF(i) = NaN;
SF(i) = NaN;
TF(i) = NaN;
Q5(i) = NaN;
else
%Find the Distance from the Initial direction line and the Final
%direction line
LDX(i) = length(DeltaX(:,i));
LDY(i) = length(DeltaY(:,i));
XY0 = 0;

```

```

j = 0;
while XY0 == 0
LDX0 = DeltaX(LDX(i)-j,i) - 0;
LDY0 = DeltaY(LDY(i)-j,i) - 0;
if LDX0 ~= 0 && LDY0 ~= 0
XY0 = 1;
% elseif j == LDX(i) && LDX0 ~= 0 && LDY0 ~= 0
%
else
j = j + 1;
end
end
LDX(i) = LDX(i) - j;
LDY(i) = LDY(i) - j;
X_2E(i) = [X(length(X)) + DeltaX(LDX(i),i)];
Y_2E(i) = [Y(length(Y)) + DeltaY(LDY(i),i)];
[DF(i), CF(i), SF(i), TF(i)] = SUB_Direction(Direction(i,1) + 180);
X_F(i) = ( ( Y5(i,i) - Y_2E(i) ) +...
( X_2E(i) * tand(Initial_Direction) ) -...
( X5(i,i) * TF(i) ) ) /...
( tand(Initial_Direction) - TF(i) );
Y_F(i) = Y5(i,i) + TF(i) * (X_F(i) - X5(i,i));
A_Bar(i) = ( ( X5(i,i) - X_F(i) )^2 + ( Y5(i,i) - Y_F(i) )^2 )^.5;
%make sure that Q5 is the correct direction
if X_F(i)>X5(i,i) && isnan(X_F(i))~=1 && isnan(X5(i,i))~=1....
&& isinf(X_F(i))~=1 && isinf(X5(i,i))~=1
if Y_F(i)>Y5(i,i) && isnan(Y_F(i))~=1 && isnan(Y5(i,i))~=1....
&& isinf(Y_F(i))~=1 && isinf(Y5(i,i))~=1
Q5(i) = atand( ( abs( Y_F(i)-Y5(i,i) ) ) /...
( abs( X_F(i)-X5(i,i) ) ) ) + 180;
elseif Y_F(i)<=Y5(i,i)&&isnan(Y_F(i))~=1&&isnan(Y5(i,i))~=1....
&& isinf(Y_F(i))~=1 && isinf(Y5(i,i))~=1
Q5(i) = 180 - atand( ( abs( Y_F(i)-Y5(i,i) ) ) /...
( abs( X_F(i)-X5(i,i) ) ) );
end
elseif X_F(i)<=X5(i,i) && isnan(X_F(i))~=1 && isnan(X5(i,i))~=1....
&& isinf(X_F(i))~=1 && isinf(X5(i,i))~=1
if Y_F(i)>Y5(i,i) && isnan(Y_F(i))~=1 && isnan(Y5(i,i))~=1....
&& isinf(Y_F(i))~=1 && isinf(Y5(i,i))~=1
Q5(i) = 360 - atand( ( abs( Y_F(i)-Y5(i,i) ) ) /...
( abs( X_F(i)-X5(i,i) ) ) );
elseif Y_F(i)<=Y5(i,i)&&isnan(Y_F(i))~=1&&isnan(Y5(i,i))~=1....
&& isinf(Y_F(i))~=1 && isinf(Y5(i,i))~=1
Q5(i) = atand( ( abs( Y_F(i)-Y5(i,i) ) ) /...
( abs( X_F(i)-X5(i,i) ) ) );
end
else
Q5(i) = NaN;
end
%check if Q5(i) = Direction(i,1)
if abs(Q5(i) - Direction(i,1)) <= .000001
A_Bar(i) = A_Bar(i);
else
A_Bar(i) = NaN;
end
%make sure that the direction between X_F etc and X_2 etc are
%valid with the Wind Direction
if X_F(i) > X_2E(i) && isnan(X_F(i)) ~= 1 && isinf(X_F(i)) ~= 1
if Y_F(i) > Y_2E(i) && isnan(Y_F(i)) ~= 1 && isinf(Y_F(i)) ~= 1
Q4(i) = atand( ( abs( Y_F(i)-Y_2E(i) ) ) /...
( abs( X_F(i)-X_2E(i) ) ) );
elseif Y_F(i)<=Y_2E(i) && isnan(Y_F(i))~=1 && isinf(Y_F(i))~=1
Q4(i) = 360 - atand( ( abs( Y_F(i)-Y_2E(i) ) ) /...

```

```

( abs( X_F(i)-X_2E(i) ) ) );
end
elseif X_F(i) <= X_2E(i) && isnan(X_F(i))~=1 && isinf(X_F(i))~=1
if Y_F(i) > Y_2E(i) && isnan(Y_F(i)) ~= 1 && isinf(Y_F(i)) ~= 1
Q4(i) = 180 - atand( ( abs( Y_F(i)-Y_2E(i) ) ) /...
( abs( X_F(i)-X_2E(i) ) ) );
elseif Y_F(i)<=Y_2E(i) && isnan(Y_F(i))~=1 && isinf(Y_F(i))~=1
Q4(i) = atand( ( abs( Y_F(i)-Y_2E(i) ) ) /...
( abs( X_F(i)-X_2E(i) ) ) ) + 180;
end
else
Q4(i) = NaN;
end
%check if Q4(i) = Initial_Direction
if abs(Q4(i) - Initial_Direction) <= .000001
A_Bar(i) = A_Bar(i);
else
A_Bar(i) = NaN;
end
end%end if
end%END for
[FD_V, FD_I] = min(A_Bar);%Find the minimum distance that can be travelled
%from the first wind direction to the end location by chosening the second
%direction
Distance(4) = [FD_V];
%Second Horizontal Location Change
%if there is no answer, set NO_ANSWER to 1 to act as a trigger later
%Value used when no answer is capable
NA = isnan(FD_V);
if NA == 1
NO_ANSWER = 1;
elseif NA ~= 1
NA = isinf(FD_V);
if NA == 1
NO_ANSWER = 1;
elseif NA ~= 1
NO_ANSWER = 0;
end
end
Final_Direction = Direction(FD_I,1);%Final Direction chosen to travel
Final_Wind_Speed = Wind_Speed(FD_I,1);%Final Wind Speed
Final_Elevation = Elevation(FD_I,1);%Final Wind Speed Elevation
%Step 6
%Remaining Coordinate Variables
if NO_ANSWER == 0
X( length(X) + (LDX(FD_I)) ) = [X_F(FD_I)];%X4
Y( length(Y) + (LDX(FD_I)) ) = [Y_F(FD_I)];%Y4
Z( length(Z) + (LDX(FD_I)) ) = [Final_Elevation];%Z4
X_4 = X(length(X));%X4
L4X = length(X);
Y_4 = Y(length(Y));%Y4
L4Y = length(Y);
Z_4 = Z(length(Z));%Z4
L4Z = length(Z);
X( length(X) - (LDX(FD_I)) + 1 ) =...
[ X(length(X)) - DeltaX(LDX(FD_I),FD_I) ];
Y( length(Y) - (LDX(FD_I)) + 1 ) =...
[ Y(length(Y)) - DeltaY(LDX(FD_I),FD_I) ];
Z( length(Z) - (LDX(FD_I)) + 1 ) =...
[ Z2_PRIME(1,FD_I) ];
XX = X( length(X) - (LDX(FD_I)) + 1 );
YY = Y( length(Y) - (LDX(FD_I)) + 1 );
j = 1;

```



```

for i = 1:LDX(FD_I)-1
X( length(X) - (LDX(FD_I)) + 1 + j ) = [XX + DeltaX(i+1,FD_I)];
Y( length(Y) - (LDX(FD_I)) + 1 + j ) = [YY + DeltaY(i+1,FD_I)];
Z( length(Z) - (LDX(FD_I)) + 1 + j ) = [Z2_PRIME(i+1,FD_I)];
H3(i) = [ ( ( WS2P(i+1,FD_I) * Time2P(i+1,FD_I) )^2 +...
( Z(length(Z) - (LDX(FD_I)) + 1 + j) -...
Z(length(Z) - (LDX(FD_I)) + 1 + j -1) )^2 )^.5 ];
j = j + 1;
end
clear XX YY;
X_3 = X( length(X) - (LDX(FD_I)) + 1 );%X3
Y_3 = Y( length(Y) - (LDX(FD_I)) + 1 );%Y3
Z_3 = Z( length(Z) - (LDX(FD_I)) + 1 );%Z3
Distance(2) = [( ( X_3 - X_2 )^2 +...
( Y_3 - Y_2 )^2 )^.5];
%First Horizontal Location Change
Distance(3) = [sum(H3)];
%Second Elevation Change
j = FD_I;
for i = length(X)+1:length(X)+FD_I
if j == 1
%Initial Horizontal Movement start in X
X(i) = [X5(j,j)];
%Initial Horizontal Movement start in Y
Y(i) = [Y5(j,j)];
%Initial Horizontal Movement start in Z
Z(i) = [Z5(j,j)];
elseif j ~=1
%Initial Horizontal Movement start in X
X(i) = [X5(FD_I,j)];
%Initial Horizontal Movement start in Y
Y(i) = [Y5(FD_I,j)];
%Initial Horizontal Movement start in Z
Z(i) = [Z5(FD_I,j)];
j = j-1;
end
end
%get rid of incorrectly added NaNs and Zeros
while isnan(X(length(X))) == 1
for i = 1:length(X)-1
XX(i) = X(i);
YY(i) = Y(i);
ZZ(i) = Z(i);
end
clear X Y Z
X = XX;
Y = YY;
Z = ZZ;
clear XX YY ZZ
end
while X(length(X)) == 0 && Y(length(Y)) == 0 && Z(length(Z)) == 0
for i = 1:length(X)-1
XX(i) = X(i);
YY(i) = Y(i);
ZZ(i) = Z(i);
end
clear X Y Z
X = XX;
Y = YY;
Z = ZZ;
clear XX YY ZZ
end
X_5 = X(L4X+1);%X5

```

```

Y_5 = Y(L4Y+1);%Y5
Z_5 = Z(L4Z+1);%Z5
Distance(5) = [H5(FD_I)];
%Third Elevation Change
X(length(X)+1) = [X_E];%X6
Y(length(Y)+1) = [Y_E];%Y6
Z(length(Z)+1) = [Z_E];%Z6
X_6 = X(length(X));%X6
Y_6 = Y(length(Y));%Y6
Z_6 = Z(length(Z));%Z6
end
%End of Section
%Outputs
%Commented out Values are computed earlier, but shown here for reference
%Distance Calculator
%Distance(1) = [H2(ID_I1(ID_I2))];
%First Elevation Change
%Distance(2) = [( ( X_3 - X_2 )^2 +...
% ( Y_3 - Y_2 )^2 )^.5];
%First Horizontal Location Change
%Distance(3) = [sum(H3)];
%Second Elevation Change
%Distance(4) = [FD_V];
%Second Horizontal Location Change
%Distance(5) = [H5(FD_I)];
%Third Elevation Change
[Final_Distance] = sum(Distance);%Sum of the Distances Travelled
%if there is no answer, set the Final_Distance to NaN
if NO_ANSWER == 1
Final_Distance = NaN;
end
%Final Outputs
Total_Distance = [Final_Distance];
%Total Distance Travelled
%if there is no answer, set the Coordinates to NaN
if NO_ANSWER == 1
X = [X_S X_E];
Y = [Y_S Y_E];
Z = [Z_S Z_E];
end
if nargin < 5
Wind = R_Wind;
Start = R_Start;
End = R_End;
a = R_a;
else
Wind = Wind;
Start = Start;
End = End;
a = a;
end
%Set of Coordinates for travel
Coordinates = [X; Y; Z]';
%End of Section
%Tables
if Display == 1%Displaying the Outputs in 2 Tables
%creating set pieces for creating the displayed tables
if NO_ANSWER == 0
%create basic table pieces
dot1 = '.';
dot2 = '...';
dot3 = '...';
dot4 = '....';

```

```

dot5 = '.....';
dot6 = '.....';
space = ' ';
dash = '-';
plus = '+';
line = '|';
TIME_STEP = 'seconds';
end
%create Table1: Distance
if NO_ANSWER == 0
%Set up the 2nd Column of Table1
DOTS = length('Value');
if length(num2str(Total_Distance)) > DOTS
DOTS = length(num2str(Total_Distance));
end
if DOTS > length('Value')
dot_Value = DOTS - length('Value');
else
dot_Value = 0;
end
if DOTS > length(num2str(Total_Distance))
dot_TD = DOTS - length(num2str(Total_Distance));
else
dot_TD = 0;
end
Ldot_Value = [dot_Value] + 3;
Ldot_TD = [dot_TD] + 3;
clear DOTS dot_Value dot_TD dot_TTT
for i = 1:Ldot_Value
dot_Value(i) = dot1;
end
for i = 1:Ldot_TD
dot_TD(i) = dot1;
end
clear Ldot_Value Ldot_TD Ldot_TTT
%Set up the 3rd column of Table1
DOTS = length('Units');
if length('feet') > DOTS
DOTS = length('feet');
end
if length(TIME_STEP) > DOTS
DOTS = length(TIME_STEP);
end
if DOTS > length('Units')
dot_Units = DOTS - length('Units');
else
dot_Units = 0;
end
if DOTS > length('feet')
dot_feet = DOTS - length('feet');
else
dot_feet = 0;
end
if DOTS > length(TIME_STEP)
dot_TS = DOTS - length(TIME_STEP);
else
dot_TS = 0;
end
Ldot_Units = [dot_Units] + 3;
Ldot_feet = [dot_feet] + 3;
Ldot_TS = [dot_TS] + 3;
clear DOTS dot_Units dot_feet dot_TS
for i = 1:Ldot_Units

```

```

dot_Units(i) = dot1;
end
for i = 1:Ldot_feet
dot_feet(i) = dot1;
end
for i = 1:Ldot_TS
dot_TS(i) = dot1;
end
clear Ldot_Units Ldot_feet Ldot_TS
%Creation of Table1
TITLE1 = 'Balloon Trip Outputs';
Title1 = strcat('.....Output.....', [line dot3],...
'Value', [dot_Value], [line dot3],...
'Units', [dot_Units]);
TD = strcat('Total Distance Travelled', '...', [line dot3],...
num2str(Total_Distance), [dot_TD], [line dot3],...
'feet', [dot_feet]);
ALMOST1 = char(TITLE1, Title1, TD);
[trash S1] = size(ALMOST1);
for i = 1:S1
DASH1(i) = dash;
PLUS1(i) = plus;
end
Table1 = char(space, PLUS1, space,...
TITLE1, Title1, DASH1,...
TD, DASH1,...
space, PLUS1, space);
disp(Table1);
elseif NO_ANSWER == 1
Table1 = strcat(...
'There are no Outputs since there is no Path calculated');
Table1 = char(Table1);
disp(Table1);
end
%End of Table1
%create Table2: Coordinates
if NO_ANSWER == 0
%Set up of 1st Column
DOTS = length('X');
if length(num2str(X_1)) > DOTS
DOTS = length(num2str(X_1));
end
if length(num2str(X_2)) > DOTS
DOTS = length(num2str(X_2));
end
if length(num2str(X_3)) > DOTS
DOTS = length(num2str(X_3));
end
if length(num2str(X_4)) > DOTS
DOTS = length(num2str(X_4));
end
if length(num2str(X_5)) > DOTS
DOTS = length(num2str(X_5));
end
if length(num2str(X_6)) > DOTS
DOTS = length(num2str(X_6));
end
if DOTS > length('X')
dot_X = DOTS - length('X');
else
dot_X = 0;
end
if DOTS > length(num2str(X_1))

```

```

dot_X1 = DOTS - length(num2str(X_1));
else
dot_X1 = 0;
end
if DOTS > length(num2str(X_2))
dot_X2 = DOTS - length(num2str(X_2));
else
dot_X2 = 0;
end
if DOTS > length(num2str(X_3))
dot_X3 = DOTS - length(num2str(X_3));
else
dot_X3 = 0;
end
if DOTS > length(num2str(X_4))
dot_X4 = DOTS - length(num2str(X_4));
else
dot_X4 = 0;
end
if DOTS > length(num2str(X_5))
dot_X5 = DOTS - length(num2str(X_5));
else
dot_X5 = 0;
end
if DOTS > length(num2str(X_6))
dot_X6 = DOTS - length(num2str(X_6));
else
dot_X6 = 0;
end
if rem(dot_X,2) == 1
%odd
Ldot_bX = [(dot_X - 1) / 2];
Ldot_aX = [(dot_X - 1) / 2 + 1]+3;
elseif rem(dot_X,2) == 0
%even
Ldot_bX = [dot_X / 2];
Ldot_aX = [dot_X / 2] + 3;
end
Ldot_X1 = [dot_X1] + 3;
Ldot_X2 = [dot_X2] + 3;
Ldot_X3 = [dot_X3] + 3;
Ldot_X4 = [dot_X4] + 3;
Ldot_X5 = [dot_X5] + 3;
Ldot_X6 = [dot_X6] + 3;
clear DOTS dot_X dot_X1 dot_X2 dot_X3 dot_X4 dot_X5 dot_X6
for i = 1:Ldot_bX
dot_bX(i) = dot1;
end
for i = 1:Ldot_aX
dot_aX(i) = dot1;
end
for i = 1:Ldot_X1
dot_X1(i) = dot1;
end
for i = 1:Ldot_X2
dot_X2(i) = dot1;
end
for i = 1:Ldot_X3
dot_X3(i) = dot1;
end
for i = 1:Ldot_X4
dot_X4(i) = dot1;
end
end

```

```

for i = 1:Ldot_X5
dot_X5(i) = dot1;
end
for i = 1:Ldot_X6
dot_X6(i) = dot1;
end
clear Ldot_bX Ldot_aX Ldot_X1 Ldot_X2 Ldot_X3 Ldot_X4 Ldot_X5 Ldot_X6

%Set up of 2nd Column
DOTS = length('Y');
if length(num2str(Y_1)) > DOTS
DOTS = length(num2str(Y_1));
end
if length(num2str(Y_2)) > DOTS
DOTS = length(num2str(Y_2));
end
if length(num2str(Y_3)) > DOTS
DOTS = length(num2str(Y_3));
end
if length(num2str(Y_4)) > DOTS
DOTS = length(num2str(Y_4));
end
if length(num2str(Y_5)) > DOTS
DOTS = length(num2str(Y_5));
end
if length(num2str(Y_6)) > DOTS
DOTS = length(num2str(Y_6));
end
if DOTS > length('Y')
dot_Y = DOTS - length('Y');
else
dot_Y = 0;
end
if DOTS > length(num2str(Y_1))
dot_Y1 = DOTS - length(num2str(Y_1));
else
dot_Y1 = 0;
end
if DOTS > length(num2str(Y_2))
dot_Y2 = DOTS - length(num2str(Y_2));
else
dot_Y2 = 0;
end
if DOTS > length(num2str(Y_3))
dot_Y3 = DOTS - length(num2str(Y_3));
else
dot_Y3 = 0;
end
if DOTS > length(num2str(Y_4))
dot_Y4 = DOTS - length(num2str(Y_4));
else
dot_Y4 = 0;
end
if DOTS > length(num2str(Y_5))
dot_Y5 = DOTS - length(num2str(Y_5));
else
dot_Y5 = 0;
end
if DOTS > length(num2str(Y_6))
dot_Y6 = DOTS - length(num2str(Y_6));
else
dot_Y6 = 0;
end
end

```

```

if rem(dot_Y,2) == 1
%odd
Ldot_bY = [(dot_Y - 1) / 2];
Ldot_aY = [(dot_Y - 1) / 2 + 1]+3;
elseif rem(dot_Y,2) == 0
%even
Ldot_bY = [dot_Y / 2];
Ldot_aY = [dot_Y / 2] + 3;
end
Ldot_Y1 = [dot_Y1] + 3;
Ldot_Y2 = [dot_Y2] + 3;
Ldot_Y3 = [dot_Y3] + 3;
Ldot_Y4 = [dot_Y4] + 3;
Ldot_Y5 = [dot_Y5] + 3;
Ldot_Y6 = [dot_Y6] + 3;
clear DOTS dot_Y dot_Y1 dot_Y2 dot_Y3 dot_Y4 dot_Y5 dot_Y6
for i = 1:Ldot_bY
dot_bY(i) = dot1;
end
for i = 1:Ldot_aY
dot_aY(i) = dot1;
end
for i = 1:Ldot_Y1
dot_Y1(i) = dot1;
end
for i = 1:Ldot_Y2
dot_Y2(i) = dot1;
end
for i = 1:Ldot_Y3
dot_Y3(i) = dot1;
end
for i = 1:Ldot_Y4
dot_Y4(i) = dot1;
end
for i = 1:Ldot_Y5
dot_Y5(i) = dot1;
end
for i = 1:Ldot_Y6
dot_Y6(i) = dot1;
end
clear Ldot_bY Ldot_aY Ldot_Y1 Ldot_Y2 Ldot_Y3 Ldot_Y4 Ldot_Y5 Ldot_Y6
%Set up of 3rd Column
DOTS = length('Z');
if length(num2str(Z_1)) > DOTS
DOTS = length(num2str(Z_1));
end
if length(num2str(Z_2)) > DOTS
DOTS = length(num2str(Z_2));
end
if length(num2str(Z_3)) > DOTS
DOTS = length(num2str(Z_3));
end
if length(num2str(Z_4)) > DOTS
DOTS = length(num2str(Z_4));
end
if length(num2str(Z_5)) > DOTS
DOTS = length(num2str(Z_5));
end
if length(num2str(Z_6)) > DOTS
DOTS = length(num2str(Z_6));
end
if DOTS > length('Z')
dot_Z = DOTS - length('Z');

```

```

else
dot_Z = 0;
end
if DOTS > length(num2str(Z_1))
dot_Z1 = DOTS - length(num2str(Z_1));
else
dot_Z1 = 0;
end
if DOTS > length(num2str(Z_2))
dot_Z2 = DOTS - length(num2str(Z_2));
else
dot_Z2 = 0;
end
if DOTS > length(num2str(Z_3))
dot_Z3 = DOTS - length(num2str(Z_3));
else
dot_Z3 = 0;
end
if DOTS > length(num2str(Z_4))
dot_Z4 = DOTS - length(num2str(Z_4));
else
dot_Z4 = 0;
end
if DOTS > length(num2str(Z_5))
dot_Z5 = DOTS - length(num2str(Z_5));
else
dot_Z5 = 0;
end
if DOTS > length(num2str(Z_6))
dot_Z6 = DOTS - length(num2str(Z_6));
else
dot_Z6 = 0;
end
if rem(dot_Z,2) == 1
%odd
Ldot_bZ = [(dot_Z - 1) / 2];
Ldot_aZ = [(dot_Z - 1) / 2 + 1] + 3;
elseif rem(dot_Z,2) == 0
%even
Ldot_bZ = [dot_Z / 2];
Ldot_aZ = [dot_Z / 2] + 3;
end
Ldot_Z1 = [dot_Z1] + 3;
Ldot_Z2 = [dot_Z2] + 3;
Ldot_Z3 = [dot_Z3] + 3;
Ldot_Z4 = [dot_Z4] + 3;
Ldot_Z5 = [dot_Z5] + 3;
Ldot_Z6 = [dot_Z6] + 3;
clear DOTS dot_Z dot_Z1 dot_Z2 dot_Z3 dot_Z4 dot_Z5 dot_Z6
for i = 1:Ldot_bZ
dot_bZ(i) = dot1;
end
for i = 1:Ldot_aZ
dot_aZ(i) = dot1;
end
for i = 1:Ldot_Z1
dot_Z1(i) = dot1;
end
for i = 1:Ldot_Z2
dot_Z2(i) = dot1;
end
for i = 1:Ldot_Z3
dot_Z3(i) = dot1;
end

```



```

end
for i = 1:Ldot_Z4
dot_Z4(i) = dot1;
end
for i = 1:Ldot_Z5
dot_Z5(i) = dot1;
end
for i = 1:Ldot_Z6
dot_Z6(i) = dot1;
end
clear Ldot_bZ Ldot_aZ Ldot_Z1 Ldot_Z2 Ldot_Z3 Ldot_Z4 Ldot_Z5 Ldot_Z6
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%creation of Table2
TITLE2 = 'Coordinates';
Title2 = strcat(dot3, dot_bX, 'X', dot_aX, [line dot3],...
dot_bY, 'Y', dot_aY, [line dot3],...
dot_bZ, 'Z', dot_aZ);
C1 = strcat(dot3, num2str(X_1), dot_X1, [line dot3],...
num2str(Y_1), dot_Y1, [line dot3],...
num2str(Z_1), dot_Z1);
C2 = strcat(dot3, num2str(X_2), dot_X2, [line dot3],...
num2str(Y_2), dot_Y2, [line dot3],...
num2str(Z_2), dot_Z2);
C3 = strcat(dot3, num2str(X_3), dot_X3, [line dot3],...
num2str(Y_3), dot_Y3, [line dot3],...
num2str(Z_3), dot_Z3);
C4 = strcat(dot3, num2str(X_4), dot_X4, [line dot3],...
num2str(Y_4), dot_Y4, [line dot3],...
num2str(Z_4), dot_Z4);
C5 = strcat(dot3, num2str(X_5), dot_X5, [line dot3],...
num2str(Y_5), dot_Y5, [line dot3],...
num2str(Z_5), dot_Z5);
C6 = strcat(dot3, num2str(X_6), dot_X6, [line dot3],...
num2str(Y_6), dot_Y6, [line dot3],...
num2str(Z_6), dot_Z6);
ALMOST2 = char(TITLE2, Title2, C1, C2, C3 ,C4, C5, C6);
[trash S2] = size(ALMOST2);
clear trash
for i = 1:S2
DASH2(i) = dash;
PLUS2(i) = plus;
end
Table2=char(space, PLUS2, space,...
TITLE2, Title2, DASH2,...
C1, C2, C3, C4, C5, C6,...
space, PLUS2, space);
disp(Table2);
elseif NO_ANSWER == 1
Table2 = strcat('There is no Path calculated to travel along');
Table2 = char(Table2);
disp(Table2);
end%End of Table2
%End Displaying the Outputs in 2 Tables
end
%End of Section
%Graphs
if Graph == 1 && NO_ANSWER == 0%Graph switch on
%creating variables to set the axis limits in the following graphs
Percent=.075;
X_MIN = min(X) - Percent * max(abs(X));
X_MAX = max(X) + Percent * max(abs(X));
Y_MIN = min(Y) - Percent * max(abs(Y));

```

```

Y_MAX = max(Y) + Percent * max(abs(Y));
Z_MIN = min(Z) - Percent * max(Z);
if Z_MIN > Elevation(1,1)
%check if Z_MIN is less than Least Elevation
Z_MIN = Elevation(1,1) - Percent * Elevation(1,1);
end
Z_MAX = max(Z) + Percent*max(Z);
if Z_MAX < Elevation(length(Elevation),1)
%check if Z_MIN is more than Max Elevation
Z_MAX = Elevation(length(Elevation),1) +...
Percent * Elevation(length(Elevation),1);
end
AXIS2_XY = [X_MIN X_MAX Y_MIN Y_MAX];%axis for 2-D graph of X-Y
AXIS2_XZ = [X_MIN X_MAX Z_MIN Z_MAX];%axis for 2-D graph of X-Z
AXIS2_YZ = [Y_MIN Y_MAX Z_MIN Z_MAX];%axis for 2-D graph of Y-Z
AXIS3 = [X_MIN X_MAX Y_MIN Y_MAX Z_MIN Z_MAX];%axis for 3-D graph
%Wind Plot Variables
for i = 1:Wind_C
[Dq, Cq, Sq, Tq] = SUB_Direction(Direction(i,1));
Uq3(i) = Wind_Speed(i,1) * Cq;
Vq3(i) = Wind_Speed(i,1) * Sq;
Wq3(i) = 0;
Xq3(i) = (X_MAX + X_MIN) / 2;
Yq3(i) = (Y_MAX + Y_MIN) / 2;
Zq3(i) = Elevation(i);
end
if abs(X_MAX) >= abs(X_MIN)
SCALE = abs(X_MAX) / Z_MAX;
elseif abs(X_MAX) < abs(X_MIN)
SCALE = abs(X_MIN) / Z_MAX;
end
if abs(X_MAX) >= abs(X_MIN)
SCALE2(1) = abs(X_MAX);
elseif abs(X_MAX) < abs(X_MIN)
SCALE2(1) = abs(X_MIN);
end
if abs(Y_MAX) >= abs(Y_MIN)
SCALE2(2) = abs(Y_MAX);
elseif abs(Y_MAX) < abs(Y_MIN)
SCALE2(2) = abs(Y_MIN);
end
%Graph 1
%3-D Graph of the entire trip
if Fig_Num(1) == 0 && Display == 1
%Graph 1 set to not display
G_REPORT = strcat('Graph 1 set to not Display');
G_REPORT = char(G_REPORT);
disp(G_REPORT);
else
%Plot Graph 1
figure(Fig_Num(1));
clf(Fig_Num(1));
figure(Fig_Num(1));
hold on;
quiver3(Xq3, Yq3, Zq3, Uq3, Vq3, Wq3, SCALE);
plot3(X, Y, Z, 'kd--');
view(-15, 15);
title('3-Dimensional Trip Display');
xlabel('X');
ylabel('Y');
zlabel('Z');
axis( AXIS3 );
%Start Location Label

```

```

START=strcat('Start (', [' ' num2str(X_S)], ', ', ...
[' ' num2str(Y_S)], ', ', ...
[' ' num2str(Z_S)], ' )');
text(X_S, Y_S, Z_S, START);
%End Location Label
END=strcat('End (', [' ' num2str(X_E)], ', ', ...
[' ' num2str(Y_E)], ', ', ...
[' ' num2str(Z_E)], ' )');
text(X_E, Y_E, Z_E, END);
%1st Distance
text([(X_2 + X_1) / 2], ...
[(Y_2 + Y_1) / 2], ...
[(Z_2 + Z_1) / 2], ...
strcat([num2str(Distance(1))], ...
' feet'));
%2nd Distance
text([(X_3 + X_2) / 2], ...
[(Y_3 + Y_2) / 2], ...
[Z_3 + .02 * (Z_MAX - Z_MIN)], ...
strcat([num2str(Distance(2))], ...
' feet'));
%3rd Distance
text([(X_4 + X_3) / 2], ...
[(Y_4 + Y_3) / 2], ...
[(Z_4 + Z_3) / 2], ...
strcat([num2str(Distance(3))], ...
' feet'));
%4th Distance
text([(X_5 + X_4) / 2], ...
[(Y_5 + Y_4) / 2], ...
[Z_5 + .02 * (Z_MAX - Z_MIN)], ...
strcat([num2str(Distance(4))], ...
' feet'));
%5th Distance
text([(X_6 + X_5) / 2], ...
[(Y_6 + Y_5) / 2], ...
[(Z_6 + Z_5) / 2], ...
strcat([num2str(Distance(5))], ...
' feet'));
hold off;
end
%Graph 2
%Top-Down view of the Trip
if Fig_Num(2) == 0 && Display == 1
%Graph 2 set to not display
G_REPORT = strcat('Graph 2 set to not Display');
G_REPORT = char(G_REPORT);
disp(G_REPORT);
elseif Fig_Num(2) ~= 0
%Plot Graph 2
figure(Fig_Num(2));
clf(Fig_Num(2));
figure(Fig_Num(2));
hold on;
quiver(Xq3, Yq3, Uq3, Vq3, SCALE2(1)/SCALE2(2) *40);
plot(X, Y, 'rx-');
title('2-Dimensional Trip Display: Top-Down View');
xlabel('X');
ylabel('Y');
axis( AXIS2_XY );
hold off;
text(X_S, Y_S, 'Start');
text(X_E, Y_E, 'End');

```

```

end
%Graph 3
%Collection of 3-graphs from all useful view points
if Fig_Num(3) == 0 && Display == 1
%Graph 3 set to not display
G_REPORT = strcat('Graph 3 set to not Display');
G_REPORT = char(G_REPORT);
disp(G_REPORT);
elseif Fig_Num(3) ~= 0
%Plot Graph 3
figure(Fig_Num(3));
clf(Fig_Num(3));
figure(Fig_Num(3));
%Subplot 1 :X-Y
subplot(2, 2, [1 3]), plot(X, Y, 'rx-');
title('2-Dimensional Trip Display: Top-Down View');
xlabel('X');
ylabel('Y');
axis( AXIS2_XY );
text(X_S, Y_S, 'Start');
text(X_E, Y_E, 'End');
%Subplot 2: X-Z
subplot(2, 2, 2), plot(X, Z, 'bx-');
title('2-Dimensional Trip Display: X-Z Side View');
xlabel('X');
ylabel('Z');
axis( AXIS2_XZ );
text(X_S, Z_S, 'Start');
text(X_E, Z_E, 'End');
%Subplot 3: Y-Z
subplot(2, 2, 4), plot(Y, Z, 'gx-');
title('2-Dimensional Trip Display: Y-Z Side View');
xlabel('Y');
ylabel('Z');
axis( AXIS2_YZ );
text(Y_S, Z_S, 'Start');
text(Y_E, Z_E, 'End');
end
%Graph 4
%Collection of 3-graphs from all useful view points
%Arranged differently than Graph 3
if Fig_Num(4) == 0 && Display == 1
%Graph 4 set to not display
G_REPORT = strcat('Graph 4 set to not Display');
G_REPORT = char(G_REPORT);
disp(G_REPORT);
elseif Fig_Num(4) ~= 0
%Plot Graph 4
figure(Fig_Num(4));
clf(Fig_Num(4));
figure(Fig_Num(4));
%Subplot 1: X-Y
subplot(2, 2, 2), plot(X, Y, 'rx-');
title('2-Dimensional Trip Display: X-Y Top-Down View');
xlabel('X');
ylabel('Y');
axis( AXIS2_XY );
text(X_S, Y_S, 'Start');
text(X_E, Y_E, 'End');
%Subplot 2: X-Z
subplot(2, 2, [1 3]), plot(X, Z, 'bx-');
title('2-Dimensional Trip Display: X-Z Side View');
xlabel('X');

```

```

ylabel('Z');
axis( AXIS2_XZ );
text(X_S, Z_S, 'Start');
text(X_E, Z_E, 'End');
%Subplot 3: Y-Z
subplot(2, 2, 4), plot(Y, Z, 'gx-');
title('2-Dimensional Trip Display: Y-Z Side View');
xlabel('Y');
ylabel('Z');
axis( AXIS2_YZ );
text(Y_S, Z_S, 'Start');
text(Y_E, Z_E, 'End');
end
%Graph 5
%Collection of 3-graphs from all useful view points
%Arranged differently than Graph 3 & 4
if Fig_Num(5) == 0 && Display == 1
%Graph 5 set to not display
G_REPORT = strcat('Graph 5 set to not Display');
G_REPORT = char(G_REPORT);
disp(G_REPORT);
elseif Fig_Num(5) ~= 0
%Plot Graph 5
figure(Fig_Num(5));
clf(Fig_Num(5));
figure(Fig_Num(5));
%Subplot 1: X-Y
subplot(2, 2, 2), plot(X, Y, 'rx-');
title('2-Dimensional Trip Display: X-Y Top-Down View');
xlabel('X');
ylabel('Y');
axis( AXIS2_XY );
text(X_S, Y_S, 'Start');
text(X_E, Y_E, 'End');
%Subplot 2: X-Z
subplot(2, 2, 4), plot(X, Z, 'bx-');
title('2-Dimensional Trip Display: X-Z Side View');
xlabel('X');
ylabel('Z');
axis( AXIS2_XZ );
text(X_S, Z_S, 'Start');
text(X_E, Z_E, 'End');
%Subplot 3: Y-Z
subplot(2, 2, [1 3]), plot(Y, Z, 'gx-');
title('2-Dimensional Trip Display: Y-Z Side View');
xlabel('Y');
ylabel('Z');
axis( AXIS2_YZ );
text(Y_S, Z_S, 'Start');
text(Y_E, Z_E, 'End');
end
elseif Graph == 0 && Display == 1 && NO_ANSWER == 0%Graph switch off
G_REPORT = strcat('Graph set to not Display');
G_REPORT = char(G_REPORT);
disp(G_REPORT);
elseif Graph == 1 && NO_ANSWER == 1%No Answer Graphs
%creating variables to set the axis limits in the following graphs
Percent=.075;
X_MIN = min(X) - Percent * max(abs(X));
X_MAX = max(X) + Percent * max(abs(X));
Y_MIN = min(Y) - Percent * max(abs(Y));
Y_MAX = max(Y) + Percent * max(abs(Y));
Z_MIN = min(Z) - Percent * max(Z);

```

```

if Z_MIN > Elevation(1,1)
Z_MIN = Elevation(1,1) - Percent * Elevation(1,1);
end
Z_MAX = max(Z) + Percent * max(Z);
if Z_MAX < Elevation(length(Elevation),1)
Z_MAX = Elevation(length(Elevation),1) + ...
Percent * Elevation(length(Elevation),1);
end
AXIS2_XY = [X_MIN X_MAX Y_MIN Y_MAX];%axis for 2-D graph of X-Y
AXIS3 = [X_MIN X_MAX Y_MIN Y_MAX Z_MIN Z_MAX];%axis for 3-D graph
%Wind Plot Variables
for i = 1:Wind_C
[Dq,Cq,Sq,Tq] = SUB_Direction(Direction(i,1));
Uq3(i) = Wind_Speed(i,1) * Cq;
Vq3(i) = Wind_Speed(i,1) * Sq;
Wq3(i) = 0;
Xq3(i) = (X_MAX + X_MIN) / 2;
Yq3(i) = (Y_MAX + Y_MIN) / 2;
Zq3(i) = Elevation(i);
end
if abs(X_MAX) >= abs(X_MIN)
SCALE = abs(X_MAX) / Z_MAX;
elseif abs(X_MAX) < abs(X_MIN)
SCALE = abs(X_MIN) / Z_MAX;
end
if abs(X_MAX) >= abs(X_MIN)
SCALE2(1) = abs(X_MAX);
elseif abs(X_MAX) < abs(X_MIN)
SCALE2(1) = abs(X_MIN);
end
if abs(Y_MAX) >= abs(Y_MIN)
SCALE2(2) = abs(Y_MAX);
elseif abs(Y_MAX) < abs(Y_MIN)
SCALE2(2) = abs(Y_MIN);
end
%finds current figure handle
FIG = gcf;
%Plot Graph 1
figure(FIG + 1);
hold on;
quiver3(Xq3, Yq3, Zq3, Uq3, Vq3, Wq3, SCALE);
plot3(X, Y, Z, 'rd');
view(-15, 15);
title('Wind Display: 3-Dimensional View, with No Path calculated');
xlabel('X');
ylabel('Y');
zlabel('Z');
axis( AXIS3 );
%Start Location Label
START=strcat('Start (', [' ' num2str(X_S)], ',', [' ' num2str(Y_S)], ',', [' ' num2str(Z_S)], ')');
text(X_S, Y_S, Z_S, START);
%End Location Label
END=strcat('End (', [' ' num2str(X_E)], ',', [' ' num2str(Y_E)], ',', [' ' num2str(Z_E)], ')');
text(X_E, Y_E, Z_E, END);
hold off;
%Plot Graph 2
figure(FIG + 2);
hold on;
quiver(Xq3, Yq3, Uq3, Vq3, SCALE2(1)/SCALE2(2) *30);

```

```

plot(X,Y,'rd');
title('Wind Display: Top-Down View, with No Path calculated');
xlabel('X');
ylabel('Y');
axis( AXIS2_XY );
%Start Location Label
text(X_S, Y_S, 'Start');
%End Location Label
text(X_E, Y_E, 'End');
hold off;
end%End Graph switch on
%End of Section
warning('on', 'MATLAB:divideByZero');%Turns ON divide by Zero Warnings
end%End of Function
%Sub Functions
function [D, C, S, T] = SUB_Direction(Direction)
%Sub Function that changes the Direction chosen to be inbetween the values
%of +90 and -90
while max(Direction) >= 360 || min(Direction) < 0
if Direction >= 360
Direction = Direction - 360;
elseif Direction < 0
Direction = Direction + 360;
end
end
if Direction >= 0 && Direction < 90
%Quadrant 1 Positive
D = Direction;
C = [1] * cosd(D);
S = [1] * sind(D);
elseif Direction >= 90 && Direction < 180
%Quadrant 2 Positive
D = 180 - Direction;
C = [-1] * cosd(D);
S = [1] * sind(D);
elseif Direction >= 180 && Direction < 270
%Quadrant 3 Positive
D = Direction - 180;
C = [-1] * cosd(D);
S = [-1] * sind(D);
elseif Direction >= 270 && Direction < 360
%Quadrant 4 Positive
D = 360 - Direction;
C = [1] * cosd(D);
S = [-1] * sind(D);
else
error('Direction value is greater than 360 or less than 0 Degrees');
end
D;
C;
S;
T = S / C;
end%End of Sub Function
function [R_Wind, R_Start, R_End, R_a] =...
SUB_Random_Balloon_Trip(Random)
%SubFunction that is used to create Random Data
%Inputs
Number_E = Random(1,1);
Min_Speed = Random(1,2);
if Min_Speed < 0
Min_Speed = 0;
end
Max_Speed = Random(1,3);

```

```

Max_Elevation = Random(2,1);
Min_a = Random(2,2);
if Min_a < 0
Min_a = 0;
end
Max_a = Random(2,3);
Min_X = Random(3,1);
Min_Y = Random(3,2);
Min_Z = Random(3,3);
if Min_Z < 0
Min_Z = 0;
end
Max_X = Random(4,1);
Max_Y = Random(4,2);
Max_Z = Random(4,3);
%End of Section
%Randomized Variables
%Random Wind
%Randomized Wind Speed
for i = 1:Number_E
RWS = 1;
while RWS == 1
R_Wind_Speed(i,1) = [Max_Speed * rand];
if R_Wind_Speed(i,1) <= Min_Speed%check if min is below Min_Speed
RWS = 1;
else
RWS = 0;
end
end
end
%Randomized Wind Direction
R_Direction = [360 * rand(Number_E,1)];
%Randomized Constantly Increasing Elevation
for i = 1:Number_E
RE = 1;
while RE == 1
R_Elevation(i,1) = [Max_Elevation * rand];
if R_Elevation(i,1) > Max_Elevation * (i / Number_E)
RE = 1;
elseif i == 1
RE = 0;
elseif R_Elevation(i,1) <= R_Elevation(i-1,1)
RE = 1;
else
RE = 0;
end
end
end
%Random Locations
%Random Start Location
%Randomized X Start Location
R_X_S = [Min_X + ( Max_X - Min_X ) * rand];
%Randomized Y Start Location
R_Y_S = [Min_Y + ( Max_Y - Min_Y ) * rand];
%Randomized Z Start Location
R_Z_S = [Min_Z + ( Max_Z - Min_Z ) * rand];
%Random End Location
%Randomized X End Location
R_X_E = [Min_X + ( Max_X - Min_X ) * rand];
%Randomized Y End Location
R_Y_E = [Min_Y + ( Max_Y - Min_Y ) * rand];
%Randomized Z End Location
R_Z_E = [Min_Z + ( Max_Z - Min_Z ) * rand];

```



```
%%%%%%%%%%%%%%
%Random Acceleration
%Randomized Rising Acceleration
RAR = 1;
while RAR == 1
R_a_rise = [Max_a * rand];
if R_a_rise <= Min_a
RAR = 1;
else
RAR = 0;
end
end
%Randomized Falling Acceleration
RAF = 1;
while RAF == 1
R_a_fall = [Max_a * rand];
if R_a_fall <= Min_a
RAF = 1;
else
RAF = 0;
end
end
%End of Section
%Outputs
R_Wind = [R_Wind_Speed, R_Direction, R_Elevation];
R_Start = [R_X_S, R_Y_S, R_Z_S];
R_End = [R_X_E, R_Y_E, R_Z_E];
R_a = [R_a_rise, R_a_fall];
end%End of SubFunction
%End of SubFunctions
```

