

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Магістерської підготовки

Кафедра Інформаційних технологій

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Комп'ютерне моделювання та дослідження результату
температурного-вітрового радіозондування телеметричних даних
радіозонда»

Виконав студент 2 курсу групи МІС- 19
спеціальності 122 Комп'ютерні науки
Абдувалієва Гулбахар

Керівник к.т.н., доцент
Гор'єв Сергій Адольфович

Рецензент к.геогр.н., доцент
Лужбін Анатолій Михайлович

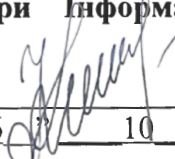
Одеса 2020р

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Магістерської підготовки
Кафедра Інформаційних технологій
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 122 Комп'ютерні науки
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Інформаційних технологій


Кузніченко С.Д.
“ 26 ” 10 2020 року

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

Абдувалієва Гулбахар

(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи Комп'ютерне моделювання та дослідження результату температурного-вітрового радіозондування телеметричних даних радіозонда керівник роботи Гор'єв Сергій Адольфович к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти від 16 жовтень 2020 р №194 "С"
- Строк подання студентом роботи 7 грудня 2020 р.
- Вихідні дані до роботи Існуючі системи радіозондування моніторингу навколишнього середовища, існуючі дані схемотехнічної інформації радіозонда ПАЗА-12М Одеського Гідрометцентр ЧАМ
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз методів проведення і обробки інформації вітрових спостережень кулі-пілота.
 - Розрахунок горизонтальну складову швидкості руху кулі-пілота на різних висотах.
 - Розрахунок горизонтальну складову напрями руху кулі-пілота на різних висотах.
 - Розробка програмного забезпечення моделі візуалізації просторової траєкторії польоту кулі-пілота.
 - Дослідження моделі відображення просторової траєкторії польоту кулі-пілота
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) графічний матеріал виконаний у вигляді презентації магістерської роботи

6. Консультанти розділів роботи

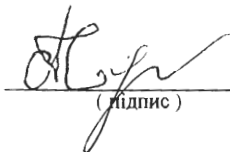
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 26 жовтень 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Методи і засоби вітрового зондування атмосфери	жовтень	60	добре
2	Методи визначення характеристик вітру у вільній атмосфері	листопад	60	добре
3	Розробка, моделювання та розрахунок напрямку та швидкості вітру по первинним даним польоту радіозонда гідрометеорологічного центру Чорного та Азовського морей	листопад	60	добре
4	Рубіжна атестація	19.11.2020	60	добре
5	Формування висновків до роботи	грудень	100	добре
6	Подання роботи на кафедру	10.12.20 р		
7	Перевірка на плагіат	10.12.20 р		
8	Рецензування	16.12.- 19.12.20 р.		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		100	добре

Студент

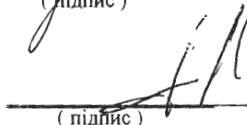


(підпис)

Абдувалієва Гулбахар

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



(підпис)

Гор'єв С. А.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

«Комп'ютерне моделювання та дослідження результату температурно-вітрового радіозондування телеметричних даних радіозонда». Абдувалієва Гулбахар.

Мета роботи: оптимізувати обробку метеорологічних даних куле пілотних спостережень і розробити програмне забезпечення на базі досліджень і математичної моделі розрахунку вітру на висотах.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішення наступних задач:

- ознайомитись з контактними і дистанційними методами визначення параметрів вітру;
- виявити переваги і недоліки в існуючих методах;
- підібрати необхідні матеріали для реалізації завдання;
- побудувати математичну модель розрахунку характеристик вітру на висотах по даним куле пілотного спостереження.

В основу визначення напрямку й швидкості вітру в шарах атмосфери покладений метод куле пілотного спостереження.

У роботі була розроблена математична модель у візуальному середовищі програмування MATLAB, де була створена програма для розрахунку швидкості й напрямку вітру на висотах та створена модель просторової траєкторії польоту радіозонду.

Була розроблена імітаційної моделі польоту радіозонду по даним Одеського гідрометеоцентру. Розроблене програмне забезпечення розрахунку параметрів вітру при радіозондуванні може бути використані при розробці спеціалізованого програмного забезпечення аерологічних станцій.

Магістерська робота містить: 88 стор., рис. 25, табл. 3, 1 додаток на 12 стор., використаних джерел 21.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: зондування, радіолокація, вітер, атмосфера, спостереження, куле-пілот, методи.

SUMMARY

"Computer modeling and research of the result of temperature-wind radio sounding of telemetry data of the radiosonde". Abduvalyeva Gulbahar.

Objective: to optimize the processing of meteorological data of the pilot observations and to develop software based on research and a mathematical model for calculating wind at altitudes.

To achieve this goal it is necessary to solve the following tasks:

- to get acquainted with contact and remote methods of determination of wind parameters;
- identify the advantages and disadvantages of existing methods;
- select the necessary materials for the task;
- to build a mathematical model for calculating wind characteristics at altitudes according to the pilot observation sphere.

The basis for determining the direction and speed of the wind in the atmosphere is the method of a pilot observation sphere.

In the master's thesis, a mathematical model was developed in a visual, object-oriented programming environment MATLAB, which created a program for calculating wind speed and direction at altitudes and created a model of the spatial trajectory of the radiosonde.

A simulation model of the radiosonde flight was developed according to the data of the Odessa Hydrometeorological Center. The developed software for calculating wind parameters during radio sounding can be used in the development of specialized software for aerological stations of the hydrometeorological center.

Master's thesis contains: 88 pp., Fig. 25, 1 appendices on 12 p., used sources 21.

KEYWORDS: sounding, radar, wind, atmosphere, observation, bullet pilot, methods.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки	8
Вступ	9
1 Методи і засоби вітрового зондування атмосфери.....	12
1.1 Контактні методи вивчення атмосферних вітрових полів	13
1.2 Дистанційні методи вивчення атмосферних вітрових полів.....	16
1.2.1 Акустичні системи вітрового зондування (содари).....	16
1.2.2 Радарні вітрові профайлери	17
1.2.3 Системи радіоакустичного зондування.....	19
1.2.4 Лідари.....	20
2 Методи визначення характеристик вітру у вільній атмосфері	22
2.1 Методи отримання інформації.....	22
2.2 Підйомна сила і вертикальна швидкість куле-пілота.....	26
2.3 Проведення і обробка інформації вітрових спостережень на висотах	28
3 Розробка, моделювання та розрахунок напрямку та швидкості вітру по первинним даним польоту радіозонда гідрометеорологічного центру Чорного та Азовського морей.....	36
3.1 Основи радіолокаційного методів виміру вітру у вільній атмосфері....	36
3.1.1 Зв'язок сферичних і прямокутних координат.....	36
3.1.2 Визначення кутових просторових координат радіозонда	39
3.1.3 Вертикальна швидкість підйому кулі-пілота.....	40
3.1.4 Обчислення траєкторії польоту кулі-пілота та просторова візуалізація польоту кулі-пілота	45
3.1.5 Розрахунок середнього вітру з використання правила векторного додавання в товщині шаруючи векторів швидкості ...	52
3.2 Побудова розподілу напрямку вітру у вигляді кутової діаграми в полярних координатах	55

3.3 Комп'ютерна модель просторової візуалізації польоту радіозонда з відображенням характеристик вітру на висотах	61
3.3.1 Просторова візуалізація траєкторії польоту радіозонда.....	61
3.3.2 Імітаційна модель просторової візуалізації польоту радіозонда	63
3.3.3 Імітаційна модель просторової візуалізації польоту радіозонда з відображенням параметрів вітру	67
Висновки.....	74
Перелік джерел посилання	76
Додаток А Програмний код реалізації обчислення траєкторії польоту кулі-пілота та просторової візуалізації польоту кулі-пілота.....	78

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ГМЦ – гідрометеорологічний центр.

РЛС – радіолокаційна станція.

С-О-Ю – вісь вимірювання «Север – 0 – Юг» (рос.).

ЧАМ – чорне та азовське море.

APP – Active Position Property.

MATLAB – пакет прикладних програм «Matrix Laboratory».

RWP – Radar Wind Profilers.

ВСТУП

У всіляких сферах життєдіяльності людини потрібна інформація про вітрові характеристики атмосфери. У цей час для визначення таких параметрів вітру, як його швидкість і напрямок, усе більше широке поширення одержують дистанційні методи зондування атмосфери. Перспективою розвитку засобів одержання інформації про турбулентні вітрові поля є використання радіофізичних методів, що забезпечують дистанційність й оперативність вимірів й обмежень, що мають менше, на просторовий і тимчасовий дозвіл одержуваних даних, чим виміру за допомогою традиційних датчиків.

Крапкові виміри вектора швидкості вітру не дають об'єктивну картину стану вітрового поля, тому виникає необхідність використати багато точкове зондування. Методи дистанційного зондування в цьому випадку дозволяють досягти високої точності, не спотворюючи результати шляхом впливу на навколишнє середовище.

Виміру компонентів вектора швидкості вітру при дослідженні атмосферної турбулентності можуть проводитися з використанням вітрових датчиків, наприклад, чашкових або акустичних анемометрів, установлених на метеорологічних щоглах різної висоти. Але ці виміри мають контактний характер і не дозволяють одержати профіль вітру по висоті або його основні характеристики.

Інший розповсюджений тип приладів – радіозонди, які використають оболонку, що піднімається, з вимірювальними приладами, наповнену воднем або гелієм.

Аерологічні виміри являють собою частину однієї із самостійних метеорологічних величин – аерологія.

Один з напрямків аерології є вивчення повітряних плинів на різних висотах, метою якого є одержання фізичних величин, що характеризують стан атмосфери на цих висотах. Результати цих вимірів широко використаються в службі для складання аерологічних карт, вертикальних розрізів тощо. Особ-

ливо широко результати використовуються в авіації й космонавтиці й в авіації. Розподілу вітру з висотою, турбулентність атмосфери, зледеніння літака – все це має велике значення для успішного й безпечного проведення польотів.

Найбільш простим у сучасній аерологічній практиці є метод куле пілотне спостережень за допомогою радіолокаторів, спостереження можуть проводитися, у будь-яку погоду й у будь-який час доби не залежно від видимості кулі (у тумані, у хмарах, у нічний час).

Ціль роботи: оптимізувати обробку метеорологічних даних куле пілотних спостережень і розробити програмне забезпечення на базі досліджень і математичної моделі розрахунку вітру на висотах.

Для одержання інформації про вітер у всій товщі атмосфери необхідно використати такі штучні об'єкти, які б переміщалися не тільки в горизонтальному, але й у вертикальному напрямках. Такими об'єктами є кулі-пілоти, радіозонди. Найбільше зручно й наочно оцінювати адекватність контролю й обробки первинні дані є графічна візуалізація: сферичні координати й висоту підйому радіозонда; горизонтальну траєкторію польоту радіозонда; просторова траєкторію польоту радіозонда.

Сутність куле пілотного методу полягає у визначенні траєкторії кулі-пілота, що під впливом заданої йому піднімальної сили піднімається нагору, одночасно зміщаючись по горизонталі, і захоплюється повітряними плинами. Горизонтальна проекція траєкторії кулі дає можливість визначити швидкість і напрямок вітру в різних шарах атмосфери.

Спостереження за переміщенням кулі-пілота ведуться за допомогою радіолокатора (радіолокаційні методи). Для побудови проекції кулі в заданий момент часу потрібно знати його азимут, вертикальний кут або кут місця й горизонтальне видалення.

За результатами первинних даних радіозондування Одеського гідрометеоцентру (ГМЦ) проведені розрахунки паромірів вітру у пакеті прикладних програм (ППП) MATLAB.

Графіки відображення польоту радіозонда і змін швидкості та напрямку вітру допомагають у обробці метеорологічних даних. Також графіки можуть використовуватися службою погоди для побудови аерологічних чи висотних карт. Розвитком методів аерологічних вимірювань і вивчення процесів, що відбуваються у вільній атмосфері, є одним з важливих умов успіхів синоптичної метеорології. Отримана графічна візуалізація дозволяє проводити синоптичний аналіз циркуляції в атмосфері.

Отримані результати можуть бути використані в обчислювальних комплексах, що встановлюється в робочому приміщенні метеорологічної станції з базовим і спеціальним програмним забезпеченням, що працює в операційній системі Windows, що разом зі спостерігачем у реальному масштабі часу.

1 МЕТОДИ І ЗАСОБИ ВІТРОВОГО ЗОНДУВАННЯ АТМОСФЕРИ

Інформація про вітер і його параметри: турбулентності, поривах, зрушення і градієнтах вітру надзвичайно важлива для дуже великого числа споживачів, починаючи від метеослужб аеропортів і закінчуючи простими людьми, які планують вийти з дому. В даний час найпоширеніші засоби вимірювань вітру – анемометри, які встановлюють на щоглах різної висоти. Але ці вимірювання мають контактний характер і не дозволяють отримати профіль вітру по висоті або його основні характеристики.

Інший поширений тип приладів – радіозонди, які використовують піднімаючу оболонку з вимірювальними приладами, наповнену воднем або гелієм. Реєструючи за допомогою радіолокатора положення оболонки в просторі в різні моменти часу (або положення оболонки і доплерівську частоту за рахунок її руху), визначають швидкість вітру на різних висотах. Радіозондування в світі є досі основним засобом визначення вертикального профілю вітру. Але радіозондування, поряд з високою вартістю витратних матеріалів, має недолік, пов'язаний з рідкісною частотою випуску радіозондів (зазвичай 2 – 4 рази на добу). З огляду на те, що вітрове поле може змінюватися кардинально за кілька хвилин, така низька оперативність отримання вітрових даних не влаштовує багатьох споживачів.

Виходом є використання дистанційних засобів вітрового зондування, які оперативно реєструють вітрові характеристики в значних обсягах простору, і можуть завчасно попереджати про небезпечні явища. В даному огляді ми зупинимося на основних методах і засобах дистанційного визначення параметрів вітру, обговоримо фізичні основи вимірювань в кожному випадку. Особливо зупинимося на перевагах і недоліках використовуваних приладів і принципів обмеженнях всіх розглянутих засобів вітрового зондування.

В даний час є чотири основні типи дистанційних вимірювачів вітру. Це содар, які працюють на акустичних хвилях, лідари, що використовують оптичне випромінювання, радіолокатори, що випромінюють і приймають ра-

діохвилі, і радіоакустичні системи, які комбінують акустичне і електромагнітне випромінювання. Всі дистанційні методи зондування засновані на випромінюванні хвиль, які при поширенні через атмосферу розсіюються в зворотному напрямку і реєструються приймачем. Розглянемо кожен з перелічених видів зондування [1,22] ¹⁾.

1.1 Контактні методи вивчення атмосферних вітрових полів

Виміри, в яких датчик знаходиться у безпосередньому контакті з досліджуваним середовищем, називають контактними (аерологічними) методами.

Анемометри. Найбільше поширення серед методів виміру контактним шляхом отримали анемометри. Анемометр – це метеорологічний прилад, який призначається для виміру швидкості повітряного потоку, зокрема вітрів. Існує безліч різних видів анемометра, проте, найпоширеніші складаються з чашкової (чи лопастевої) вертушки, яка закріплюється на осі, сполучений з вимірювальним механізмом.

При виникненні повітряного потоку, вітер штовхає чашки і приводить їх в рух, завдяки чому вони починають крутитися навколо осі. В цей час вимірювальний механізм прочитує інформацію, аналізує і видає на дисплей значення швидкості вітру.

Анемометр використовується, в першу чергу, на метеостанціях. Крім того, такі прилади встановлюються на підприємствах, обладнаних системами кондиціонування виробничих приміщень. Анемометр використовується скрізь, де існує необхідність виміру швидкості повітряного потоку.

Залежно від конструктивних особливостей і принципу дії, виділяють декілька видів анемометрів:

- анемометр чашковий;
- анемометр крильчатий (лопастевий);

¹⁾ [1] Кисельов В.Н., Кузнецов А.Д. Методи зондування навколишнього середовища. Санкт-Петербург: Малоохтінській та ін., 1998. 428 с.

– термоанемометр (анемометр ультразвукового типу).

Чашковий анемометр. Це простий по своєму пристрою прилад для виміру швидкості вітру. Свою назву, цей анемометр отримав завдяки формі лопастей у вигляді півсфер, схожих на чашки.

Чашкові анемометри можуть вимірювати швидкість вітру лише в одній площині, перпендикулярній осі обертання. Потік повітря обертає чашки, і за швидкістю їх обертання обчислюється швидкість вітру.

Крильчатий анемометр. Крильчатий анемометр, також званий «лопастевий анемометр», а якщо перекладати дослівно його назва (windmill anemometer) на українську мову – «млиновий анемометр», з'явився, як результат еволюції і розвитку чашкового анемометра.

Головна відмінність крильчатого анемометра від чашкового полягає в тому, що деталь, що уловлює швидкість вітру виконана у формі вентилятора, а не у вигляді чашок. Потік повітря, потрапляючи на вентилятор, обертає лопасті і за швидкістю їх обертання вимірюється швидкість вітру.

Крильчатий анемометр зовні може нагадувати флюгер. Він також, як і флюгер, міняє свій напрям залежно від напрямку вітру, вибудовуючись уздовж нього. Лопасті, закріплені на кінці анемометра, обертаються із швидкістю вітру. Відповідно, окрім швидкості повітряного потоку, крильчатий анемометр може визначати напрям вітру, і в цьому полягає його перевага перед чашковим анемометром.

Термоанемометр (ультразвуковий анемометр). Ультразвуковий анемометр, в порівнянні з першими двома видами анемометрів, набагато сучасніше і, тому, для інтеграції в системи автоматички найчастіше використовується такий анемометр.

Принцип роботи ультразвукового анемометра ґрунтується на вимірі швидкості звуку між передавачем і приймачем залежно від швидкості вітру. Це високоточні сучасні анемометри, призначені також для вимірювання напрямку вітру. Розрізняють двомірні і тривимірні ультразвукові анемометри. Двомірний анемометр може вимірювати швидкість і напрям тільки горизон-

тальних потоків повітря. Тривимірний анемометр здатний проводити виміри трьох компонент напрямку руху потоку.

Радіозонд. Інший поширений тип контактних приладів – радіозонди, які використовують оболонку, що піднімається, наповнену воднем або гелієм, з вимірювальними приладами. Радіозондування представляє найбільш точні результати безпосередніх контактних вимірів термодинамічних параметрів атмосфери на висотах від рівня землі до 35 – 40 км.

Дані, що отримуються з використанням радіозонда містять інформацію про вертикальні профілі температури, вологості, швидкості і напрям вітру, а також про тиск повітря на заданих рівнях.

Для отримання інформації в атмосферу випускаються у вільний політ невеликі легкі вимірювальні прилади, забезпечені датчиками різних метеорологічних параметрів і радіопередавачем.

Такі прилади, що називаються радіозондами, піднімаються до великих висот за допомогою спеціальних латексних куль (оболонок), що наповнюються легким газом – воднем або гелієм.

Процес радіозондування здійснюється за допомогою інформаційно-вимірювальних систем, обґрунтованих на якому-небудь способі визначення просторових координат радіозонда і що включають окрім самого радіозонда різні пристрої для прийому і обробки інформації. Радіозондування досі у світі є основним засобом визначення вертикального профілю вітру. Але радіозондування, разом з високою вартістю витратних матеріалів, має недолік, пов'язаний з рідкісною частотою випуску радіозондів (звичайно 2 – 4 рази в добу) [1, 22] ¹⁾.

¹⁾ [1] Кисельов В.Н., Кузнецов А.Д. Методи зондування навколишнього середовища. Санкт-Петербург: Малоохтінській та ін., 1998. 428 с.

1.2 Дистанційні методи вивчення атмосферних вітрових полів

Нині є чотири основні типи дистанційних вимірників вітру. Це содари, які працюють на акустичних хвилях; лідари, що використовують оптичне випромінювання; радіолокатори, випромінюючі і приймаючі радіохвилі; і радіоакустичні системи, які комбінують акустичне і електромагнітне випромінювання [1, 22]¹⁾.

1.2.1 Акустичні системи вітрового зондування (содари)

При акустичному зондуванні в атмосферу випромінюється пакет звукових хвиль, який при поширенні розсіюється на акустичних неоднорідностях атмосфери. Джерелом акустичних неоднородностей в атмосфері є неоднорідності поля вітру і температури, які в першу чергу пов'язані з турбулентними рухами. Відбиті звукові хвилі реєструються акустичним приймачем, розташованим, як правило, поблизу джерела випромінювання (моностатичний содар).

За часом затримки відбитого сигналу визначають дальність розсіювання R , по потужності відбитого сигналу можна судити про інтенсивність турбулентності, а по доплерівському зрушенню частоти – визначати проекцію вітру на напрям зондування.

Інтенсивність взаємодії акустичної хвилі з атмосферними неоднорідностями дуже велика, приблизно в мільйон разів сильніше, ніж для електромагнітних хвиль. Тому в результаті взаємодії відбувається не лише розсіяння хвиль, але і їх сильне поглинання і рефракція. Це призводить до того, що висота акустичного зондування зазвичай не перевищує 1000 м.

Гідністю содарів є їх відносна простота і невисока вартість. Вони досить надійно забезпечують вимір швидкості і напрямку вітру в діапазоні висот

¹⁾ [1] Кисельов В.Н., Кузнецов А.Д. Методи зондування навколишнього середовища. Санкт-Петербург: Малоохтінській та ін., 1998. 428 с.

від 20 до 200 – 800 м при відносно високому вертикальному розділенні (близько 5 – 50 м).

До недоліків слід віднести те, що випромінюваний сигнал (зазвичай в діапазоні 1-10 кГц) є чутним для людського вуха і викликає неприємні відчуття у людей, тому содары рекомендується використати поза населеними пунктами. Гранична висота зондування сильно залежить від метеорологічних умов під час вимірів, знижується за наявності температурних інверсій в атмосферному пограничному шарі, при сильній турбулентності і сильних вітрах.

Виміри дуже чутливі до сторонніх звуків, тому виміри практично неможливо проводити при високому рівні фонових шумів і за наявності рідких опадів [2, 22]¹⁾.

1.2.2 Радарні вітрові профайлери

Вітрові радіолокації профайлери Radar Wind Profilers (RWP) використовують довгохвильову частину спектру частот. Смуги, в яких працюють типові виміри радіолокацій, складають:

- 30 – 60 МГц (довжина хвилі 10 м ÷ 5 м);
- 400 – 550 МГц (довжина хвилі 0,75 м ÷ 0,55 м);
- 900 – 1300 МГц (довжина хвилі 0,3 м ÷ 0,23 м).

У Росії для цілей метеозабезпечення збройних сил розроблений доплерівський вітровий радіолокаційний лідар, працюючий в діапазоні 35 ГГц (довжина хвилі 8 мм).

Фізика формування сигналу в радарях відрізняється від содарів і лідарів тим, що за час імпульсу зондування, який має масштаб 10^{-6} с, розсіювачі встигають зрушитися на декілька мікрон. В порівнянні з довжиною хвилі радіолокаторів – це нікчемна величина, тому імпульс освітлює як би застиг-

¹⁾ [2] Павлов Н.Ф. Аерологія, радіометеорологія і техніка безпеки. Санкт-Петербург: Ленінградська друкарня №8, 1980. 434 с.

лий в просторі ансамбль розсіювачів. Радар зазвичай випромінює пакет з декількох сотень імпульсів з періодом повторення, який пов'язаний з дальністю зондування очевидним співвідношенням:

$$R_{max} = c\tau_{повт} / 2,$$

де c – швидкість світла,

$$\tau_{повт} = 10^{-3},$$

тоді $R_{max} = 150$ км.

На фазовому детекторі приймальної системи реєструється фаза кожного імпульсу, яка змінюється від імпульсу до імпульсу за рахунок зміщення часток за час повторення. В результаті на приймачі реєструється послідовність імпульсів, що огинаюча яких і дає доплерівський сигнал. Такий режим вимірювань називають імпульсно-когерентним. Проте, при такому режимі існує обмеження іншого роду.

Пов'язано воно з тією вимогою, що за період повторення імпульсів частки не повинні зрушуватися занадто сильно. Максимально допустиме зрушення не повинне перевищувати чверть довжини хвилі радіолокатора. Це пов'язано з тим, що для того, щоб прописати синусоїду на приймачі має бути не менше двох відліків на період синусоїди. З цієї вимоги витікає умова $1/\tau_{повт} = 4V_{max}/\lambda$. Чим більше діапазон вимірюваних швидкостей, тим вищою має бути частота повторення імпульсів.

При цьому, очевидно знижуватиметься максимальна однозначна дальність зондування R_{max} . В результаті для імпульсно когерентних радіолокаційних станцій (РЛС) отримуємо наступне обмеження:

$$V_{max}R_{max} = c\lambda / 8.$$

З цього співвідношення виходить, що для вимірювання високих швидкостей на великих дальностях слід вибирати як можна більшу довжину хвилі.

А перехід в сантиметровий або міліметровий діапазон, який дуже привабливий з точки зору міри взаємодії випромінювання з розсіювачами, обмежуватиме або дальність, або вимірювану максимальну швидкість.

Для таких систем розсіювачами є дрібний і великий аерозоль, опади будь-якого типу і практично більшість типів хмар. Найкращі технічні показники такі вимірювачі демонструють в несприятливих погодних умовах, при сильному вітрі, в опадах, туманах, хмарності, тобто в тих умовах, коли інші типи профайлерів або не працюють, або втрачають заявлену точність.

Перевагами даних вимірювань є:

- компактність і мале енергоспоживання;
- працездатність в несприятливих і небезпечних метеоумовах;
- надійність системи: працездатність незалежно від погодних умов при температурі від мінус 40 до плюс 55 градусів Цельсія, вологості до 95 % на висоті до 3000 м над рівнем моря, при наземному вітрі до 30 м / с.

Недоліком міліметрових радіолокацій лідарів є – можливість пропуску вимірів із-за слабкого відбитого сигналу в спокійній метеорологічній ситуації, при ясній безхмарній атмосфері, слабкому вітрі [2, 22] ¹⁾.

1.2.3 Системи радіоакустичного зондування

Принцип радіоакустичного виміру швидкості вітру полягає в штучному створенні в атмосфері відбиваючої неоднорідності у вигляді звукових ґрат. Звуковий пакет лоцірують за допомогою радара, підбираючи довжину хвилі радіолокатора такій, щоб виконувалася умова Брега, а саме: довжина хвилі радіолокатора має бути удвічі більше довжини звукової хвилі. Швидкість поширення звукової хвилі складається зі швидкості звуку, яка визначається тільки температурою, і швидкістю вітру.

¹⁾ [2] Павлов Н.Ф. Аерологія, радіометеорологія і техніка безпеки. Санкт-Петербург: Ленінградська друкарня №8, 1980. 434 с.

Проводячи виміри у вертикальному напрямі можна отримати профіль температури, яку потім використати для отримання швидкості вітру. Зручність радіоакустики полягає в тому, що швидкість вітру реєструється не на нульових доплерівських частотах, а на частоті, зрушеній на швидкість звуку. Це полегшує селекцію сигналу. Недоліки радіоакустики полягають в спотворенні звукових грат як за рахунок розсіяння на турбулентності, так і за рахунок градієнтів вітру і сильної рефракції. В результаті зі збільшенням відстані звуковий пакет розпливається, і відбитий сигнал радіолокації різко слабшає або пропадає зовсім. З цієї причини вітер середньої сили, близько 10 м / с, часто створює настільки несприятливі умови, що виміри стають неможливими [3, 22] ¹⁾.

1.2.4 Лідари

Умовно лідарні засоби для вітрових вимірів можна розділити на недоплерівські і доплерівські системи.

Недоплерівські виміри обґрунтовані на зміщенні максимуму взаємної просторово-часової кореляційної функції інтенсивності, отриманої на різних рівнях конуса зондування, який описує лазерний промінь в напрямі близькому до вертикалі. Фактично відбувається стеження за переміщенням неоднорідностей відбиваності в горизонтальній площині. За часом і напрямком зміщення неоднорідностей проводиться оцінка швидкості і напрямку вітру на заданій висоті зондування.

Недоліком такого методу є можливе невиконання умови стаціонарності поля відбиваності при горизонтальному переміщенні розсіювачей. При перенесенні аерозолів до іншої ділянки конуса за рахунок турбулентності і вертикальних переміщень центр тяжіння неоднорідностей зміщується не так, як середній вітер, що призводить до наростання погрішностей вимірів або не-

¹⁾ [3] Толмачева Н.И., Калинин Н. А. Аэрология (методы зондирования атмосферы): учебник. Пермь: ПГНИУ, 2011. 336 с.

можливості їх проведення. Ймовірно, тому ці методи вітрового зондування досі не знайшли серійного застосування.

Допплерівські лідари у свою чергу бувають некогерентні і когерентні. Некогерентні доплерівські лідари реєструють сигнал розсіяний на аерозолях або молекулах повітря. Розсіяне випромінювання збирають телескопічним приймачем і аналізують на інтерферометрі. При цьому відбувається пряме детектування сигналу на різних частотах (каналах). Вимірюється доплерівське зрушення частоти прийнятого сигналу, по якому визначають проекцію вітру на напрям зондування. При кінчному зондуванні це дозволяє визначати і швидкість, і напрям вітру на різних висотах.

Якщо розсіювання відбувається на аерозолях, то отримують досить вузький сигнал, який зручно інтерпретувати. На великих висотах, де аерозолів майже немає, основний сигнал формується при розсіюванні на молекулах повітря. Ця властивість є перевагою методу порівняно з недоплерівськими лідарами, які не можуть працювати у відсутності аерозолів.

Проте, при молекулярному розсіянні спектр сигналу набагато ширший, ніж при аерозольному розсіянні, через що реєстрація доплерівського зрушення стає скрутною, і потрібно довготривале накопичення сигналу для аналізу [4, 22] ¹⁾.

¹⁾ [4] Посудін Ю.І. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища. Київ: Світ, 2003. 288 с.

2 МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВІТРУ У ВІЛЬНІЙ АТМОСФЕРІ

З переміщеннями повітря в процесі загальної циркуляції атмосфери пов'язані основні зміни погоди. Повітряні маси, переміщаючись з одних областей Землі в інші, приносять різні умови по температурі, вологості і хмарності. Вітер викликає хвилювання водних поверхонь, океанічні течії, дрейф льодів, бере участь в процесах ерозії, рельєфні утворення і є найважливішим параметром для прогнозу погоди.

Вітром називають рух повітря відносно земної поверхні, а вся система повітряних течій на Землі становить загальну циркуляцію атмосфери. Вихрові рухи великого масштабу – циклони і антициклони, постійно виникаючі в атмосфері, роблять систему повітряних течій дуже складною. Швидкість вітру характеризує швидкість переміщенням повітря відносно земної поверхні і вимірюється в метрах в секунду (м / с), кілометрах в годину (км / год) або в вузлах, вузол – це одна морська миля (1852 м / год, тобто 5 м / с).

В наш час практично у всіх країнах світу за одиницю виміру швидкості вітру в аерологічних вимірах прийнятий метр в секунду, лише в окремих регіонах (наприклад, в Антарктиді) вітер позначається у вузлах [5, 22] ¹⁾.

2.1 Методи отримання інформації

Визначення параметрів вітру – одна з головних задач зондування атмосфери. Для визначення швидкості і напрямку вітру в вільній атмосфері можуть бути використані два методи: перший метод полягає в спостереженні з земної поверхні за переміщенням об'єктів, вільно захоплюючись повітряними потоками і переміщаються зі швидкостями цих потоків; другий метод полягає у вимірюванні тиску повітряного потоку на нерухоме тіло. Якщо перший

¹⁾ [5] Ficher K.W., Abreu V.J., McGill M.J. et al. Optical Engineering. 1995. V.34. №2. P. 511.

метод передбачає використання випуску у вільний політ речовин, вага яких менше ваги повітря, то в другому методі вимірювальні прилади піднімаються в вільну атмосферу за допомогою носіїв, швидкість переміщення яких в атмосфері відрізняється від швидкості повітряних потоків.

При використанні першого методу об'єктами спостережень, що переміщуються зі швидкостями повітряних потоків, можуть бути об'єкти як природного, так і штучного походження. Природними об'єктами можуть бути хмари, розташовані на різних висотах, метеорні сліди, що залишаються в атмосфері після сгорання метеорів. Спостереження за рухом сріблястих хмар є важливим джерелом інформації про вітер на великих висотах. Отримання інформації про вітер у вільній атмосфері, засноване тільки на використанні природних об'єктів, носить випадковий характер, так як вони утворюються в атмосфері епізодично і не на всіх висотах, а відомості про вітер необхідні у всій товщині атмосфери.

Об'єктами, штучно створеними в атмосфері з метою отримання її вітрових характеристик, можуть бути димові хмари або хмари парів натрію, що закидається на певну висоту за допомогою артилерійських снарядів або ракет. Такі штучні об'єкти дозволяють визначати вітер на заздалегідь заданих висотах [6, 22] ¹⁾.

Для отримання інформації про вітер в усій товщі атмосфери необхідно використати такі штучні об'єкти, які б переміщалися не лише в горизонтальному, але і у вертикальному напрямках. Такими об'єктами є куле-пілот, радіопілот, радіозонд, вільні аеростати, а також метеорологічні ракети. При використанні іншого методу найчастіше застосовуються привязні носії (привязний аеростат), с допомогою яких вимірювальні прилади утримуються деяку годину на заданій висоті, коли проводяться виміри. У оперативних умовах для отримання інформації про вітер використовують куле-пілот, радіопілот і радіозонд.

¹⁾ [6] Банах В.А., Смаліхо І.Н. Когерентные доплеровские ветровые лидары в турбулентной атмосфере. Томск: Институт оптики атмосферы РАН, 2013. 304 с.

Визначення швидкості та напрямку вітру є допомогою куле-пілотів обґрунтоване на вимірі координат кулі, випущеної у вільний політ в атмосферу, за певний інтервал часу. Для забезпечення виміру на різних висотах куле-пілот наповнюють легким газом. Такий куле-пілот, маючи підйомну силу, що визначена законом Архімеда, одночасно із захопленням його повітряним потоком піднімається вгору, послідовно проходячи шари атмосфери.

За переміщенням куле-пілота із землі стежать за допомогою оптичних кутомірних приладів (аерологічних теодолітів). Залежних від числа використуваних теодолітів розрізняють два способи шаропілотних вітрових вимірів: одноточковий (однопунктний) і базисних (двухпунктний і більше). При одноточкових вимірах у вільний політ випускається куле-пілот з відомою вертикальною швидкістю (підйомною силою), яку вважають постійною в часі (по висоті).

За тимчасові інтервали між вимірами координат куле-пілота і по відомій вертикальній швидкості розраховується середня швидкість вітру і його напрямок в шарі атмосфери, товщина якого визначається вертикальною швидкістю і годиною між відліками. При базисних вимірах немає необхідності в знанні вертикальної швидкості куле-пілота.

У цьому випадку середня швидкість вітру і його напрямок в шарі можуть бути визначені аналітично тільки за результатами наземних вимірів теодолітів координат куле-пілота у функції години. Недоліком шаропілотного способу є зниження його ефективності в темний час доби і в умовах низької хмарності. При малій висоті хмар шаропілот через короткий час ховається в хмарах, і подальше спостереження становиться неможливим.

Для усунення цього недоліку необхідно переходити в таку ділянку спектру електромагнітних коливань, для якої аерозольна атмосфера прозора.

Радіопілотний спосіб вимірювання швидкості і напрямку вітру полягає в тому, що випускається у вільний політ куля, наповнена легким газом, підвішується радіопередавач з джерелом живлення, що випромінює радіосигнали. Сукупність кулі і радіосигнали пристрою називається радіопілотом. За пере-

міщенням радіопілота стежать за допомогою радіотеодоліта, що представляє собою пристрій, призначений для визначення кутових координат джерела радіосигналів в горизонтальній і вертикальній площинах. Методика радіопілотного вимірювання вітру така ж, як і шаропілотних [7, 22] ¹⁾.

У зв'язку з розвитком радіолокаційних методів вимірювань координат об'єктів з'явилася можливість відмовитися від використання підвішуються до кулі радіопередавачів. Їх замінили пасивним відбивачем високочастотної енергії, випромінюваною наземною радіолокаційною станцією. Для вимірювання швидкості і напрямку вітру радіопілотним способом довжина хвилі підвішується до кулі радіопередавача або наземної радіолокаційної станції вибирається в такій ділянці спектра електромагнітного випромінювання, для якого атмосфера і її утворення є прозорими. Наприклад, сучасні наземні радіолокаційні станції, що застосовуються при вітрових вимірах, працюють в метровому і дециметровому діапазонах хвиль. Основною перевагою радіопілотного способу вимірювання швидкості і напрямку вітру в порівнянні з шаропілотними є його незалежність від часу доби і метеорологічних умов, а недоліком – необхідність використання щодо складної радіотехнічної апаратури.

Різновидом радіопілотного способу є комплексний спосіб, сутність якого полягає в тому, що вимірювання швидкості і напрямку вітру проводиться в комплексі з вимірами метеорологічних елементів вільної атмосфери (температури, вологості і тиску). При проведенні радіозондування атмосфери до наповненої легким газом кулі підвішується радіозонд, що представляє собою прилад, що вимірює метеоеlementи, і радіопередавальний пристрій. Результати вимірювань по радіоканалу передаються на наземний пункт. Наземна апаратура системи радіозондування здійснює прийом інформації та одночасно визначає координати радіозонда в момент вимірювань радіолокаційним

¹⁾ [7] Иванов В.Э., Фридзон М.Б., Ессяк С.П. Радиозондирование атмосферы. 2004, Екатеринбург: ЕГУ, 596 с.

способом. Результати вимірювань координат радіозонда використовуються для отримання даних про висоту і вітер [8, 22]¹⁾.

2.2 Підйомна сила і вертикальна швидкість куле-пілота

Найбільш поширеним способом визначення вітру є спостереження за повітряною кулею еластичною, зазвичай гумовою оболонкою, наповненою газом легше повітря. На швидкість підйому кулі впливають різні сили, значення яких залежить від його розміру, властивостей газу і атмосферних умов. Оболонка куле-пілота по мірі наповнення її воднем або гелієм розтягується і набуває сферичної форми. Тиск газу всередині оболонки перевищує тиск навколишнього повітря, тобто виникає так зване супертиск, який врівноважується пружними силами оболонки.

Відповідно до закону Архімеда, всяке тіло, занурене в рідину (повітря), втрачає у вазі стільки, скільки важить об'єм повітря, витісненого цим тілом. Отже, на наповнену легким газом (воднем або гелієм) оболонку буде діяти деяка виштовхуюча сила. Якби оболонка не мала маси, ця сила була б рівна різниці між масою витісненого кулею повітря (архімедовою силою) і масою водню. Ця різниця називається повною підйомною силою кулі або вантажопідйомністю оболонки. Якщо ми позначимо об'єм кулі через V (м^3), питому масу (щільність) повітря через ρ_V ($\text{г} / \text{м}^3$) і питому масу водню через ρ_H ($\text{г} / \text{м}^3$), а повну підйомну силу через E , то:

$$E = \rho_V V - \rho_H V.$$

Різниця щільності повітря і водню ($\rho_V - \rho_H$) є не що інше, як повна підйомна сила, віднесена до одиниці об'єму, тобто питома підйомна сила, яку ми позначимо через e . Тоді:

¹⁾ [8] Радиозондирование атмосферы. URL: <http://www.ria-stk.ru/mi/adetail.php?ID=30717> (дата звернення: 07.11.2020)

$$e = p_B - p_H.$$

При нормальних умовах (тобто при $p = 1000$ гПа та $t = 0^\circ$ C) $p_B = 1293$ г / м³, $p_H = 90$ г / м³, $e = 1203$ г.

Щільність гелію = 180 г / м³ і відповідно $e_{\text{He}}=1113$ г. Питома підйомна сила гелію на 7,5% менше питомої підйомної сили водню. Однак оболонка має свою масу або несе вантаж (радіозонд, мішень, ліхтарик). Позначимо масу оболонки з вантажем через B . Різниця між повною підйомною силою E і масою B називається вільною підйомною силою кулі. Позначимо її через A :

$$A = E - B \quad \text{або} \quad A = p_B V - p_H V - B.$$

При підйомі кулі зовнішній тиск зменшується, і тиск газу, що знаходиться в оболонці, змушує її розтягуватися. Внутрішній зверх тиск весь час врівноважується пружними силами оболонки [9, 22] ¹⁾.

Покажемо, що вантажопідйомність кулі з висотою не змінюється. Будемо вважати, що тиск газу всередині кулі приблизно дорівнює тиску повітря зовні, а температура газу дорівнює температурі повітря.

Вертикальна швидкість куле-пілота. Вільна подйомна сила A надає кулі прискорення, завдяки якому випущений в вільний політ куля рухається вгору. Як тільки куля починає підйом, на нього починає діяти сила опору повітря F , спрямована вниз. Опір повітря F зростає до тих пір, поки не стане рівним A . На рис. 1 показано зміну співвідношення F і A в міру руху кулі вгору. Поки A більше F , куля буде підніматися з ускоренням. Коли F стає рівним A , рух кулі вгору продовжується з постійною вертикальною швидкістю $w=\text{const}$. Постійність вертикальної швидкості – допущення методу шаро- пілотних спостережень.

¹⁾ [9] Крэкнелл А.П. Дистанционное зондирование в метеорологии, океанографии и гидрологии. Москва: Мир, 1984. 320 с.

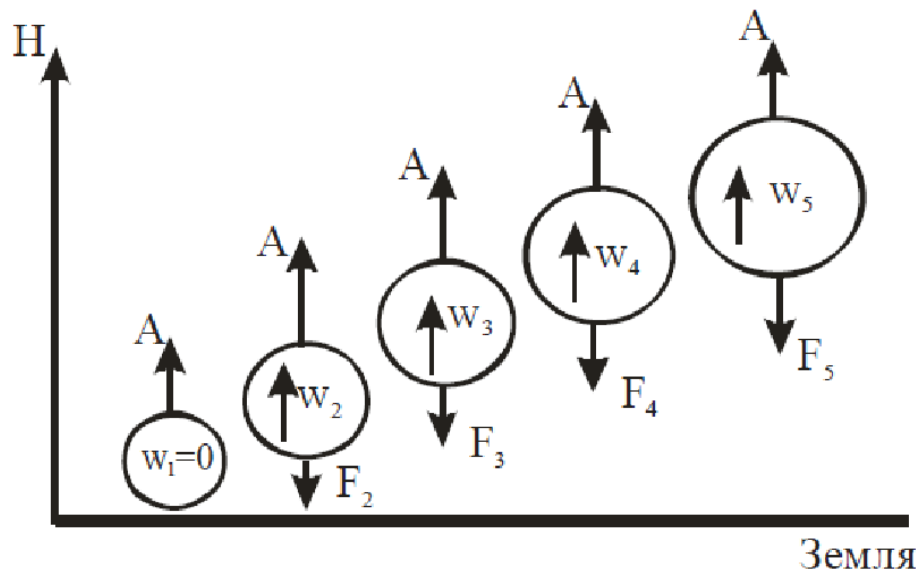


Рисунок 1 – Зміна сили опору F при підйомі куле-пілота ($F_5 = A$)

Опір повітря залежить від розмірів кулі, стану атмосфери, щільності повітря ρ_B і вертикальної швидкості w (м / хв):

$$F = k\rho c^2 w^2,$$

де k – коефіцієнт опору куле-пілота, залежить від турбулентності атмосфери;

c – довжина кола, см.

2.3 Проведення і обробка інформації вітрових спостережень на висотах

Однокрапкові (однопунктні) шаропілотні спостереження. Метод куле-пілотів, які спостерігаються з одного пункту, є найбільш простим методом вимірювання швидкості і напрямку повітряних течій у вільній атмосфері. Методика і порядок виробництва шаропілотних спостережень з одного пункту викладені в повчанні гідрометеорологічним станціям і постам.

Стеження за польотом кулі в просторі проводиться за допомогою спеціальних аерологічних теодолітів. При цьому вимірюються вертикальний і

горизонтальний кути, під якими видно куля в певні моменти часу. При обробці одноточкових (однопунктних) шаропілотних спостережень передбачається, що вертикальна швидкість кулі постійна. Це дозволяє обчислювати висоту шаропілота для кожного моменту часу, щодо якого проводяться відліки кутів. Відлік робляться через 0,5 або 1 хв. По висоті кулі, вертикальному і горизонтальному кутах знаходяться проекції кулі на горизонтальну площину. За горизонтальним проекція кулі для послідовних моментів часу визначаються швидкість і напрям вітру в шарі атмосфери.

Для виробництва шаропілотних спостережень необхідні газ для їх наповнення, спеціальні аерологічні теодоліти для вимірювання кутових координат і планшет для графічної обробки результатів вимірювань. Для однопунктних шаропілотних спостережень застосовуються латексні оболонки №№ 10, 20, 30. Чим більше номер оболонки, тим більше вертикальна швидкість і можлива висота підйому. Розмір оболонок підбирається з урахуванням швидкості вітру і спостерігається в момент випуску хмарності.

З огляду на те, що куля з малою вертикальною швидкістю при сильному вітрі може швидко зникнути з поля зору спостерігача, оболонки № 10 вживаються тільки при слабкому вітрі і низької хмарності. Оболонки № 20 випускаються при хмарах середнього ярусу і швидкості вітру менше 10 м / с. Оболонки № 30 застосовуються для досягнення великих висот при ясній погоді, при хмарах верхнього або середнього ярусу і сильному вітрі [10, 22] ¹⁾.

Проведення шаропілотних спостережень. Перед випуском кулі слід підготувати теодоліт – встановити його на тринозі, вирівняти по рівнях, орієнтувати до сторін світу; для запису відліків підготувати книжку КАЕ-1. Потім слід наповнити оболонку і визначити вертикальну швидкість кулі. Перед випуском оболонки спостерігач спрямовує зорову трубу теодоліта в ту сторону, куди буде нестися куля. За 5 хв. до випуску виробляються метеорологічні спостереження. У книжці КАЕ-1 записується тиск, температура і вологість

¹⁾ [10] Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2000. 778 с.

повітря, швидкість і напрямок вітру біля землі, кількість і форма хмар, час випуску. Після випуску спостерігач наводить трубу теодоліта на кулю за допомогою мушки і цілика, потім, коли куля-пілот потрапить в поле зору труби теодоліта, мікрометренними гвинтами проводиться точна наводка. Перші 3 хв після випуску кулі відліки кутів виробляються через 0,5 хв., далі через 1 хв., щоб отримати більш детальні відомості про вітер в прикордонному шарі атмосфери. Спостерігач виробляє відлік вертикального, потім горизонтального кута з точністю до $0,1^\circ$.

Спостереження ведуться до тих пір, поки кулю-пілот видно в теодоліт, і припиняються тільки тоді, коли він увійшов в хмару, лопнув, став невидимий через туман, опади, злиття з фоном. При входженні в хмару куля починає паморочитися, і цей момент відзначається з точністю до 1 с. По ньому визначають нижню межу хмар. Для спостережень в темний час доби до кулі-пілотові за допомогою шпагату довжиною 1,5 – 2 м підвішується електричний обертається ліхтарик. Маса ліхтарика враховується при визначенні вертикальної швидкості куле-пілота [11, 22] ¹⁾.

Методи визначення підйомної сили і вертикальної швидкості куле-пілота. Метод одноточкових спостережень заснований на припущенні сталості вертикальної швидкості куле-пілота. З цією метою обрані стандартні вертикальні швидкості 200 і 240 м / хв., для яких за допомогою формул, наведених раніше, розраховані норми наповнення оболонки в залежності від її маси або діаметра при стандартних умовах, тобто при температурі 20°C і тиску 1013 гПа (760 мм рт. ст.). Ці норми дані в повчанні у вигляді таблиць, в яких для конкретної маси оболонки наведено значення вантажопідйомності кулі.

Визначивши за допомогою таблиць вантажопідйомність, слід відповідно їй наповнити оболонку. Наповнення здійснюється через шланг, підключений до балона за допомогою спеціального штуцера з набором важків, що входять в комплект ШК-50. Загальна маса важків дорівнює обчисленої вантажопідйомності. Штуцер має клапан для відведення водню з оболонки. Но-

¹⁾ [11] Мейсон Б.Д. Физика облаков. Ленинград: Гидрометеиздат, 1961. 542 с.

рма наповнення кулі визначається за допомогою важків, що входять в комплект. У деяких випадках кулі наповнюються до нестандартної вертикальної швидкості. У цьому випадку швидкість підйому можна визначити по масі оболонки і вантажопідйомності або по довжині кола і вантажопідйомності оболонки за таблицями настанови. Довжина кола оболонки вимірюється спеціальною мірною стрічкою, а її вантажопідйомність – важками комплекту ШК-50 [12, 22] ¹⁾.

Обробка шаропілотних спостережень. Обробка шаропілотних спостережень полягає у визначенні швидкості і напрямку вітру на різних висотах по горизонтальних проекції куле-пілота. Для побудови проекцій кулі в даний момент часу необхідно знати його азимут (горизонтальний кут) і горизонтальне віддалення.

Азимут кулі відраховується безпосередньо по горизонтальному колу теодоліта при наведенні на кулю. Горизонтальне віддалення L обчислюється за формулою:

$$L = H \operatorname{ctg}(\beta),$$

де H – висота кулі;

β – вертикальний кут.

Горизонтальні віддалення визначається для кожного моменту відліку кутів. За значеннями горизонтального віддалення и азимута будується траєкторія Кулі. Висота Кулі $H = wt$, де w – вертикальна швидкість, а t – час. За відрізках, що з'єднують кожену пару сусідніх проекцій кулі, можна судити про направлення и швидкості вітру в шарі, пройдений кулею за годину між двома послідовними відліками. На рис. 2 точки A_1, A_2, A_3 та A_4 представляються положення куле-пілота в просторі для тих моментів спостереження, за якими проводиться обробка (для 1, 2, 3 і 4 хвилини спостережень); точки B_1, B_2, B_3 та B_4 – проекції куле-пілота на горизонтальну площину у ті ж моменти; $H_1,$

¹⁾ [12] Методические указания по приведению атмосферного давления к уровню моря и вычислению высот изобарических поверхностей на метеорологических станциях. Ленинград: Гидрометеиздат, 1979. 49 с.

H_2, H_3 і H_4 – висоти кулі; L_1, L_2, L_3 та L_4 – горизонтальні віддалення кулі (рис. 2).

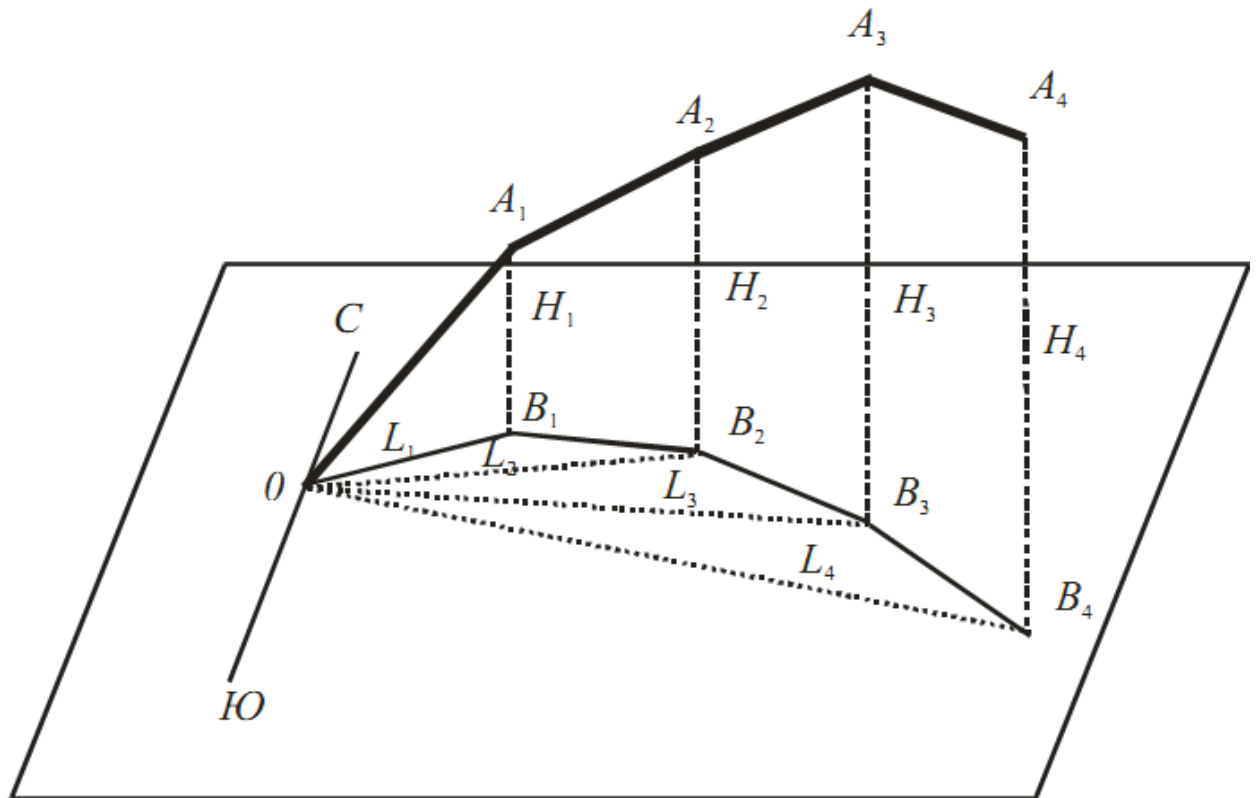


Рисунок 2 – Проекція куле-пілота на горизонтальну площину

По відрізках OB_1, B_1B_2, B_2B_3 та B_3B_4 можна судити про напрямки і середніх швидкостях вітру в шарах, що проходить куля в проміжки часу між послідовними моментами, за якими проводиться обробка. Отримані дані про вітер відносяться до рівня, розташованого на середині відповідного шару [13, 22] ¹⁾.

Обробка даних спостережень за кулею-пілотом проводиться в такому порядку:

- визначають вертикальну швидкість куле-пілота;
- обчислюють висоти куле-пілота для моментів відліків і висоти центрів шарів над поверхнею землі і рівнем моря;

¹⁾ [13] Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. Вып. 3. Ч. 1. 157 с.

- обчислюють висоту хмар;
- наносять проєкції кулі на коло планшета А-30;
- визначають швидкості і напрямку вітру між проєкціями куле-пілота;
- обчислюють швидкості і напрямку вітру для стандартних рівнів.

Графічна обробка шаропілотних спостережень проводиться за допомогою аерологічного планшета А-30, що має форму кола. На планшеті А-30 виконують кілька операцій: графічно обчислюють горизонтальне видалення куле-пілота, в деякому масштабі будують горизонтальну проєкцію його шляху, визначають швидкість і напрям вітру в різних шарах атмосфери.

Планшет складається з трьох частин: самого планшета з номограми, рухомого прозорого кола зі шкалою і рухомої лінійки. Коло являє собою місцевість, над якою переміщається куле-пілот, причому центр кола відповідає пункту спостереження. На колі нанесені поділки від 0 до 360°, напрямом на північ відповідає нульової поділки на колі, на схід – 90°, на південь – 180° і на захід – 270°. Коло служить для нанесення на ньому проєкцій куле-пілота за допомогою лінійки і кутових розподілів кола, які відповідають розподілам горизонтального кола теодоліта (азимуту). Для графічного визначення горизонтального видалення куле-пілота служить номограма, розташована в правому верхньому куті планшета. Ця номограма є сімейство кривих, побудованих за рівняннями. Значення вертикального кута змінюються від 0 до 90°. Кожна крива номограми відповідає в прийнятому масштабі горизонтальному видалення куле-пілота для певної висоти при різних значеннях вертикальних кутів. Криві нанесені до висоти 2000 м через 100 м, від 2000 м до 6000 м через 200 м і від 6000 м до 9000 м через 500 м та оцифровані у одиницях висоти, що виражені у сотнях метрів.

Для графічного визначення горизонтального видалення куле-пілота слід встановити рухому лінійку так, щоб її край проходив через центр діаграми і кутовий розподіл, рівне відліку вертикального кута. Тоді відстань від центру до точки перетину краю лінійки з кривою, що відповідає висоті кулі, є горизонтальним видаленням кулі.

Інша частина планшета заповнена сіткою квадратів зі сторонами, рівними 2 мм. Сітка служить для визначення швидкості вітру. Криві і сітка накреслені в масштабі 1 : 30000, тобто одна поділа сітки відповідає 60 м. Таким чином, якщо цей відрізок є проекція шляху, пройденого кулею за 1 хв, то він зображує швидкість вітру, що дорівнює 1 м / с . Обробка шаропілотних спостережень за допомогою планшета А-30 зводиться до нанесення на целулоїдне коло проекцій куле-пілота і визначенню за цими проекціями швидкості і напрямку вітру [14], [15, 22] ¹⁾.

Побудова проекції куле-пілота проводиться таким чином: край лінійки, що проходить через центр кола, встановлюють на розподіл, що відповідає відліку вертикального кута; зберігаючи лінійку в цьому положенні, підводять до краю, встановленому на вертикальний кут, розподіл обертового целулоїдного кола, відповідне відліку горизонтального кута. У місці перетину краю лінійки з кривою висоти, відповідної оброблюваної хвилині, ставиться зарубка і нумерується оброблюваної хвилиною.

При обробці спостережень, в перші хвилини, зарубки можуть розташовуватися дуже близько. В цьому випадку масштаб збільшують в кілька разів (від 2 до 10). У стільки ж разів слід збільшити і значення висот. Якщо точки не вкладаються на колі в обраному масштабі, то масштаб зменшують. При переході до нового масштабу останню крапку наносять двічі – в старому і новому масштабах. Для визначення швидкості і напрямку вітру рухливий коло повертають так, щоб відрізок, що з'єднує дві сусідні точки, був паралельний лініях сітки, і відраховують напрямок вітру в градусах за шкалою рухомого кола. Значення швидкості вітру визначається числом поділів сітки, які вмістилися між послідовними точками. Сітка розрахована для інтервалу часу між відліками, рівного 1 хв., тому незалежно від зміни масштабу при нанесенні точок через 0,5 хв. кількість поділів множиться на 2, а при нанесенні

¹⁾ [14] Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации России (НМО ГА. 951). Москва, 1995. 156 с.

[15] Перевезенцев Л.Г., Огарков В.Н. Радиолокационные системы аэропортов. Москва: Транспорт, 1991. 360 с.

через 2 хв. – ділиться на 2. Знайдені швидкість і напрям вітру відносяться до середини кожного шару [16, 22] ¹⁾.

Для підйому в атмосферу вимірювальної апаратури застосовуються повітряні кулі або оболонки, наповнені газом легше повітря. Спочатку використовувалися нерозтяжні оболонки з паперу, промасленого шовку та інших матеріалів. В даний час для шаропілотних і радіозондових підйомів використовуються еластичні оболонки, що виготовляються з вулканізованого гумового латексу. Такі оболонки мають велику висоту підйому, ніж нерозтяжні, і їх виготовлення і використання простіше, ніж останніх. Іноді оболонки називають балонами, а підйом приладів на оболонках – балонним зондуванням.

При підйомі еластичних оболонок в верхні шари, тобто при зменшенні зовнішнього тиску, вони рівномірно розтягуються без розвитку значних пружних сил, причому лінійне розтягнення латексної плівки може досягати 700 %. Відзначимо, що латексні оболонки мають достатню міцність і малу газопроникність. Форма латексних куль в розтянутому стані близька до сферичної, що забезпечує відносну сталість швидкості підйому. Вони порівняно стійкі до впливу низьких температур, озону і ультра фіолетової радіації.

Свої властивості оболонки зберігають при тривалому зберіганні. Латексна шаропілотних або радіозондова оболонка має форму еліпсоїда з трубчастим відростком (апендиксом), що служить для її наповнення і підв'язування вантажу. Для додання йому необхідної міцності апендикс роблять з матеріалу в 10 – 20 разів більше товстого, ніж основна оболонка. Оболонки виготовляються різних розмірів, маси і забарвлення. Їх розрізняють по довжині діаметра в незаповненому стані і відповідно до цього дають умовні номери [17, 22] ²⁾.

¹⁾ [16] Павлов Н.Ф. Аэрология, радиометеорология и техника безопасности. Ленинград: Гидрометеиздат, 1980. 432 с.

²⁾ [17] Приборы и установки для метеорологических измерений на аэродромах. Под ред. Л.П. Афиногенова, Е.В. Романова. Ленинград: Гидрометеиздат, 1981. 295 с.

3 РОЗРОБКА, МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК НАПРЯМКУ ТА ШВИДКОСТІ ВІТРУ ПО ПЕРВИННИМ ДАНИМ ПОЛЬОТУ РАДІОЗОНДА ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО ЦЕНТРУ ЧОРНОГО ТА АЗОВСЬКОГО МОРЕЙ

3.1 Основи радіолокаційного методів виміру вітру у вільній атмосфері

Сутність кулепілотного методу полягає у визначенні траєкторії кулі-пілота, що під впливом заданої йому піднімальної сили піднімається нагору, одночасно зміщаючись по горизонталі, і захоплюється повітряними плинами. Горизонтальна проекція траєкторії кулі дає можливість визначити швидкість і напрямок вітру в різних шарах атмосфери. Спостереження за переміщенням кулі-пілота ведуться за допомогою приладів візуально (оптичні методи) або за допомогою радіолокатора (радіолокаційні методи) [18, 22]¹⁾.

Для побудови проекції кулі в заданий момент часу потрібно знати його азимут і горизонтальне видалення. Щоб судити про висоту шаруючи, у якому визначаються швидкість і напрямок вітру, необхідно знати висоту кулі в задані моменти часу.

3.1.1 Зв'язок сферичних і прямокутних координат

Поняття про координати цілі. Положення цілі в просторі визначається координатами. Як відомо, при визначенні місця розташування якої-небудь крапки в просторі можна користуватися різними системами координат. У радіолокації найбільш зручної є сферична система координат. Початок координат сполучений із крапкою розташування РЛС (крапка *O*). Через цю крапку проходить лінія відліку *C-O-Ю*, що лежить у горизонтальній площині. Лінія

¹⁾ [18] Перелигін Б.В., Кузніченко С.Д. Методи і засоби обробки моніторингової інформації. Навчальний посібник. Одеса: ОДЕКУ, 2016. 222 с.

C-O-Ю звичайно сполучається з меридіаном, що проходить через РЛС (рис. 3).

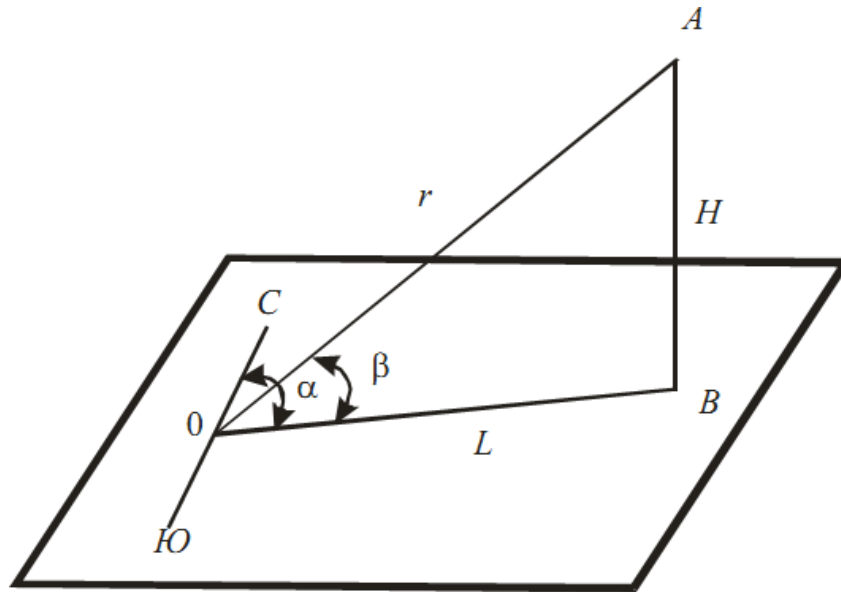


Рисунок 3 – Координати цілі

Положення об'єкта (радіозонда), що перебуває в крапці A , однозначно визначається наступними трьома координатами [19]¹⁾:

- похилою дальністю r , тобто відстанями між станцією й об'єктом по прямої лінії;
- азимутом α , тобто кутом між лінією відліку $C-O-Ю$ й напрямком на об'єкт у горизонтальній площині (азимут називається щирим, якщо відлік виробляється по годинній стрілці від північного меридіана);
- кутом місця β , тобто кутом між напрямком на об'єкт (r) і проекцією цього напрямку на горизонтальну площину (L).

Поняття похилої дальності введене для того, щоб розрізнити відстань між РЛС і об'єктом по прямої лінії й відстань уздовж поверхні землі, що по цій же причині називається горизонтальною дальністю.

¹⁾ [19] Перелигін Б.В., Велика О.І. Методи дистанційного зондування навколишнього середовища: конспект лекцій. Одеса: Екологія, 2012. 179 с.

Значення азимута виробляються від лінії *С-О-Ю* по годинній стрілці в межах від 0 до 360° або у двох напрямках – по годинній стрілці й проти її. Кут, відлічувані по годинній стрілці, вважаються позитивними, проти вартівий стрілки – негативними.

Кут місця відраховує від горизонтальної площини нагору й униз, його значення можуть лежати в межах від 0 до $\pm 90^\circ$. За позитивний напрямок відліку кута місця прийнятий напрямок нагору від горизонтальної площини, за негативне – униз. Метеорологічні й аерологічні РЛС завжди встановлюються на деякій висоті над поверхнею землі, тому вони можуть працювати й при негативних значеннях кута місця.

Похила дальність, азимут і кут місця визначаються РЛС безпосередньо, без яких-небудь додаткових перерахувань. У цьому полягає головне достоїнство сферичної системи координат.

Висота H – найкоротша відстань від об'єкта до горизонтальної площини, що проходить через РЛС, визначається по відомому із тригонометрії співвідношенню:

$$H = r \cdot \sin (\beta).$$

В окремих випадках важливо знати значення горизонтальної дальності:

$$L = r \cdot \cos (\beta).$$

При значних відстанях до мети земну поверхню не можна вважати горизонтальною площиною. Тому наведені формули, що не враховують кривизну Землі, справедливі тільки для невеликих значень дальності r . Уже при r порядку 50 км помилка у визначенні висоти при обчисленні по цих формулах досягає 200 м. Практично для обчислення висоти по даним r й β користуються формулою, що враховує кривизну Землі:

$$\sin(\beta) = \frac{H}{r} - \frac{r}{2 \cdot R_3}$$

де R_3 – радіус Землі, рівний 6370 км [3, 22] ¹⁾.

А також:

$$H = r \cdot \sin(\beta) + \frac{r^2}{2 \cdot R_3}$$

3.1.2 Визначення кутових просторових координат радіозонда

Розрахунок вертикального просторового кута місця й азимута положення радіозонда для моментів часу передачі телеметрії, відповідно до методики [20, 22] ²⁾:

```
beta=VL(:,3)*(0.06*pi/180);
% кут місця, вертикальний кут, радий
beta_g=VL(:,3)*0.06;
% кут місця, вертикальний кут, грд
alfa=VL(:,2)*(0.06*pi/180);
% Азимут, горизонтальний кут, радий
alfa_g=VL(:,2)*0.06;
% Азимут, горизонтальний кут, грд
ho=43;
% висота над рівнем моря м. Одеса
```

Визначення висоти підйому радіозонда, використовуючи кут місця (β) і дальність ($VL(:,4)$) у масиві первинних даних (VL):

```
H=(VL(:,4).*sin(beta))+ho;
RZ=6370000;
% радіус Землі, метр
Dh=VL(:,4);
%дальність
```

¹⁾ [3] Толмачева Н.И., Калинин Н. А. Аэрология (методы зондирования атмосферы): учебник. Пермь: ПГНИУ, 2011. 336 с.

²⁾ [20] Гор'єв С.А. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Збір, обробка, збереження та аналіз моніторингової інформації» для студентів 2-го року навчання денної та заочної форми за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки». Одеса: ОДЕКУ, 2020. 88 с.

```
% Визначень висоти з урахуванням кривизни Землі
H_z=(Dh.*sin(beta))+ho+(Dh.^2)/(2*Rz);
H=[ho;H];
```

Для оцінки рівномірності (сталість) швидкості підйому кулі-пілота ві-
добразимо вертикального тимчасового профілю підйому радіозонда (див.
рис. 4):

```
figure, plot(BL(:,1),H(2:end)/1000), grid
on,set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10)
title('вертикально-часовий профіль підйому радіозонда') ,
xlabel('час хв') ,ylabel(' висота км '),
```

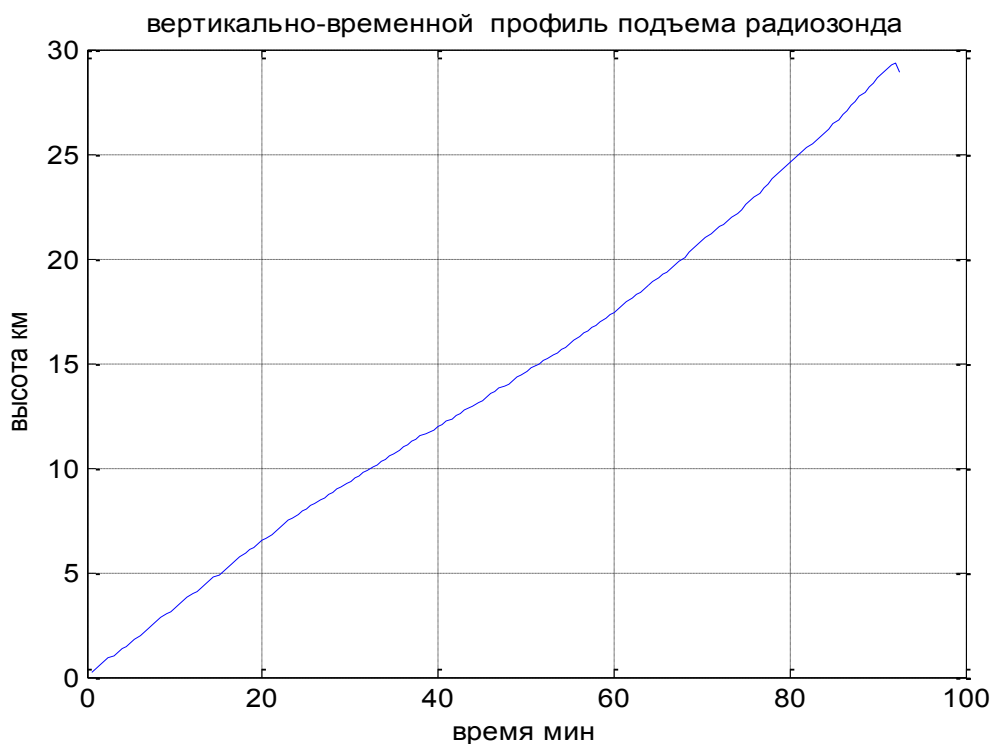


Рисунок 4 – Вертикально-часовий профіль підйому радіозонда

3.1.3 Вертикальна швидкість підйому кулі-пілота

Швидкість переміщення кулі-пілотів по вертикалі W , обумовлена його вільною піднімальною силою. Може бути виражена формулою:

$$W_n = \frac{h_n - h_{n-1}}{t_n - t_{n-1}}$$

Знайдені в такий спосіб значення вертикальної швидкості характеризують середню швидкість у шарі, обумовленому висотами кулі на початку й кінці проміжку часу. Тому умовно прийнято отримані дані відносити до висоти, що відповідає середньому значенню висоти:

$$h_{ns} = (h_n + h_{n-1})/2.$$

Що виражено у програмному кодї:

```
v=(H(4:end)- H(2:end-2))/1;
% вертикальної швидкості підйому, різниця висот за час 1-
хвилина=вертикальна швидкість метр/хвилин
v1=abs(H(3:end)- H(1:end-2))/1;
figure, plot(H(2:end-3),v1(1:end-2)), grid on,
set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
title('вертикальної швидкості підйому радіозонда'),
xlabel('висота метр'), ylabel('швидкості метр/хвилин '),
```

Вертикальна швидкість підйому радіозонда обчислюється з точністю 1 м / хв. у шарах за 10-хвилинні інтервали часу шляхом ділення різниці висот у метрах на різницю часу у хвилинах (рис. 5):

```
v=(H(4:end)- H(2:end-2))/1;
% вертикальної швидкості підйому, різниця висот за час 1-
хвилина=вертикальна швидкість метр/хвилин
v_men=smooth(v,11);
% Ковзне усереднення з вікном розміру 11-пикселей відповідає ≈10
хвилинам, вертикальній швидкості підйому метр/хвилина
v_men1=[v(1); v(1);smooth(v,11); v(end)];
vs= v_men1/60;
% вертикальної швидкості підйому, м/сек

figure, plot(H(1:end-2),v_men1(1:end-2)), grid on,
set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
title('вертикальної швидкості підйому радіозонда'),
xlabel('висота метр'), ylabel('швидкості метр/хвилин '),
```

Турбулентність і вертикальні потоки в атмосфері. Це одна з основних причин, що приводять до значних відхилень дійсної вертикальної швидкості від теоретично розрахованої. При наявності більших висхідних або спадних потоків повітря в атмосфері за рахунок конвекції різниця дійсної й розрахованої швидкості велика.



Рисунок 5 – Вертикальної швидкості підйому радіозонда

Аналіз вертикальної швидкості підйому радіозонда показує наявність нерівномірності швидкості підйому від висоти. Розрахунок швидкості підйому за рахунок піднімальної сили кулі-пілота надає кулі невелике прискорення і є лінійною функцією що збільшується з висотою (рис. 6). Наявність нерівномірності швидкості підйому за рахунок вертикальних рухів повітря в атмосфері відіграють найважливішу роль у таких атмосферних процесах, як перенос тепла й водяної пари по вертикалі, утворення хмар й опадів, розсіювання хмар, розвиток гроз, виникнення турбулентних зон тощо.

Визначення вертикальної швидкості вертикальних рухів повітря в атмосфері можна визначити, якщо з вертикальної швидкості підйому радіозонда відняти швидкості підйому за рахунок піднімальної сили кулі-пілота (рис. 7).



Рисунок 6 – Вертикальна швидкість підйому радіозонду та екстраполяція лінійної регресії

Оцінку швидкості підйому за рахунок піднімальної сили кулі-пілота можна оцінити, використовуючи екстраполяцію швидкості підйому рівнянням лінійної регресії:

```
%Розрахунок коефіцієнтів регресійної поліноміальної моделі
1-го порядку
%Розрахунок коефіцієнтів рівняння лінійної регресії швидкості
підйому радіозонда
n=1;
p = polyfit(H(2:end-3),v1(1:end-2),n);
```

```

disp([' коефіцієнти поліноміальної регресійної моделі p='
mat2str(p) ', n-й ступеня n=' mat2str(n)]);
% швидкість підйому кулі в приосадкуватому шарі на підставі
закону гідростатики
p(2)=310;
%Початкова швидкість підйому радіозонда, величина обумовлена
швидкість підйому тільки за чіт піднімальної сили
% кулі, що надає кулі прискорення.
v1=p(1)*H(2:end-3)+ p(2);
%функція регресії для екстраполяції-лінійна функція регресії
figure, plot(H(1:end-2),v_мен1(1:end-2)),
hold on, plot(H(2:end-3),v1,'r'), grid on,
set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
title('вертикальної швидкості підйому радіозонда й
екстраполяції-лінійної регресії '), xlabel('висота метр')
,ylabel(' швидкості метр/хвилини '),

```



Рисунок 7 – Вертикальна швидкість вертикальних рухів повітря в атмосфері

Якщо вважати, що рівняння лінійної регресії, теоретична швидкості підйому радіозонда є величина, обумовлена швидкістю підйому тільки за чіт піднімальної сили кулі, що надає кулі прискорення:

```
% Обчислюючи різницю між рівняння лінійної регресії, швидкості
% підйому радіозонда й реальною обмірюваною швидкістю підйому
% радіозонда можна оцінити вертикальною швидкістю вітру в шарах
% висоти (спадні й висхідні потоки повітря)
dv=v1-v_men(1:end-1);
% вертикальна швидкість, метр/хвилин
figure, plot(H(2:end-8),dv(1:end-5)), grid on,
set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
title(' вертикальна складова швидкості вітру ') , xlabel('
висота метр ') ,ylabel(' швидкості метр/хвилин '),
```

3.1.4 Обчислення траєкторії польоту кулі-пілота та просторова візуалізація польоту кулі-пілота

Сутність куле-пілотного методу виміру вітру полягає у визначенні траєкторії польоту кулі-пілота, що під впливом заданої піднімальної сили піднімається нагору й одночасно зміщується по горизонталі, захоплюваний повітряною течією тобто вітер в шарі висоти. Горизонтальна проекція траєкторії польоту кулі дає можливість визначити швидкість і напрямок вітру в різних шарах атмосфери.

Спостереження за переміщенням кулі-пілота ведуться за допомогою приладів візуального (оптичний метод) або радіолокатора.

Обробка куле-пілотних спостережень полягає у визначенні швидкості й напрямку вітру на різних висотах по горизонтальних проекціях кулі-пілота [19, 22]¹⁾.

Обробка даних спостережень за кулею-пілотами тобто визначення швидкості й напрямку вітру виробляється за значеннями прямокутних координат X_k, Y_k, H_k , пов'язані з координатами $r, \alpha, \delta(\beta)$ (називані сферичними) наступними співвідношеннями (рис. 8):

¹⁾ [19] Перелигін Б.В., Велика О.І. Методи дистанційного зондування навколишнього середовища: конспект лекцій. Одеса: Екологія, 2012. 179 с.

$$x = r \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\alpha) ,$$

$$y = r \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\alpha) ,$$

$$h = r \cdot \sin(\delta) .$$

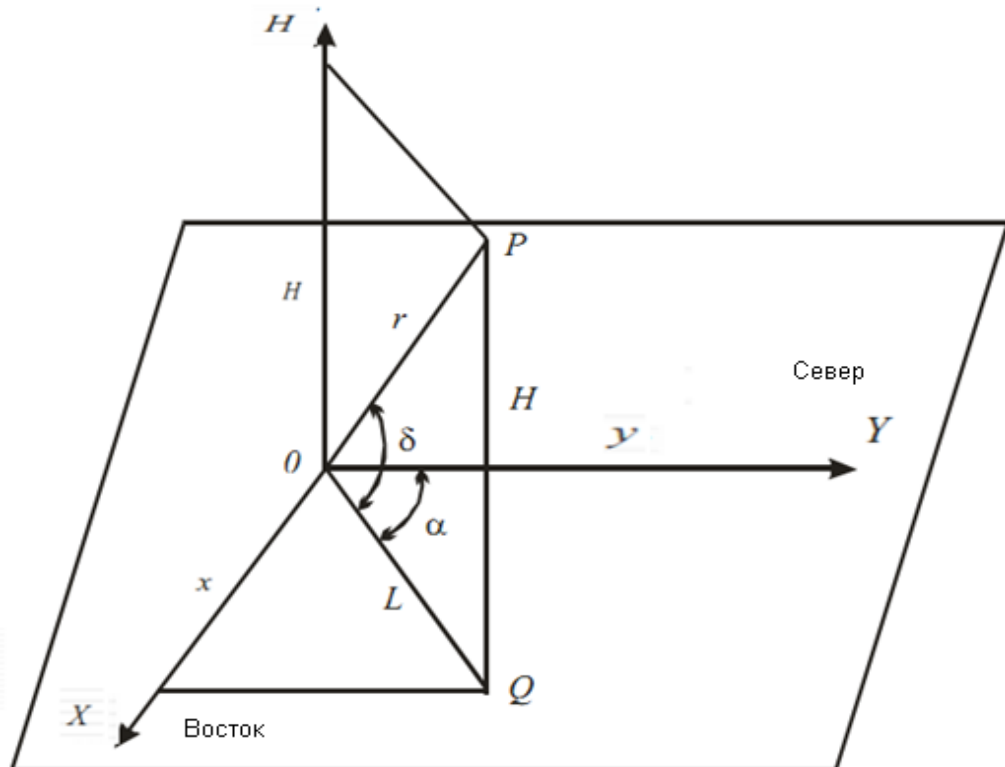


Рисунок 8 – Зв'язок сферичних і прямокутних координат

У результаті спостережень виходить ряд послідовно певних координат кулі обумовлених часу T_k, T_{k-1} досягнення радіозонда границь висоти H_k, H_{k-1} і для цих моментів часу значення прямокутних координат $X_k, X_{k-1}, Y_k, Y_{k-1}$. Ці координати будуть відповідати точкам, які представляють положення кулі-пілота в просторі для тих моментів спостережень (часу), по яких виробляється обробка (для 1, 2, 3 та 4 хвилини спостережень).

Обчислення ортогонального складового вектора швидкості вітру (рис. 9) в зоні $\Delta H_k = H_k - H_{k-1}$ визначаються зональною (широтною) складовою швидкості вітру:

$$V_{xk} = \frac{X_k - X_{k-1}}{T_k - T_{k-1}}$$

та меридіанна складові швидкості вітру:

$$U_{yk} = \frac{Y_k - Y_{k-1}}{T_k - T_{k-1}}.$$

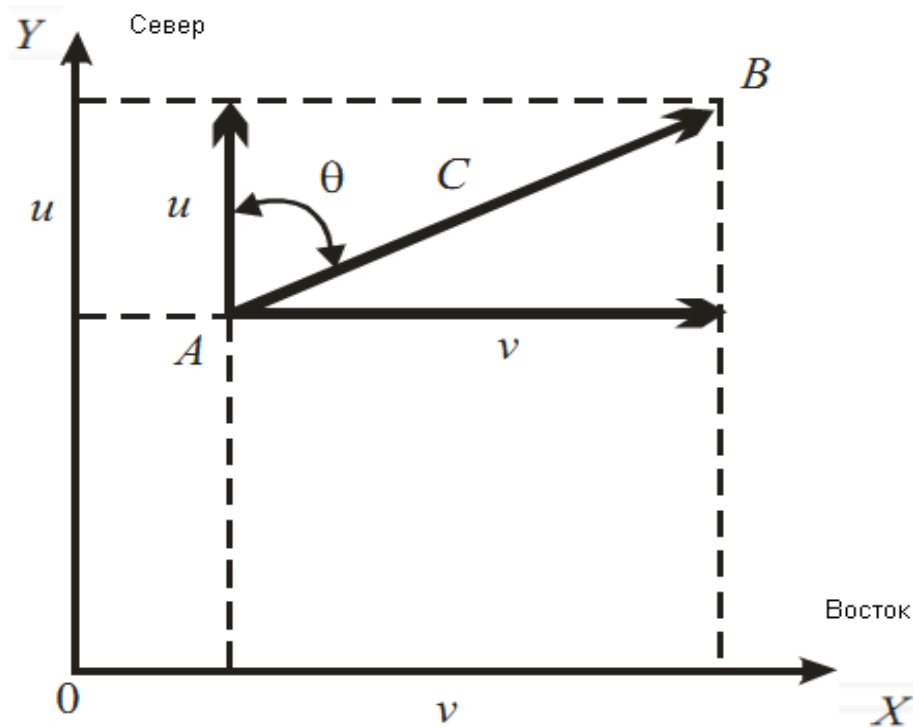


Рисунок 9 – Меридіональні й зональна складові швидкості вітру.

Значення V_{xk} і U_{yk} ставляться до висоти середнього шару тобто k висоті $sH = (H_k + H_{k-1})/2$, знаходять методом лінійної інтерполяції значень складових V_x і U_y на стандартних висотах і стандартних ізобаричних поверхнях. Швидкість вітру W_k і напрямок вітру DW_k визначаються по формулі:

$$W_k = \sqrt{V_{xk}^2 + U_{yk}^2},$$

$$DW_k = \arctg\left(\frac{V_{xk}}{U_{yk}}\right) \pm 180 \text{ [град.]},$$

де k -індекс, що привласнюють даним, ставиться до заданого рівня висоти.

Для визначення напрямку горизонтального руху радіозонда, кут, куди дує вітер щодо меридіанної складової (напрямку на північ) необхідно використати правило зміни $arctg$ на ± 180 градусів.

$$DW_k = \begin{cases} |DW_k| & \text{если } V_{xk} \geq 0 \text{ и } U_{yk} \geq 0 \\ |DW_k| + 180^\circ & \text{если } V_{xk} < 0 \text{ и } U_{yk} < 0 \\ -|DW_k| + 360^\circ & \text{если } V_{xk} < 0 \text{ и } U_{yk} > 0 \\ -|DW_k| + 180^\circ & \text{если } V_{xk} > 0 \text{ и } U_{yk} < 0 \end{cases}$$

Розрахунок швидкості й напрямку вітру на різних висотах кулі-пілота у горизонтальній площині в різних шарах атмосфери:

```
Створення масиву сферичних координат для тих моментів
спостережень (часу), по яких виробляється обробка.
beta=VL(:,3)*(0.06*pi/180);
    % кут місця, вертикальний кут, радий
beta_g=VL(:,3)*0.06;
    % кут місця, вертикальний кут, грд
alfa=VL(:,2)*(0.06*pi/180);
    % Азимут, горизонтальний кут, радий
alfa_g=VL(:,2)*0.06;
    % Азимут, горизонтальний кут, грд
r=VL(:,4); %дальність у метрах
    %горизонтальна дальність, проєкція дальності r на
горизонтальну площину
L=r.*cos(beta);
    % горизонтальна дальність, метри
L1=[0;L];
```

Обробка даних спостережень за кулею-пілотом для розрахунку швидкості й напрямку вітру виробляється в наступному порядку:

- необхідно побудувати горизонтальну проєкцію шляху кулі-пілота – L (рис. 10);
- щоб нанести проєкцію кулі, потрібно знати його азимут і горизонтальне видалення в певні моменти часу;

- горизонтальне видалення – L обчислюється по дальності – r кулі й вертикальному куту – $beta$;
- координати траєкторії польоту радіозонда – $[X, Y]$ прямокутні координати, розраховані по сферичних координатах первинних даних [горизонтальна дальність, азимут, кут місця]:

```

%меридіанна складова-у горизонтальної дальності
Ly=L.*cos(alfa); Ly=[0;Ly];
% зональна(широтна)-x складова горизонтальної дальності
Lx=L.*sin(alfa); Lx=[0;Lx];
% Візуалізація польоту радіозонда, побудована по параметричеські
заданим складових Ly, Lx.
% горизонтальна проекція польоту радіозонда
figure, plot(Lx/1000,Ly/1000),grid on, set(gca,'FontName','Arial
Cyr','FontSize',10),
title(' горизонтальна проекція польоту радіозонда')
xlabel(' захід-схід, км') ,ylabel(' південь-північ, км '),

```



Рисунок 10 – Горизонтальна проекція польоту радіозонда

```

%Створення масиву моментів спостережень (часу), по яких
виробляється обробка.
Tt= VL(:,1);

%моменти спостереження часу у хвилинах
Tt=[0;Tt];

```

Розрахунок квадратурної складової швидкості вітру, як різниця двома сусідніми значень меридіанної і зональної горизонтальної проекції [21]¹⁾ по- слідовними значеннями моменту часу на висотах $H(k)$:

```

for k=2:length(Lx);
    vx(k)=(Lx(k)-Lx(k-1))/(Tt(k)-Tt(k-1));
%зональна складова горизонтальної швидкості, м/хв
    uy(k)=(Ly(k)-Ly(k-1))/(Tt(k)-Tt(k-1));
%меридіанна складова горизонтальної швидкості, м/хв
    vl(k)=abs((L1(k)-L1(k-1))/(Tt(k)-Tt(k-1)));
end

```

Значення горизонтальної швидкості вітру визначається як сума векто- рів квадратурної складової прямокутної системи координат на заданих висо- тах, значення яких визначаються індексом – k (рис. 11):

```

w=sqrt(vx.^2+ uy.^2);
% результуюча горизонтальна швидкість вітру у вертикальному шарі
висоти, м/хв

ws=w/60;
% результуюча горизонтальна швидкість вітру у вертикальному шарі
висоти, м/сек
wz=w*60/1000;

% результуюча горизонтальна швидкість вітру у вертикальному шарі
висоти, км/година

figure,          plot(ws(1:end-2),H(1:end-2)/1000),          grid
on,set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),

title('горизонтальна швидкості вітру в шарі висоти ') , xlabel('
швидкість м/сек') ,ylabel(' висота км'),

```

¹⁾ [21] Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB. Учебный курс. Киев: Думка, 2005. 512 с.

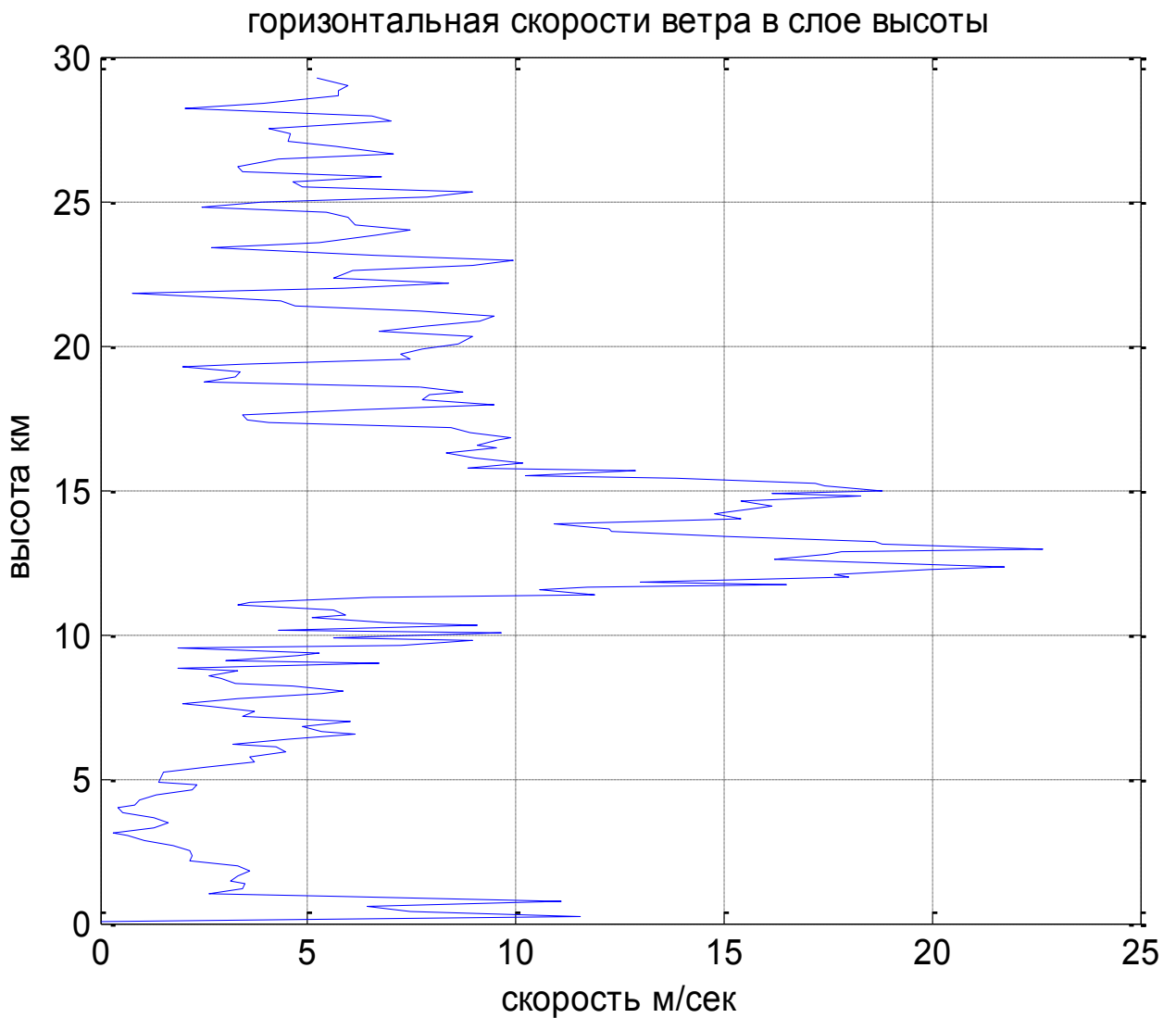


Рисунок 11 – Горизонтальна швидкість вітру в шарі висоти, по даним польоту радіозонда.

Кут напрямку польоту радіозонда в горизонтальній площині від $-\pi$ до π :

```
Dw(1)=0;
for k=2:length(vx);
    Dw(k)= atan(vx(k)/uy(k));
% кут напрямку радіозонда, радіан
end
```

Визначення напрямку горизонтального руху радіозонда, кут, куди дують вітер, щодо меридіанної складової (напряму на північ) у діапазоні від 0 до 2π , у радіанах:

```

for k=1:length(Lx);
    if (vx(k)>=0)&&(uy(k)>=0);
        Dw(k)=abs(Dw(k));
    elseif (vx(k)<0)&&(uy(k)<0);
        Dw(k)=abs(Dw(k))+pi;
    elseif (vx(k)<0)&&(uy(k)>0);
        Dw(k)=-abs(Dw(k))+2*pi;
    elseif (vx(k)>0)&&(uy(k)<0);
        Dw(k)=-abs(Dw(k))+pi;
    end
end

%Напрямку горизонтального руху радіозонда в градусах.
Dw_grd=Dw*360/(2*pi);

```

Шар атмосфери, для якого необхідно обчислити вітер, розбивається приблизно на рівні по товщині шари. При великій мінливості вітру (по напрямку більше 30° , по швидкості більше чим 20 км / ч) використовуються шари товщиною до 1 км, в інших випадках – шари товщиною до 2 км. Швидкість і напрямки вітру визначаються для середини шарів шляхом інтерполяції.

3.1.5 Розрахунок середнього вітру з використання правила векторного додавання в товщині шаруючи векторів швидкості

На рис. 12 подається векторне додавання швидкості для визначення вектора швидкості в товщині шару. Робимо усереднення зональної й меридіанної складовою горизонтальної швидкості вітру у вікні розміру 11-значень шаруючи висоти, що відповідає товщині 1.5 км:

```

Vx_men=smooth(vx,11);
Uy_men=smooth(Uy,11);
% Ковзне усереднення з вікном розміру 11-пікселей відповідає
≈1500 метр товщини шаруючи висоти
W_men=sqrt(Vx_men.^2+ Uy_men.^2);
%результуюча горизонтальна швидкість вітру у вертикальному шарі
висоти, м/хв

Ws_men=W_men/60;
% горизонтальна результуюча швидкість вітру у вертикальному шарі
висоти, м/сек
Wz_men=W_men*60/1000;

```

```

% горизонтальна результуюча швидкість вітру у вертикальному шарі
висоти, км/година

% кут напрямку польоту радіозонда в горизонтальній площині від
- $\pi$  до  $+\pi$ , для усереднених зональної й меридіанної складова
горизонтальної швидкості.
Dw_men(1)=0;
for k=2:length(vx_men);
    Dw_men(k)= atan(vx_men(k)/uy_men(k));
% кут напрямку радіозонда, радіан
end

```

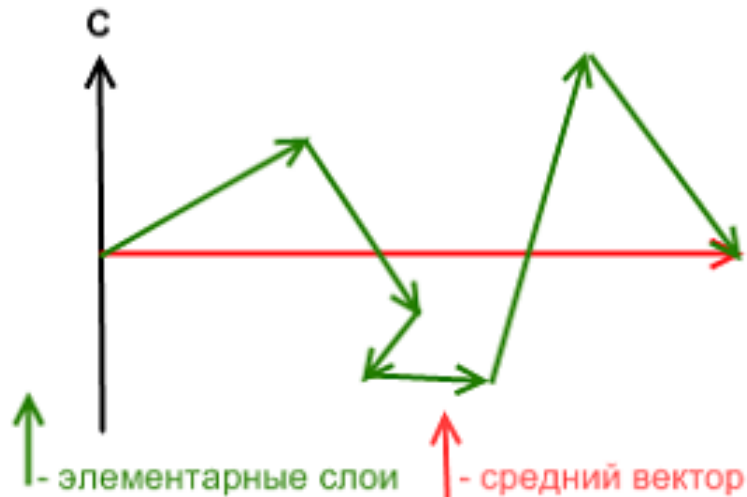


Рисунок 12 – Векторне додавання швидкості для визначення вектора швидкості в товщині шаруючи.

Визначення середнього напрямку горизонтального руху радіозонда, кут, куди дує вітер (рис. 13), щодо усереднених зональної й меридіанної складової швидкості вітру, (напрямку на північ) у діапазоні від 0 до 2π , у радіанах:

```

for k=1:length(Lx);
    if (vx_men(k)>=0)&&(uy_men(k)>=0);
        Dw_men(k)=abs(Dw_men(k));
    elseif (vx_men(k)<0)&&(uy_men(k)<0);
        Dw_men(k)=abs(Dw_men(k))+pi;
    elseif (vx_men(k)<0)&&(uy_men(k)>0);
        Dw_men(k)=-abs(Dw_men(k))+2*pi;
    elseif (vx_men(k)>0)&&(uy_men(k)<0);
        Dw_men(k)=-abs(Dw_men(k))+pi;
    end
end
end

```

```

%Напрямку горизонтального руху радіозонда в градусах.
Dwm_grd=DW_men*360/(2*pi);

figure, subplot (1,3, 1)
plot(ws_men(1:end-2),H(1:end-2)/1000),grid on,title('
вертикальна профіль швидкості '),
xlabel('Швидкість вітру, метр/секунд') ,ylabel('висота, км '),
subplot (1,3, 2)
plot(Dwm_grd(1:end-2),H(1:end-2)/1000),grid
on,title('вертикальна профіль напрямку'),
xlabel('Напрямок вітру, градус') ,ylabel('висота, км '),
subplot (1,3, 3)
plot(Vs(1:end-2),H(1:end-2)/1000),grid on,title('вертикальна
профіль швидкість підйому'),
xlabel('Швидкість підйому, метр/секунд') ,ylabel('висота, км
'),

```

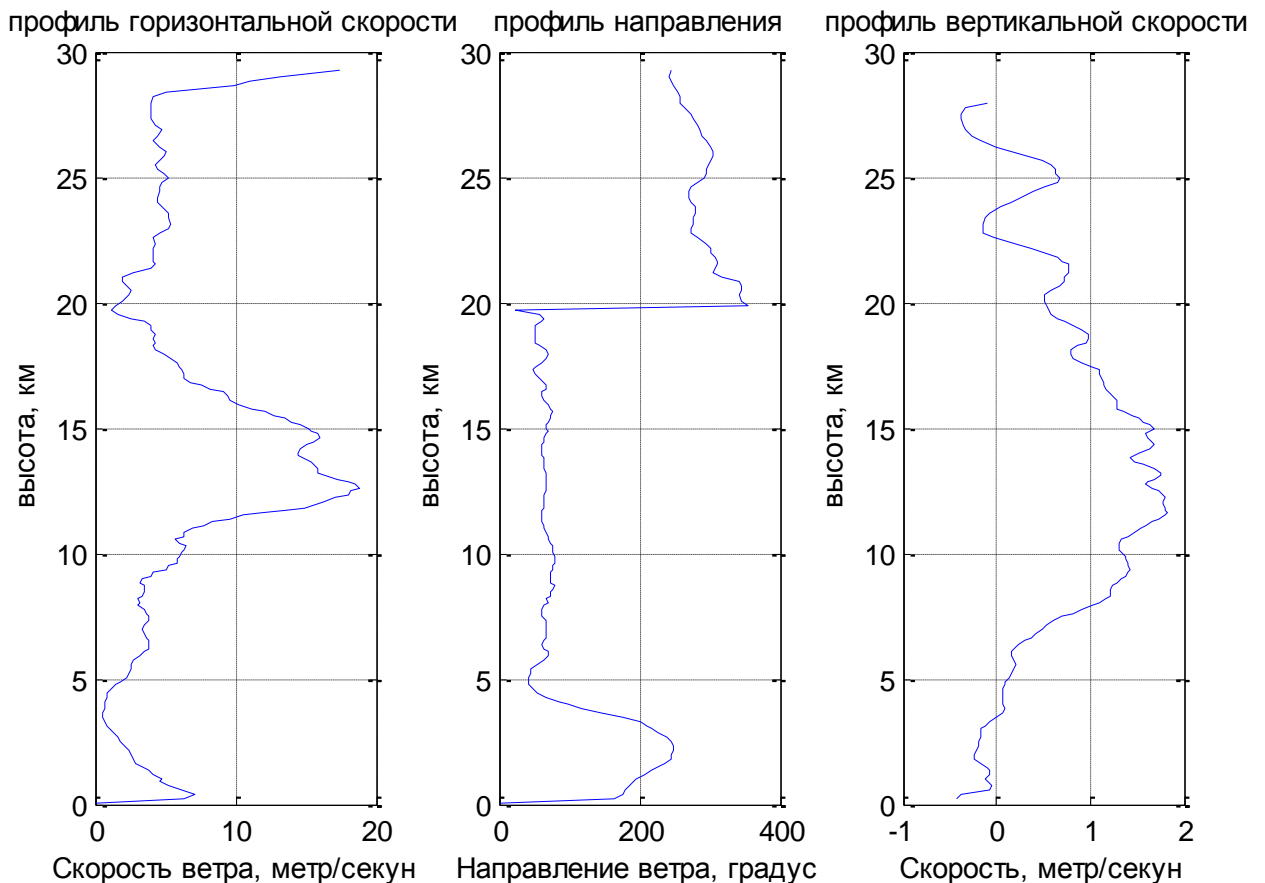


Рисунок 13 – Вертикальний профіль усередненої горизонтальної швидкості, напрямку вітру й вертикальної швидкості підйому радіозонда.

На рис. 13 наведений приклад виміру вертикальних профілів вітру (23 серпня 2013). Результат виміру являє собою три графіки: горизонтальна швидкість вітру, її напрямок і вертикальна швидкість вітру.

У представленому випадку видно, що швидкість вітру зменшується на висоті повороту вітру (від 1000 м до 4000 м) до 1,5 м / сек, потім, при стабільному напрямку, повільно збільшується, досягаючи в середньому 15 м / с на висотах від 1100 м до 16000 м. При цьому поворот вітру становить 200 градусів. На всьому протязі зондування вертикальна швидкості підйому радіозонда перетерплювала слабкі флуктуації й не перевищувала 1,5 м / с.

3.2 Побудова розподілу напрямку вітру у вигляді кутової діаграми в полярних координатах

Побудова кутової діаграми (у полярних координатах), підраховує кількість кутових елементів у кожному інтервалі $\approx 20^\circ$ за назвою – троянда вітрів (рис. 14, 15):

```
figure, rose(DW_men,20), title('троянда вітрів, горизонтальна  
складова напрямку вітру польоту радіозонда')  
xlabel('схід'), ylabel('південь'), set(gca,'view',[-90  
90], 'YDir','reverse'),
```



Рисунок 14 – Кругова гістограма розподілу напрямку вітру

```

% Побудова кутової діаграми (у полярних координатах),
підчитує кількість кутових елементів у кожному інтервалі за
назвою - троянда вітрів. Гістограма в полярних координатах.
%команда rose(phi, n) підраховують і відображають на
графіку кількість кутових елементів у масиві phi, значення яких
попадають у заданий інтервал; для цього весь діапазон значень
phi ділиться на n інтервалів (за замовчуванням 20) і
підраховується кількість кутових елементів у кожному інтервалі.

%view(az, e1 ) або view ( [az, e1] ) - завдання Положення
КРАПКИ огляду за допомогою азимута(az) і кута відмінювання
(піднесення (e1)), виражених у градусах.
%YDir - напрямок координатних осей. Значення 'reverse' - у
зворотному напрямку.

% задаємо сектора, у яких підраховується кількість кутових
елементів для побудови гістограми в полярних координатах.
Центри секторів відповідають румбам.
rumb=[0, 22.5, 45, 67.5, 90, 112.5, 135, 157.5, 180, 202.5, 225,
247.5, 270, 292.5, 314, 337.5]*pi/180;
figure, rose(DW_men,rumb),set(gca,'view',[-90
90],'YDir','reverse'), title(' троянда вітрів напрямку вітру,
Гістограма в полярних координатах ')
xlabel('Захід') ,ylabel('Південь '),

```



Рисунок 15 – Кругова гістограма розподілу напрямку вітру (центри секторів відповідають румбам)

Побудова в одному вікні із графіка вертикального профілю напрямку горизонтальної складової вітру й кутової гістограми розподілу напрямку вітру у полярних координатах (рис. 16):

```
figure, subplot (1,2, 1)
plot(Dwm_grd(1:end-2),H(1:end-2)/1000),grid
on,title('вертикальна профіль напрямку') ,
xlabel('Напрямок вітру, градус') ,ylabel('висота, км '),
subplot (1,2, 2)
rose(DW_men,rumb),set(gca,'view',[-90
90],'YDir','reverse'),title('троянда вітрів'), xlabel('Захід')
,ylabel('Південь '),
```

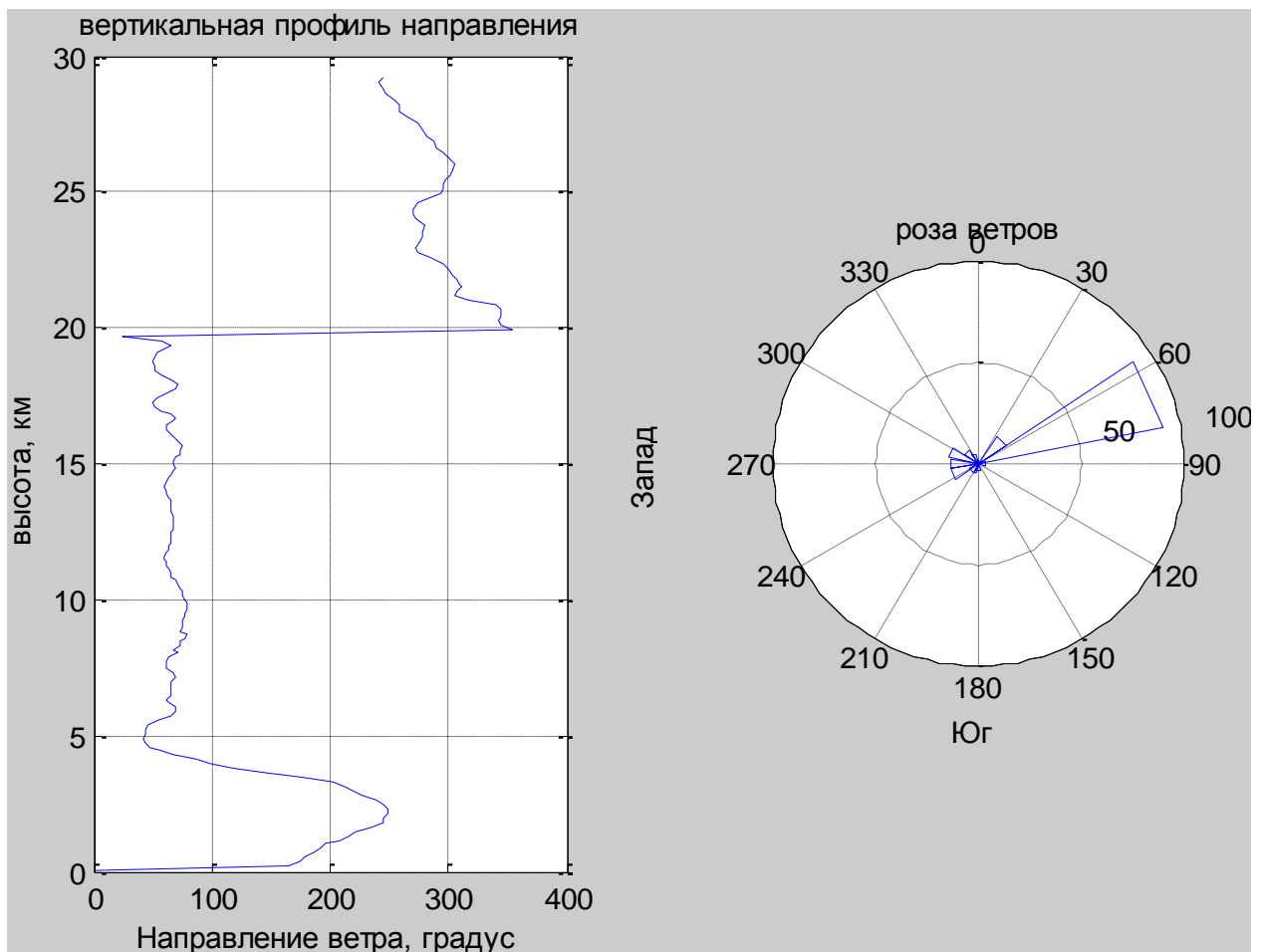


Рисунок 16 – Кругова гістограма розподілу напрямку вітру й профіль напрямку вітру по висоті

Побудова троянди вітрів середнього напрямку й середньої швидкості в заданому шарі висоті відповідним ізобаричним поверхням тиску 1000 ± 300 м.

Заголовок графіка виводиться за допомогою процедури «title». Якщо після звертання до процедури «plot» викликати «title» у такий спосіб:

```
title('<текст>'),
```

Над графіком з'явиться текст, записаний між апострофами в дужках. При цьому варто пам'ятати, що текст завжди повинен міститися в апострофи.

Аналогічно можна вивести пояснення до графіка, які розміщуються уздовж горизонтальної осі (функція «xlabel») і уздовж вертикальної осі (функція «ylabel»).

Функція:

```
s = num2str(A)
```

перетворить числовий масив у символьний масив, що представляє числа. Вихідний формат залежить від величин вихідних значень. «num2str» корисно для графіків маркування й створення заголовків із числовими значеннями.

Функція:

```
s = num2str(A,precision)
```

повертає символьний масив, що представляє числа з максимальною кількістю значних цифр, заданих «precision».

Функція:

```
chr = mat2str(X)
```

перетворить числовий матричний X у вектор символів, що представляє матрицю максимум з 15 цифрами точності.

```

dh=300; h1=1000; % метри
f1=find(N<h1-dh); %Визначення індексів при яких значення менше
h1-dh
f2=find(N<h1+dh); %Визначення індексів при яких значення менше
h1+dh
% побудова й візуалізація просторового розподілу напрямку
вітру польоту радіозонда в шарі від h1 до h2
%Робимо усереднення зональної й меридіанної складової швидкості
вітру, для визначення середнього напрямку вітру в шарі
[f1(end):f2(end)]
Vx_reg=smooth(Vx(f1(end):f2(end)),(f2(end)-f1(end)));
Uy_reg=smooth(Uy(f1(end):f2(end)),(f2(end)-f1(end)));
Vx_reg1=Vx_reg(round((f2(end)-f1(end))/2));
Uy_reg1=Uy_reg(round((f2(end)-f1(end))/2));
Dw_reg= atan(Vx_reg1/Uy_reg1);
% Кут напрямку радіозонда, у горизонтальній площині від -pi до
pi радіан.
%середнього напрямку вітру в шарі [f1(end):f2(end)]
if (Vx_reg1>=0)&&(Uy_reg1>=0);
    Dw_reg=abs(Dw_reg);
elseif (Vx_reg1<0)&&(Uy_reg1<0);
    Dw_reg=abs(Dw_reg)+pi;
elseif (Vx_reg1<0)&&(Uy_reg1>0);
    Dw_reg=-abs(Dw_reg)+2*pi;
elseif (Vx_reg1>0)&&(Uy_reg1<0);
    Dw_reg=-abs(Dw_reg)+pi;
end
Dw_reg_grd=Dw_reg*360/(2*pi);

```

Далі виконаємо побудову кутової діаграми (у полярних координатах), яка розраховує кількість кутових елементів у кожному інтервалі за назвою – «троянда вітрів» (рис. 17):

```

figure,      rose(DW(f1(end):f2(end)),rumb),set(gca,'view',[-90
90],'YDir','reverse'),
%Створить багато строковий заголовок за допомогою багато
строковий масиву
str1=[mat2str(round(N(f1(end))))          '          '
mat2str(round(N(f2(end))))];
str_1={['троянда вітрів у шарі [' str1 '] метр і напрямок
середнього вітру ']];
str2= mat2str(round((sqrt(Vx_reg1.^2+ Uy_reg1.^2))*100/60)/100);
str3=mat2str(round( Dw_reg_grd));
str4={['W= ' str2 ' м/сек,      DW=' str3 ' грд ']];
title([' str_1 ; str4 ']);
xlabel('Схід')          ,ylabel('Південь          '),hold      on,
compass(Uy_reg1/160,Vx_reg1/160,'r'),

disp([' Розрахункові дані середньої швидкості й напрямку вітру в
шарі          [' mat2str(round(N(f1(end))))          '
mat2str(round(N(f2(end))))          ' ] метр          W='
mat2str(round((sqrt(Vx_reg1.^2+ Uy_reg1.^2))*100/60)/100)          '
м/сек, DW=' mat2str(round( Dw_reg_grd))          ' грд ']);
%Розрахункові дані середньої швидкості й напрямку вітру в
шарі [546 1163] метр W=7.7 м/сек, DW=186 грд

```

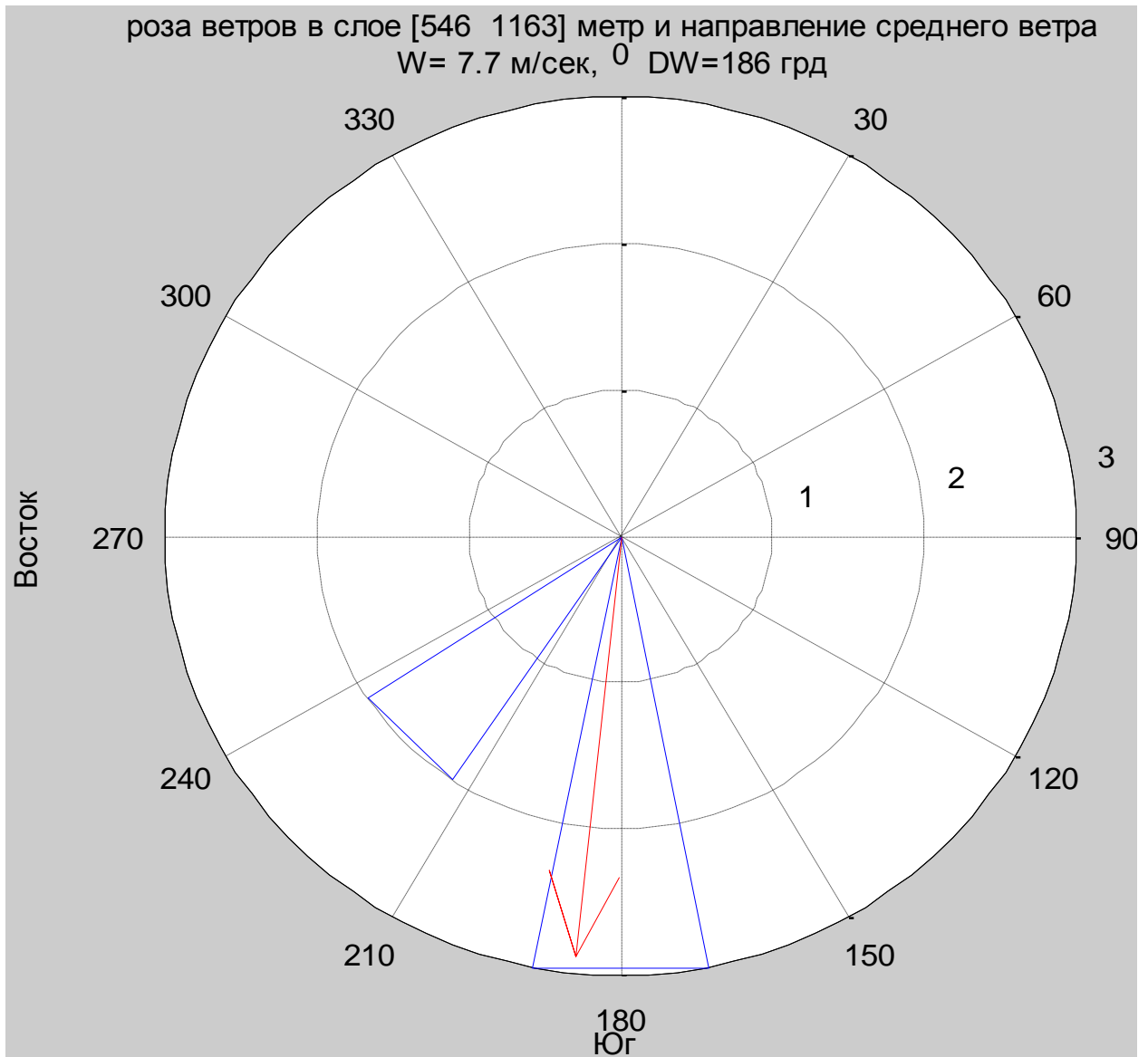


Рисунок 17 – Кругова гістограма розподілу напрямку вітру в шарі висоти [546 1163] і значення середнього вітру.

Аналогічні розрахунки можна виконати для висот стандартних ізобаричних поверхонь.

Разом з вертикальним профілем напрямку й швидкості вітру для одержання більшої наочності при оцінці напрямку вітру є візуалізація просторової траєкторії польоту радіозонда в полярних координатах, профіль напрямків вітру по висоті (рис. 18):

figure

```

polar(DW_men, H/1000, 'b'), set(gca, 'view', [-90
90], 'YDir', 'reverse'), title('профіль напрямок вітру по висоті'),
xlabel('захід') , ylabel('південь '), ;

```

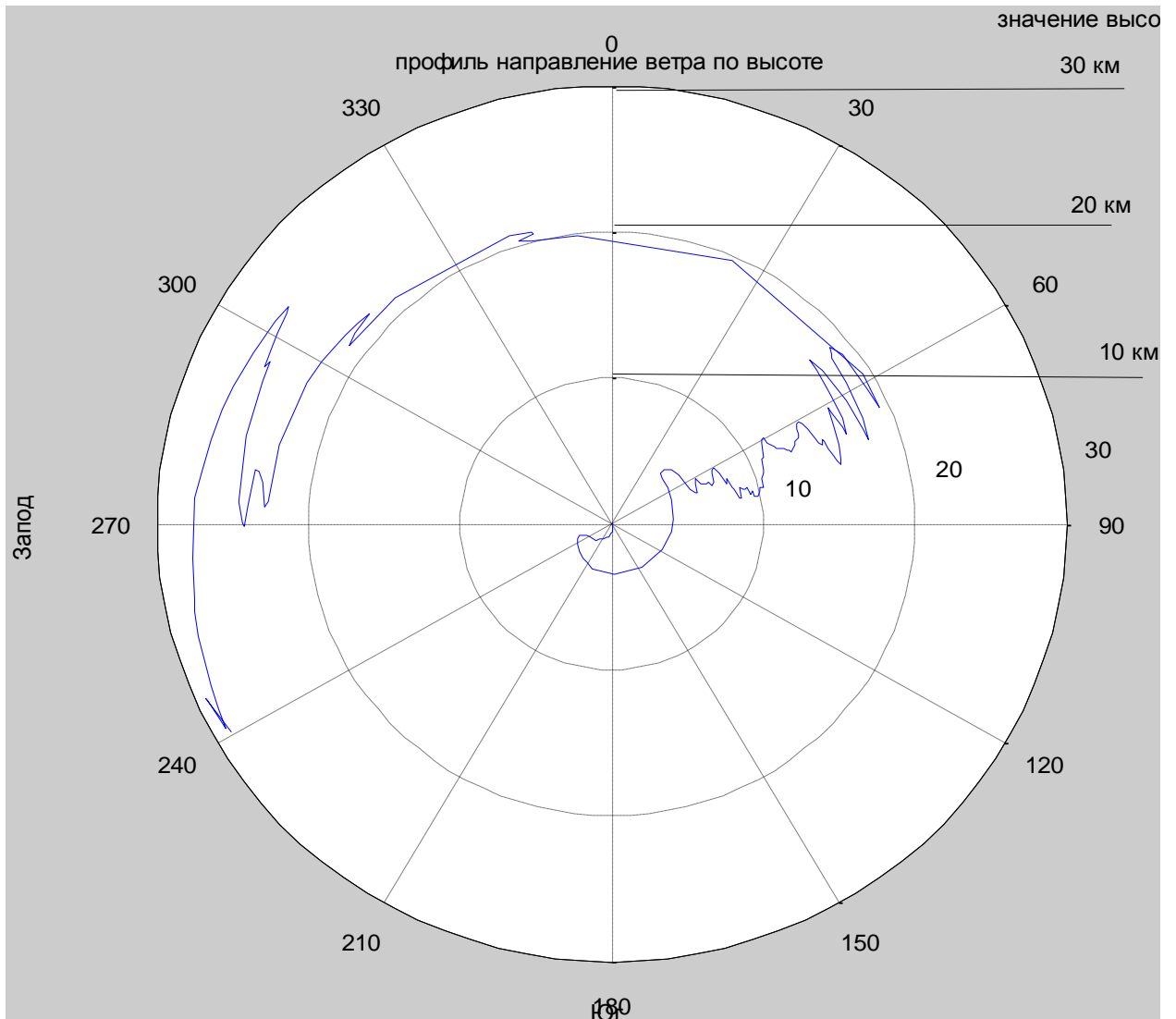


Рисунок 18 – Профіль напрямок вітру по висоті

3.3 Комп'ютерна модель просторової візуалізації польоту радіозонда з відображенням характеристик вітру на висотах

3.3.1 Просторова візуалізація траєкторії польоту радіозонда

Просторова візуалізація траєкторії польоту радіозонда побудована по параметричним заданим лініям (рис. 19). Функція «plot3(x,y,z)» – будує ма-

сив крапок, представлених векторами x , y та z , з'єднуючи їх відрізками прямих.

```
% Візуалізація польоту радіозонда, побудована по параметричним
заданим ліній, Ly - меридіанна складова - у горизонтальної
дальності, Lx зональна (широтна)-х складова горизонтальної
дальності
% H_1 - формування вектора для відображення горизонтальної
проекції польоту радіозонда
H_1=ones(size(H));
figure, plot3(Lx/1000,Ly/1000,H/1000,'-b',Lx/1000,Ly/1000,H_1,'-
r',Lx(end),Ly(end),H(end)/1000,'or'),grid on,title(' Просторова
траєкторія польоту радіозонда '),
xlabel(' захід- схід, км') ,ylabel('південь-північ, км
'),zlabel('висота, км '),
```

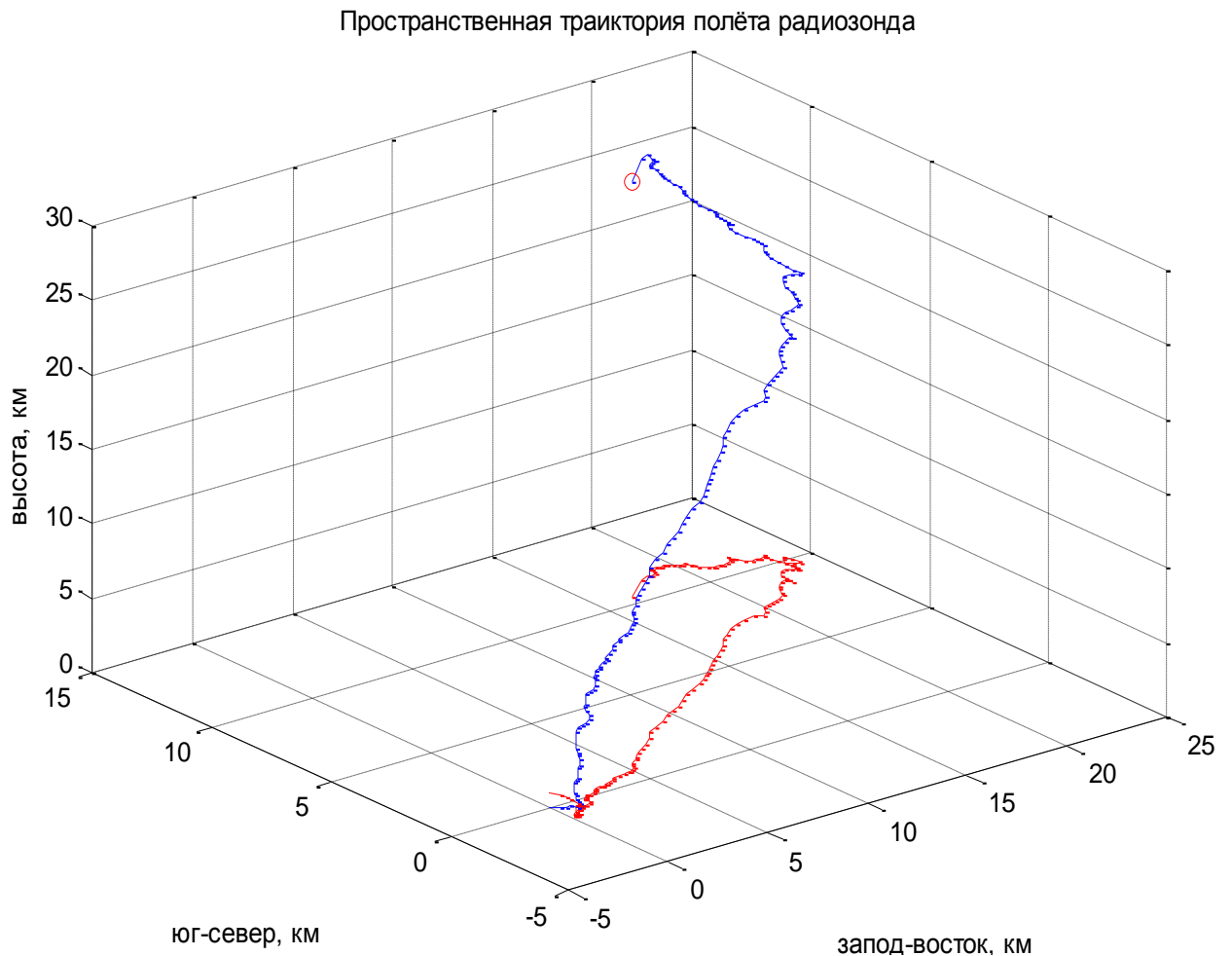


Рисунок 19 – Просторова траєкторія польоту радіозонда і його горизонтальна проекція

3.3.2 Імітаційна модель просторової візуалізації польоту радіозонда

Для більше складних випадків анімації можливе застосування техніки мультиплікації. Вона зводиться до побудови ряду кадрів зображення, причому кожен кадр з'являється на якийсь час, потім стирається й замінюється на новий кадр, що трохи відрізняється від попередні. Якщо ця відмінність незначно, то створюється ілюзія плавного переміщення об'єкта. Відзначимо коротко основні команди, що реалізують анімацію в системі MATLAB:

- `getframe` – створення кадру для анімації;
- `movie` – виконання анімації.

Загальна ідея, що лежить в основі створення анімації в MATLAB, полягає в наступному. Вибирається деяка рівномірна розбивка інтервалу за часом (деякий крок). Для послідовних моментів часу, що відстоять на даний крок, будується окремий графік. Таким чином, виходить послідовність графіків, що згодом перетворяться в послідовність кадрів для створюваної анімації.

Створена послідовність кадрів зберігається в масив за допомогою спеціальної команди «`getframe`». Виклик даної функції здійснюється для кожного кадру (графіка). Можна помістити малювання кадрів у цикл із перемальовуванням одного графічного вікна в кожному циклі. При цьому команда «`getframe`» повинна даватися на кожній ітерації циклу.

Збережена послідовність кадрів може бути програна за допомогою команди «`movie`». Першим параметром даної команди є масив збережених кадрів, другим необов'язковим параметром число повторень послідовності при програванні [22] .

Функція захоплює поточну об'ємну поверховість графіка, коли вони з'являються на екрані у вигляді кадру фільму:

$$F = \text{getframe}(gcf),$$

де F – це масив-структура, що містить дані зображення;

`getframe` – захоплює осі того ж розміру, що й відображається на графіку;

`gcf` – дескриптор графічного вікна «figure».

Побудова й анімація польоту радіозонда побудована по заданим параметричним ліній і поверхонь, виконується наступним фрагментом коду мовою MATLAB .

З поняттям об'єктів дескрипторної графіки пов'язана особлива характеристика об'єктів – дескриптор (опис). Його можна розуміти як якесь число – своєрідний ідентифікатор («розпізнавальник») об'єктів:

```

P3=plot3(Lx,Ly,H,'-b',Lx,Ly,H_1,'-
r',Lx(end),Ly(end),H(end),'or'),grid on, title('Просторова
траєкторія польоту радіозонда');
%gca одержати дескриптор графічного об'єкта axes поточного
вікна;
pay1=get(gca, 'YLim');
    %Межі зміни змінної осі Y.
pax1=get(gca, 'XLim');
    %Межі зміни змінної осі X.
paz1=get(gca, 'ZLim');
    %Межі зміни змінної осі Z.

%Формування файлу, імітаційна модель просторового польоту
радіозонда
Lx2=[]; Ly2=[]; H2=[];H_2=[];
Lx2(1)=Lx(1); Ly2(1)=Ly(1); H2(1)=H(1);H_2(1)=H_1(1);
m=min(H); MH=max(H);
F(length(H))=struct('cdata',[],'colormap',[]);

```

Попередньо необхідно створити порожній масив структур розміру, що повертає:

```

    getframe
figure,
for t=2:length(H);
    %length(H)- кількість кадрів
    % plot3 - Малюємо 3D графік просторового польоту радіозонда
    Dgx3=Lx(t); Dgy3=Ly(t);H3=H(t);
    Lx2=[Lx2(1:(t-1));Lx(t)];
    Ly2=[Ly2(1:(t-1));Ly(t)];
    H2=[H2(1:(t-1));H(t)];
    H_2=[H_2(1:(t-1));H_1(t)];
    plot3(Lx2,Ly2,H2,'r',Dgx3,Dgy3,H3,'or',Lx2,Ly2,H_2,'b');
    grid on,title('Просторова траєкторія польоту радіозонда') ,
    xlabel(' захід -схід, метр') ,ylabel('північ-південь-
північ, метр '),zlabel('висота, метр '),

```



```

axis([рах1(1) рах1(2) рау1(1) рау1(2) 0 мн+100])
%створюємо осі координат відповідно до gca отриманого з
дескриптора графічного об'єкта axes
F(t)=getframe(gcf);
%% Захоплення й збереження кадру
end

F(1)=F(2);
% висновок зображення кадру з послідовності кадрів масиву
структур
figure, imshow(F(1).cdata)

```

Для кожного значення:

$$t \in [1 : \text{length}(H)]$$

формується один кадр зображення, що потім зберігається в елементі масиву $F(i)$ повноцвітного зображення (рис. 20), яке зберігається у «F.cdata». Воно має розмір: $N \times x \times M \times 3$:

```

%Виводимо 1 раз відео послідовність на екран із частотою 4
кадрів у секунду.
% програємо відео
hf = figure('MenuBar','none');
%Приводить до відкриття меню figure
movie(hf, F, 1, 4);
% Виділення кадру зображення з масиву структур
Im2=F1(2).cdata;
figure, imshow(Im2),
figure, imshow(F(end-1).cdata)

```

Існує можливість зберегти записану анімацію у файл за допомогою команди «movie2avi». Даний масив кадрів передається як перший аргумент функції:

«movie2avi(mov, filename, ParameterName, ParameterValue)».

Другим аргументом є ім'я формованого файлу відео. Далі можуть бути додані пари «Ім'я параметра, Значення параметра». Парами «значення-значення-ім'я-значення» можна задати коефіцієнт компресії, кількість кадрів

у секунду, кількість опорних кадрів, якість зображення (від 0 до 100) більш докладно із даною функцією.

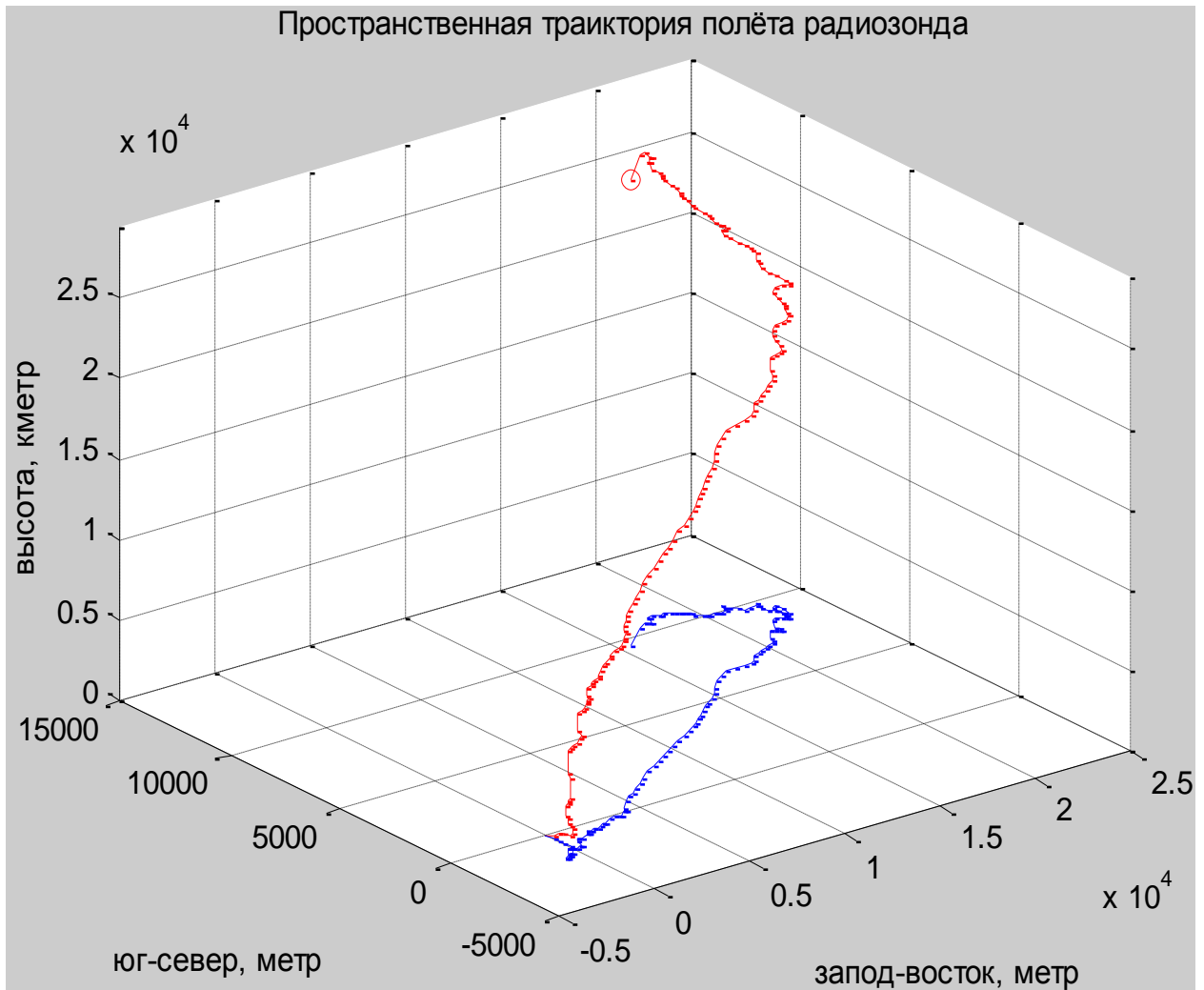


Рисунок 20 – Виділений кадр зображення з масиву структур F , просторова траєкторія польоту радіозонда і його горизонтальна проекція

Створимо файл ім'я «'polet1'», швидкість відображення 5 кадрів / секунда, якість стиску 75% (рис. 21):

```
movie2avi(F, 'polet1', 'fps', 5, 'quality', 75);
```

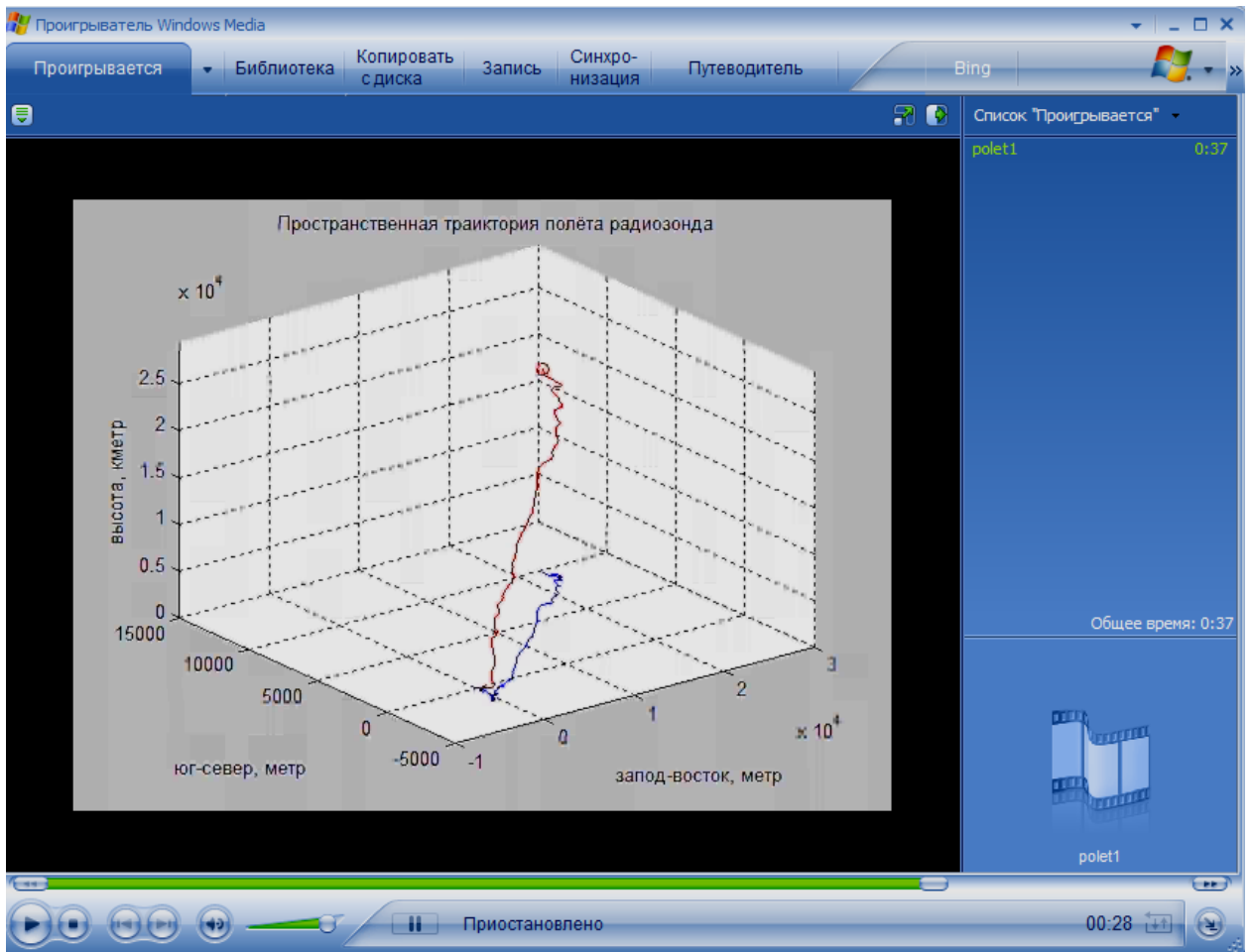


Рисунок 21 – Відтворення файлу «*.avi»: просторова траекторія польоту радіозонда і його горизонтальна проекція

3.3.3 Імітаційна модель просторової візуалізації польоту радіозонда з відображенням параметрів вітру

Задамо зовнішній вигляд дизайну графічного вікна імітаційної моделі польоту радіозонда з відображенням параметрів вітру.

Розташування графічних вікон й осей. Розглянемо властивості графічного вікна, що визначають його вид, положення й розміри на екрані монітора, а також властивості осей, які дозволяють не тільки розташувати осі в будь-якому місці графічного вікна, але й зробити погодженими зміни розмірів осей і графічного вікна (рис. 3.22).

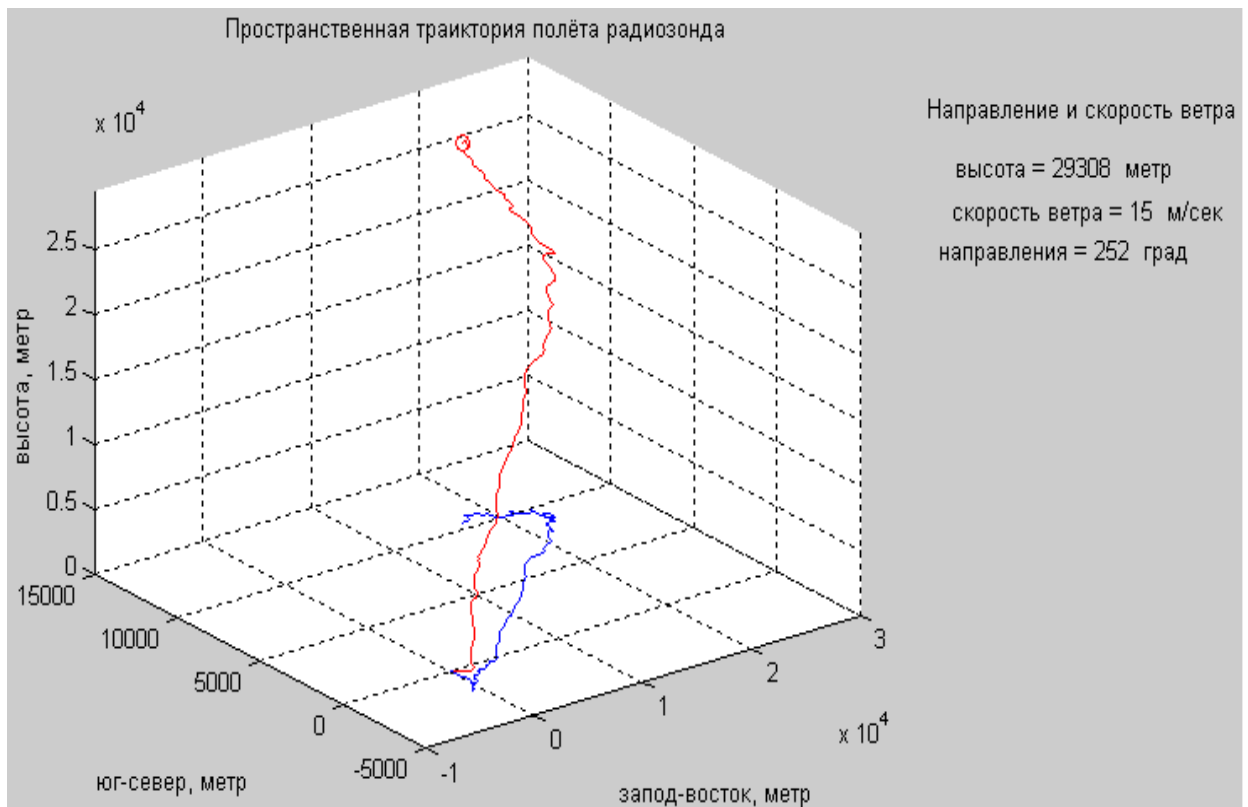


Рисунок 22 – Дизайн графического окна імітаційної моделі

Керування положенням графічних вікон. Властивість «Position» графічного вікна відповідає за положення вікна на екрані і його розмір. Значенням «Position» є вектор із чотирьох елементів, що має наступний формат (див. рис. 23):

`[left bottom width height],`

де «left» задає відстань від лівого краю монітора до лівого краю області вікна без обліку товщини рамки;

«bottom» означає відстань від нижнього краю монітора до нижнього краю області вікна, також без обліку товщини рамки;

«width» та «height» визначають, відповідно, ширину й висоту області вікна.

Одиницями виміру за замовчуванням є піксели.

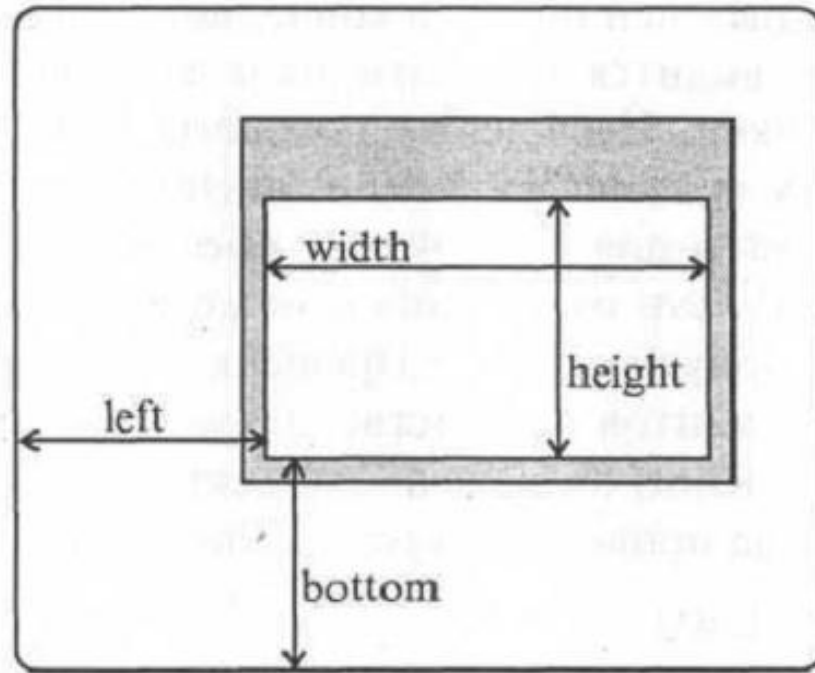


Рисунок 23 – Положення графічного вікна на екрані

Однак для того щоб забезпечити правильну роботу програми поза залежністю від установленого дозволу монітора, варто попередньо одержати його. Дозвіл монітора зберігається у вигляді вектора із чотирьох елементів у властивості «ScreenSize» об'єкта з покажчиком, рівним нулю (об'єкта «Root») (положення об'єкта «Root» в ієрархії об'єктів MATLAB).

Числа у даному прикладі отримані на моніторі з дозволом 1152 x 864, якщо монітор настроєний на інший режим, то результати можуть відрізнятися:

```
s = get(0, 'screenSize')
s = 1 1 1152 864 ,
```

Керування положенням осей. Осі графіків є об'єктами, що належать графічним вікнам, причому кожне графічне вікно може містити кілька осей.

Більше універсальним підходом є створення осей за допомогою функції «axes» із вказівкою їхніх розмірів і положення. Створення осі в новому гра-

фічному вікні задає значення властивості «Position» осей без меню й осі, укладені в рамку, збережете покажчики на дані об'єкти й одержите значення властивості «Position» осей:

```
set(axes,'Position',[ left bottom width height],'Box','on'),
```

Положення рамки осей задається вектором із чотирьох елементів:

```
[left bottom width height] ,
```

де «left» дорівнює відстані від лівої границі робочої області графічного вікна до рамки;

bottom – від нижньої границі робочої області графічного вікна до рамки;
width та height, відповідно, визначають ширину й висоту рамки осей (рис. 24 для випадку тривимірних осей).

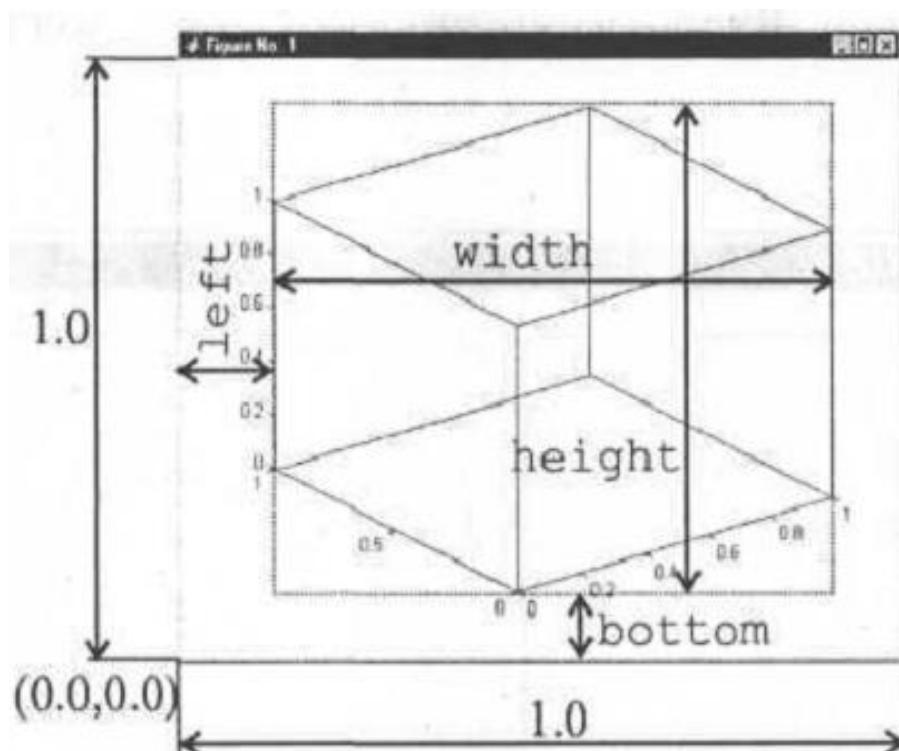


Рисунок 24 – Розташування тривимірних осей у графічному вікні

За замовчуванням використовуються нормалізовані одиниці для виміру відстаней, тобто ширина й висота робочої області графічного вікна приймаються рівними одиниці, а початок координат міститься в лівий нижній кут області вікна.

При використанні властивості «Position» не завжди вдається розташувати осі так, щоб вистачило місця для координат розмітки, заголовка й підписів до осей. Більше гнучке керування положенням осей дозволяють здійснити три властивості: «Active Position Property» (APP), «Outer Position» та «TightInset».

Уведення текстової інформації. Результати, що представлені в графічній формі, варто супроводити відповідними поясненнями, які полегшують читання графіків.

Команда функцію «text» створює текстовий об'єкт. Створення й розміщення текстових об'єктів на поточному графіку може бути виконане за допомогою функції «text».

Вхідними аргументами «text» у найпростішому випадку є координати, що визначають положення тексту й рядок:

```
text(x,y,'string')
```

додає у двовимірний графік текст, заданий строковою константою «'string'» так, що початок тексту розташований у точці з координатами (x, y).

Варто мати на увазі, що координати текстового об'єкта можуть бути виражені в різних одиницях виміру залежно від необхідного результату. Координати відраховують від лівого нижнього кута осей і можуть бути абсолютні:

- inches;
- centimeters;
- points;
- pixels.

Координати містяться у лівій нижній області вікна. Крім того, зручно використати координатну систему осей для висновку тексту в потрібну позицію – властивість «units» текстового об'єкта повинне мати значення «data» (саме воно визначається за замовчуванням). Даний спосіб є найбільш підходящим, якщо потрібно увести текст поруч із певною крапкою графіка.

Створимо імітаційну модель просторової візуалізації польоту радіозонда з відображенням параметрів вітру (рис. 25):

```
close all
F1(length(H))=struct('cdata',[],'colormap',[]);
%Попередньо створити порожній масив структур розміру що
повертає getframe
Lx2=[]; Ly2=[]; H2=[];H_2=[];H3=[];
Lx2(1)=Lx(1); Ly2(1)=Ly(1); H2(1)=H(1);H_2(1)=H_1(1);
m=min(H); MH=max(H);
for t=2:length(H);
    Dgx3=Lx(t); Dgy3=Ly(t);H3=H(t);
    Lx2=[Lx2(1:(t-1));Lx(t)];
    Ly2=[Ly2(1:(t-1));Ly(t)];
    H2=[H2(1:(t-1));H(t)];
    H_2=[H_2(1:(t-1));H_1(t)];
    set(gcf,'Position',[69 203 760 500]),
    %змінити положення й розмір поточного вікна в пікселовах
    set(axes,'Position',[0.1 0.1 0.6 0.7],'Box','on'),
    %змінити положення й розмір осей поточного вікна,
    нормалізовані одиниці

    plot3(Lx2,Ly2,H2,'r',Dgx3,Dgy3,H3,'or',Lx2,Ly2,H_2,'b');
    axis([pax1(1) pax1(2) pay1(1) pay1(2) 0 MH+100])
    grid on,title('Просторова траєкторія польоту радіозонда') ,
    xlabel('захід-схід, метр') ,ylabel('південь-північ,
метр'),zlabel('висота, метр '),
```

Початок тексту розташований у точці із координатами осей: «axis (x, y)». Координати відраховують від лівого нижнього кута осей:

```
text(90000, 30000,'напрямок і швидкість вітру на висоті')
text(85000, 25000,['висота = ', num2str(round(H(t))), ' метр']
) ,
text(80000, 22000,['швидкість вітру = ',
num2str(round(ws(t))), ' м/сек']) ,
text(75000, 19500,['напрямку = ', num2str(round(DW_grd(t))),
' град']) ,
F1(t)=getframe(gcf);
close
end
F1(1)=F1(2);
```



```

%Створимо файл 5 кадрів/секунда,75%-якість стиску 75%
movie2avi(F1,'rolet2','fps',5,'quality',75);
% Виділення кадру зображення з масиву структур
figure, imshow(F1(end-1).cdata)

```

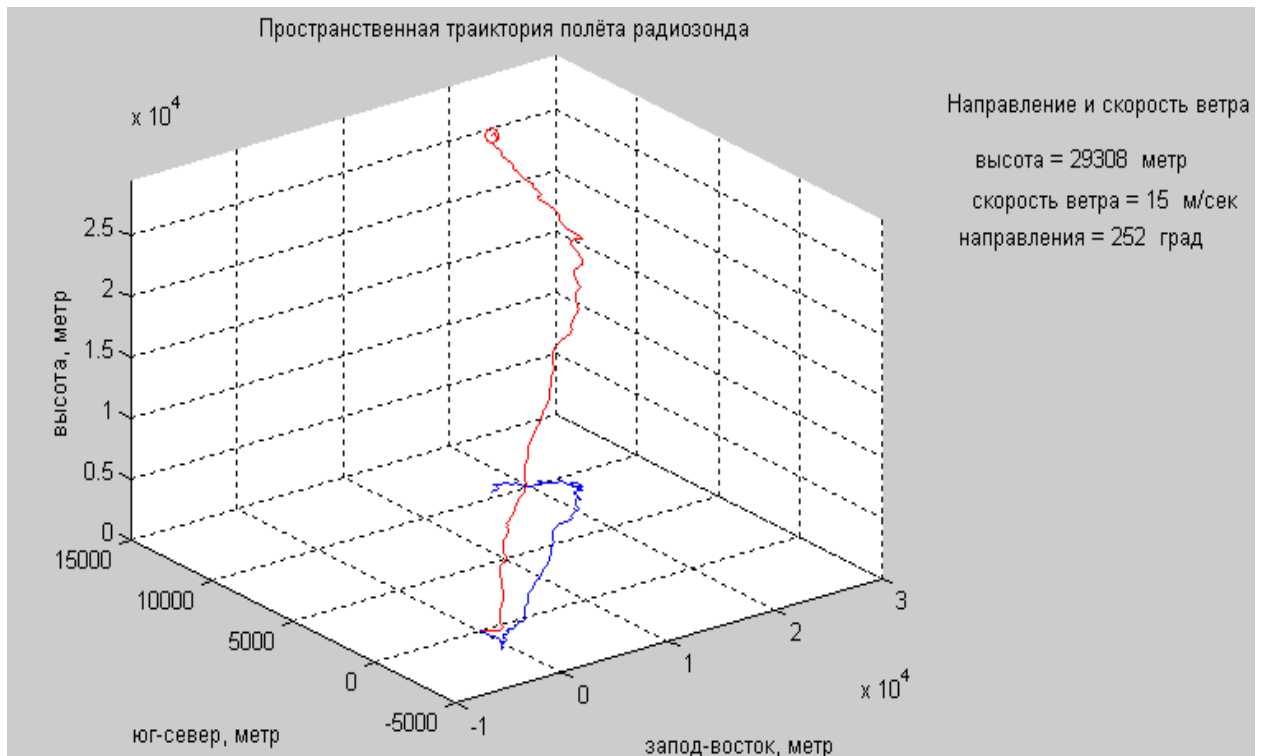


Рисунок 25 – Виділений кадр зображення з масиву структур F_1 , просторова траєкторія польоту радіозонда, його горизонтальна проекція й параметри вітру

Задамо положення тексту в графічному вікні в одиницях, певних полем «units-'pixels'». Поле задається вектором-рядком із трьох чисел $[x \ y \ z]$. Якщо графік двовимірний, координата $z = 0$. Наприклад:

```

text('units','pixels','Position',[430 350 0],'String','напрямок і швидкість вітру на висоті').

```

ВИСНОВКИ

З переміщеннями повітря в процесі загальної циркуляції атмосфери пов'язані основні зміни погоди. Повітряні маси, переміщаючись з одних областей Землі в інші, приносять різні умови по температурі, вологості і хмарності. Вітер викликає хвилювання водних поверхонь, океанічні течії, дрейф льодів, бере участь в процесах ерозії, рельєфні утворення і є найважливішим параметром для прогнозу погоди. Вітром називають рух повітря відносно земної поверхні, а вся система повітряних течій на Землі становить загальну циркуляцію атмосфери. Вихрові рухи великого масштабу – циклони і антициклони, постійно виникаючі в атмосфері, роблять систему повітряних течій дуже складною.

Для одержання інформації про вітер у всій товщі атмосфери необхідно використати такі штучні об'єкти, які б переміщалися не тільки в горизонтальному, але й у вертикальному напрямках. Такими об'єктами є кулі-пілоти, радіозонди. Найбільше зручно й наочно оцінювати адекватність контролю й обробки первинні дані є графічна візуалізація:

- сферичні координати й висоту підйому радіозонда;
- горизонтальну траєкторію польоту радіозонда;
- просторова траєкторію польоту радіозонда.

Сутність куле пілотного методу полягає у визначенні траєкторії кулі-пілота, що під впливом заданої йому піднімальної сили піднімається нагору, одночасно зміщаючись по горизонталі, і захоплюється повітряними плинами. Горизонтальна проекція траєкторії кулі дає можливість визначити швидкість і напрямок вітру в різних шарах атмосфери.

Спостереження за переміщенням кулі-пілота ведуться за допомогою радіолокатора (радіолокаційні методи). Для побудови проекції кулі в заданий момент часу потрібно знати його азимут, вертикальний кут або кут місця й горизонтальне видалення.

За результатами первинних даних радіозондування Одеського ГМЦ проведені розрахунки паромірів вітру у пакеті MATLAB. Результати наведені у вигляді графічної візуалізації в різних координатних системах.

Побудовано комп'ютерну модель просторової візуалізації польоту радіозонда з відображенням характеристик вітру на висотах. Графіки відображення польоту радіозонда і змін швидкості та напрямку вітру допомагають у обробці метеорологічних даних. Також графіки можуть використовуватися службою погоди для побудови аерологічних чи висотних карт.

Розвитком методів аерологічних вимірювань і вивчення процесів, що відбуваються у вільній атмосфері, є одним з важливих умов успіхів синоптичної метеорології.

Отримана графічна візуалізація дозволяє проводити синоптичний аналіз циркуляції в атмосфері. Отримані результати можуть бути використані в обчислювальних комплексах, що встановлюється у робочому приміщенні метеорологічної станції із базовим і спеціальним програмним забезпеченням, що працює в операційній системі Windows, що разом зі спостерігачем у реальному масштабі часу виконує наступні роботи:

- архівацію з можливістю наступної роздруківки результатів вимірів;
- ручне уведення метеорологічних величин;
- відображення на дисплеї метеорологічної інформації про параметри вітру в різних системах координат і проекціях.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Кисельов В.Н., Кузнецов А.Д. Методи зондування навколишнього середовища. Санкт-Петербург: Малоохтінський та ін., 1998. 428 с.
2. Павлов Н.Ф. Аерологія, радіометеорологія і техніка безпеки. Санкт-Петербург: Ленінградська друкарня №8, 1980. 434 с.
3. Толмачева Н.И., Калинин Н. А. Аэрология (методы зондирования атмосферы): учебник. Пермь: ПГНИУ, 2011. 336 с.
4. Посудін Ю.І. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища. Київ: Світ, 2003. 288 с.
5. Ficher K.W., Abreu V.J., McGill M.J. et al. Optical Engineering. 1995. V.34. №2. P. 511.
6. Банах В.А., Смаліхо И.Н. Когерентные доплеровские ветровые лидары в турбулентной атмосфере. Томск: Институт оптики атмосферы РАН, 2013. 304 с.
7. Иванов В.Э., Фридзон М.Б., Ессяк С.П. Радиозондирование атмосферы. 2004, Екатеринбург: ЕГУ, 596 с.
8. Радиозондирование атмосферы. URL: <http://www.ria-stk.ru/mi/adetail.php?ID=30717> (дата звернення: 07.11.2020)
9. Крэкнелл А.П. Дистанционное зондирование в метеорологии, океанографии и гидрологии. Москва: Мир, 1984. 320 с.
10. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2000. 778 с.
11. Мейсон Б.Д. Физика облаков. Ленинград: Гидрометеиздат, 1961. 542 с.
12. Методические указания по приведению атмосферного давления к уровню моря и вычислению высот изобарических поверхностей на метеорологических станциях. Ленинград: Гидрометеиздат, 1979. 49 с.
13. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. Вып. 3. Ч. 1. 157 с.

14. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации России (НМО ГА. 951). Москва, 1995. 156 с.
15. Перевезенцев Л.Г., Огарков В.Н. Радиолокационные системы аэропортов. Москва: Транспорт, 1991. 360 с.
16. Павлов Н.Ф. Аэрология, радиометеорология и техника безопасности. Ленинград: Гидрометеоздат, 1980. 432 с.
17. Приборы и установки для метеорологических измерений на аэродромах. Под ред. Л.П. Афиногенова, Е.В. Романова. Ленинград: Гидрометеоздат, 1981. 295 с.
18. Перелигін Б.В., Кузніченко С.Д. Методи і засоби обробки моніторингової інформації. Навчальний посібник. Одеса: Одеку, 2016. 222 с.
19. Перелигін Б.В., Велика О.І. Методи дистанційного зондування навколишнього середовища: конспект лекцій. Одеса: Екологія, 2012. 179 с.
20. Гор'єв С.А. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Збір, обробка, збереження та аналіз моніторингової інформації» для студентів 2-го року навчання денної та заочної форми за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки». Одеса: ОДЕКУ, 2020. 88 с.
21. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB. Учебный курс. Киев: Думка, 2005. 512 с.
22. Поляков Д. С. МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА на тему: Застосування системи комп'ютерної математики для обчислення та візуалізації характеристик віту при радіозондуванні Одеса: ОДЕКУ 2019

ДОДАТОК А

Програмний код реалізації обчислення траєкторії польоту кулі-пілота та просторової візуалізації польоту кулі-пілота

```

close all; %Удаление графических окон и очистка рабочей области
clear, clc,
%pack
% чтение txt файла
VL=load('Первич данные_23.08.2013.txt');

beta=VL(:,3)*(0.06*pi/180); % Угол места, вертикальный угол,
рад
beta_g=VL(:,3)*0.06; % Угол места, вертикальный угол, грд
alfa=VL(:,2)*(0.06*pi/180); % Азимут, горизонтальный угол, рад
alfa_g=VL(:,2)*0.06; % Азимут, горизонтальный угол, грд
ho=43; % высота над уровнем моря г. Одесса
disp(['Первичные данные =' mat2str(VL(5,:))]); %Отображение
5-й строки первичных данных

%===== Определение высоты, VL(:,4) - дальность
H=(VL(:,4).*sin(beta))+ho;
Rz=6370000; % радиус Земли, метр
Dh=VL(:,4); %дальность
% Определений высоты с учетом кривизны Земли
H_z=(Dh.*sin(beta))+ho+(Dh.^2)/(2*Rz);
H=[ho;H];
figure, plot(VL(:,1),H(2:end)/1000), grid
on,set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10)
title('вертикально-временной профиль подъема радиозонда') ,
xlabel('время мин') ,ylabel('высота км '),

v=(H(4:end)- H(2:end-2))/1; % вертикальной скорости подъема,
разность высот за время 1-минута=вертикальная скорость
метр/минут
v1=abs(H(3:end)- H(1:end-2))/1;
figure, plot(H(2:end-3),v1(1:end-2)), grid on,
set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
title('вертикальной скорости подъема радиозонда') ,
xlabel('высота метр') ,ylabel('скорости метр/минут '),
%-----
%Расчет коэффициентов регрессионной полиномиальной модели
1-го порядка
%Расчет коэффициентов уравнения линейной регрессии скорости
подъема радиозонда
n=1;
p = polyfit(H(2:end-3),v1(1:end-2),n);
disp(['коэффициенты полиномиальной регрессионной модели p='
mat2str(p) ', n-й степени n=' mat2str(n)]);
%p(2)=240; %v1(1);скорость подъема шара в приземистом слое на
основании закона гидростатики
v1=p(1)*H(2:end-3)+ p(2); %функция регрессии для экстраполяция-
линейная функция регрессии
figure, plot(H(2:end-3),v1(1:end-2)),
hold on, plot(H(2:end-3),v1,'r'), grid on,
set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),

```

```

title('вертикальной скорости подъема радиозонда и экстраполяция-
линейной регрессии') , xlabel('высота метр') ,ylabel('скорости
метр/минут '),

%-----
V_men=smooth(v,11); % Скользящее усреднение с окном размера 11-
пикселей соответствует 10 минутам, метр/минута
V_men1=[v(1); v(1);smooth(v,11); v(end)];

Vs= V_men1/60; % вертикальной скорости подъема, м/сек

figure, plot(H(1:end-2),V_men1(1:end-2)),
hold on, plot(H(2:end-3),v1,'r'), grid on,
set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
title('вертикальная скорости подъема радиозонда и экстраполяция-
линейной регрессии') , xlabel('высота метр') ,ylabel('скорости
метр/минут '),
% Если считать что уравнения линейной регрессии скорости подъема
радиозонда есть величина определяемая скорость подъема только
за счет подъёмной силы шара, которая придает шару ускорение.
% Вычисляя разность между уравнения линейной регрессии скорости
подъема радиозонда и реальной измеренной скоростью подъема
радиозонда можно % оценить вертикальную скорость ветра в слоях
высоты (нисходящие и восходящие потоки воздуха)
dv=v1-V_men(1:end-1); %скорости метр/минут
figure, plot(H(2:end-8),dv(1:end-5)), grid on,
set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
title('вертикальная составляющая скорости ветра') ,
xlabel('высота метр') ,ylabel('скорости метр/минут '),

beta=BL(:,3)*(0.06*pi/180); % Угол места, вертикальный угол,
рад
beta_g=BL(:,3)*0.06; % % Угол места, вертикальный угол, грд
alfa=BL(:,2)*(0.06*pi/180); % Азимут, горизонтальный угол, рад
alfa_g=BL(:,2)*0.06; % % Азимут, горизонтальный угол, грд
r=BL(:,4); %дальность в метрах

%горизонтальная дальность, проекция дальности r на
горизонтальную плоскость
L=r.*cos(beta);% горизонтальная дальность, метры
L1=[0;L];
%меридианная составляющая-у горизонтальной дальности
Ly=L.*cos(alfa); Ly=[0;Ly];
% зональная(широтная)-x составляющая горизонтальной дальности
Lx=L.*sin(alfa); Lx=[0;Lx];

% Визуализация полета радиозонда построенная по параметрическим
заданным составляющих x,y.
% горизонтальная проекция полета радиозонда
figure, plot(Lx/1000,Ly/1000),grid on, set(gca,'FontName','Arial
Cyr','FontSize',10),
title('горизонтальная проекция полета радиозонда')
xlabel('запад-восток, км') ,ylabel('юг-север, км '),

%Создание массива моментов наблюдений (времени), по которым
производится обработка.
Tt= BL(:,1); %моменты наблюдения времени в минутах
Tt=[0;Tt];

for k=2:length(Lx);

```

```

    vx(k)=(Lx(k)-Lx(k-1))/(Tt(k)-Tt(k-1)); %зональная составляющая
горизонтальной %скорости м/мин
    uy(k)=(Ly(k)-Ly(k-1))/(Tt(k)-Tt(k-1)); %меридианная
составляющая горизонтальной %скорости м/мин
    vl(k)=abs((L1(k)-L1(k-1))/(Tt(k)-Tt(k-1)));
end

w=sqrt(vx.^2+ uy.^2);% результирующая горизонтальная скорость
ветра в вертикальном слое высоты, м/мин

ws=w/60; % результирующая горизонтальная скорость ветра в
вертикальном слое высоты, м/сек
wz=w*60/1000; % результирующая горизонтальная скорость ветра в
вертикальном слое высоты, км/час

figure, plot(ws(1:end-2),H(1:end-2)/1000), grid
on,set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
title('горизонтальная скорости ветра в слое высоты') ,
xlabel('скорость м/сек') ,ylabel('высота км'),

figure, plot(ws(1:end-2),H(1:end-2)/1000),hold on,
plot(vl(1:end-2)/60,H(1:end-2)/1000,'r'),
grid on,set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
title('горизонтальная скорости ветра в слое высоты') ,
xlabel('скорость м/сек') ,ylabel('высота км'),

%Угол направления полета радиозонда в горизонтальной плоскости
от -pi до pi
Dw(1)=0;
for k=2:length(vx);
    Dw(k)= atan(vx(k)/uy(k)); % Угол направления радиозонда,
радиан
end

%Определения направления горизонтального движения радиозонда,
угол,
%куда дует ветер, относительно меридианной составляющей
(направления на север) в радианах.
for k=1:length(Lx);
    if (vx(k)>=0)&&(uy(k)>=0);
        Dw(k)=abs(Dw(k));
    elseif (vx(k)<0)&&(uy(k)<0);
        Dw(k)=abs(Dw(k))+pi;
    elseif (vx(k)<0)&&(uy(k)>0);
        Dw(k)=-abs(Dw(k))+2*pi;
    elseif (vx(k)>0)&&(uy(k)<0);
        Dw(k)=-abs(Dw(k))+pi;
    end
end

%Направления горизонтального движения радиозонда в градусах.
Dw_grd=Dw*360/(2*pi);

%Вертикальные профили горизонтальной компоненты, скорости ветра
и вертикальной скорости подъема радиозонда.

figure, subplot (1,3, 1)
plot(ws(1:end-2),H(1:end-2)/1000),grid on,title('вертикальная
профиль горизонтальной скорости')
xlabel('Скорость ветра, метр/секун') ,ylabel('высота, км '),

```



```

subplot (1,3, 2)
plot(Dw_grd(1:end-2),H(1:end-2)/1000),grid
on,title('вертикальная профиль направления по горизонтали') ,
xlabel('Направление ветра, градус') ,ylabel('высота, км '),
subplot (1,3, 3)
plot(Vs(1:end-2),H(1:end-2)/1000),grid on,title('вертикальная
профиль скорости подъема ') ,
xlabel('Скорость подъёма, метр/сек') ,ylabel('высота, км '),

figure, subplot (1,3, 1)
plot(ws(1:end-2),H(1:end-2)/1000),grid on,title('профиль
горизонтальной скорости') ,
xlabel('Скорость ветра, метр/сек') ,ylabel('высота, км '),
subplot (1,3, 2)
plot(Dw_grd(1:end-2),H(1:end-2)/1000),grid on,title('профиль
направления по горизонтали') ,
xlabel('Направление ветра, градус') ,ylabel('высота, км '),
subplot (1,3, 3)
plot(dv(1:end-5)/60,H(2:end-8)/1000),grid on,title('профиль
вертикальной скорости ') ,
xlabel('Скорость, метр/сек') ,ylabel('высота, км '),

%Производим усреднение зональной и меридианной составляющая
горизонтальной скорости ветра в окне размера 11-значений слоя
высоты, что соответствует толщине слоя 1.5 км.
Vx_men=smooth(Vx,11);
Uy_men=smooth(Uy,11);

W_men=sqrt(Vx_men.^2+ Uy_men.^2);%результатирующая горизонтальная
скорость ветра в вертикальном слое высоты, м/мин

Ws_men=W_men/60; % результирующая горизонтальная скорость
ветра в вертикальном слое высоты, м/сек
Wz_men=W_men*60/1000; % результирующая горизонтальная скорость
ветра в вертикальном слое высоты, км/час
%Угол направления полета радиозонда в горизонтальной плоскости
от -pi до +pi для усредненных зональной и меридианной
составляющая горизонтальной скорости.
Dw_men(1)=0;
for k=2:length(Vx_men);
Dw_men(k)= atan(Vx_men(k)/Uy_men(k)); % Угол направления
радиозонда, радиан
end

%Определения направления горизонтального движения радиозонда,
угол, куда дует ветер, относительно меридианной составляющей
(направления на север) в радианах.
for k=1:length(Lx);
if (Vx_men(k)>=0)&&(Uy_men(k)>=0);
Dw_men(k)=abs(Dw_men(k));
elseif (Vx_men(k)<0)&&(Uy_men(k)<0);
Dw_men(k)=abs(Dw_men(k))+pi;
elseif (Vx_men(k)<0)&&(Uy_men(k)>0);
Dw_men(k)=-abs(Dw_men(k))+2*pi;
elseif (Vx_men(k)>0)&&(Uy_men(k)<0);
Dw_men(k)=-abs(Dw_men(k))+pi;
end
end

%Направления горизонтального движения радиозонда в градусах.

```

```

Dwm_grd=DW_men*360/(2*pi);

figure, subplot (1,3, 1)
plot(ws_men(1:end-2),H(1:end-2)/1000),grid
on,title('вертикальная профиль скорости'),
xlabel('Скорость ветра, метр/секун') ,ylabel('высота, км '),
subplot (1,3, 2)
plot(Dwm_grd(1:end-2),H(1:end-2)/1000),grid
on,title('вертикальная профиль направления'),
xlabel('Направление ветра, градус') ,ylabel('высота, км '),
subplot (1,3, 3)
plot(Vs(1:end-2),H(1:end-2)/1000),grid on,title('вертикальная
профиль скорость подъёма'),
xlabel('Скорость подъёма, метр/сек') ,ylabel('высота, км '),

% Отображение направления и скорости ветра в слоях профиле
% ВЬСОТЫ
figure, subplot (1,3, 1)
plot(ws_men(1:end-2),H(1:end-2)/1000),grid on,title('профиль
горизонтальной скорости'),
xlabel('Скорость ветра, метр/сек') ,ylabel('высота, км '),
subplot (1,3, 2)
plot(Dwm_grd(1:end-2),H(1:end-2)/1000),grid on,title('профиль
направления'),
xlabel('Направление ветра, градус') ,ylabel('высота, км '),
subplot (1,3, 3)
plot(dv(1:end-5)/60,H(2:end-8)/1000),grid on,title('профиль
вертикальной скорости '),
xlabel('Скорость, метр/сек') ,ylabel('высота, км '), %
xlim([min(dv(1:end-5))-5 max(dv(1:end-5))+5]),

% Визуализация полета радиозонда, проекция на горизонтальную
% поверхность
figure, plot(Lx,Ly, 'Linewidth', 2),grid
on,title('горизонтальная проекция полета радиозонда и
направление ветра')
xlabel('запад-восток, метр') ,ylabel('юг-север, метр '),
for k=2:4:100;
hold on
quiver(Lx(k),Ly(k), vx(k),uy(k),0,'ro');
hold on
quiver(Lx(k),Ly(k), vx(k),uy(k),0,'k');
end

%Производим усреднение зональной и меридианной составляющая
%горизонтальной %дальности
Lx_men=smooth(Lx,11); Ly_men=smooth(Ly,11);
figure, plot(Lx_men,Ly_men, 'Linewidth', 2),grid
on,title('горизонтальная проекция полета радиозонда и вектора
направление ветра')
xlabel('запад-восток, метр') ,ylabel('юг-север, метр '),
for k=2:4:length(Lx_men);
hold on
quiver(Lx_men(k),Ly_men(k), vx_men(k),uy_men(k),0,'ro');
hold on
quiver(Lx_men(k),Ly_men(k), vx_men(k),uy_men(k),0,'k');
end

```

```

% Построение угловой диаграммы полярных координатах,
подсчитывает % количество угловых элементов в каждом интервале под
названием - роза ветров
figure, rose(DW_men,20), title('роза ветров, горизонтальная
составляющая направления ветра полета радиозонда')
xlabel('Восток') ,ylabel('Юг '),set(gca,'view',[-90
90],'YDir','reverse'),
% Построение угловой диаграммы (в полярных координатах,
подсчитывает
% количество угловых элементов в каждом интервале под названием -
роза ветров. Гистограмма в полярных координатах.

%команды rose(phi, n) подсчитывают и отображают на графике
количество угловых элементов в массиве phi,
%значения которых попадают в заданный интервал; для этого весь
диапазон значений phi делится на n интервалов
%(по умолчанию 20) и подсчитывается количество угловых элементов
в каждом интервале.

%view(az, e1 ) или view ( [az, e1] ) –задание Положения ТОЧКИ
обзора
%при помощи азимута(az) и угла склонения(возвышения (e1)),
выраженных в градусах
%YDir - направление координатных осей. Значения 'reverse' - в
обратном направлении.

% задаем сектора в которых подсчитывается количество угловых
элементов для
% построения гистогаммы в полярных координатах. Центры секторов
соответствуют румбам
rumb=[0, 22.5, 45, 67.5, 90, 112.5, 135, 157.5, 180, 202.5, 225,
247.5, 270, 292.5, 314, 337.5]*pi/180;
figure, rose(DW_men,rumb),set(gca,'view',[-90
90],'YDir','reverse'), title('роза ветров направления ветра,
Гистограмма в полярных координатах')
xlabel('Запад') ,ylabel('Юг '),

figure, subplot (1,2, 1)
plot(Dwm_grd(1:end-2),H(1:end-2)/1000),grid
on,title('вертикальная профиль направления')
xlabel('Направление ветра, градус') ,ylabel('высота, км '),
subplot (1,2, 2)
rose(DW_men,rumb),set(gca,'view',[-90
90],'YDir','reverse'),title('роза ветров'), xlabel('Запад')
,ylabel('Юг '),

%Построение и визуализация пространственной траектории полета
радиозонда и
%горизонтальная проекция полета радиозонда
H_1=ones(size(H));H_0=zeros(size(H));
figure,
plot3(Lx_men/1000,Ly_men/1000,H/1000,Lx_men/1000,Ly_men/1000,H_1
/1000,'-r'),grid on,title('Пространственная траектория полёта
радиозонда') ,
%colorbar
%colormap(hot)
xlabel('запад-восток, км') ,ylabel('юг-север,
км'),zlabel('высота, км'),

```

```

%визуализация пространственной траектории полета радиозонда в
полярных координатах
%профиль направление ветра по высоте
figure
polar(DW_men',H/1000,'b'),set(gca,'View',[-90
90],'YDir','reverse'),title('профиль направление ветра по
высоте'), xlabel('Запад'),ylabel('Юг'), ;

figure
polar(ws_men,H/1000,'r'),set(gca,'View',[-90
90],'YDir','reverse'),title('профиль направление ветра и
скорости'), xlabel('Запад'),ylabel('Юг'), ;

Lx_men1=Lx_men(1:4:length(Lx_men));
Ly_men1=Ly_men(1:4:length(Lx_men));
H1=H(1:4:length(Lx_men));
H01=H_0(1:4:length(Lx_men));
Vx_men1=Vx_men(1:4:length(Lx_men));
Uy_men1=Uy_men(1:4:length(Lx_men));
figure, plot3(Lx_men, Ly_men, H, Lx_men, Ly_men, H_1, '-r'),grid
on,title('Пространственная траектория полёта радиозонда и
вектора направление ветра'),
xlabel('запад -восток, метр'),ylabel('юг-север, метр
'),zlabel('высота, метр '),
hold on, quiver3(Lx_men1, Ly_men1, H1,
Vx_men1, Uy_men1, H01, 1.2, 'k');

%Производим усреднение зональной и меридеанной составляющая
горизонтальной дальности
figure, plot(Lx_men, Ly_men, 'Linewidth', 1),grid
on,title('горизонтальная проекция полета радиозонда и вектора
направление ветра')
xlabel('запад-восток, метр'),ylabel('юг-север, метр '),
hold on, plot(Lx_men1, Ly_men1, 'ro');
hold on, quiver(Lx_men1, Ly_men1, Vx_men1, Uy_men1, 0.5, 'k');

% === Построение траектории полета в заданном слое высоте ===

dh=300; h1=1000; % метры
f1=find(H<h1-dh); %Определение индексов при которых значение
меньше
f2=find(H<h1+dh); %Определение индексов при которых значение
меньше
% Построение и визуализация пространственной траектории полета
радиозонда в слое от h1 до h2
%Производим усреднение зональной и меридианной составляющая по
горизонтали для определения среднего направления ветра в слое
[f1(end):f2(end)]
Vx_reg=smooth(Vx(f1(end):f2(end)),(f2(end)-f1(end)));
Uy_reg=smooth(Uy(f1(end):f2(end)),(f2(end)-f1(end)));
Vx_reg1=Vx_reg(round((f2(end)-f1(end))/2));
Uy_reg1=Uy_reg(round((f2(end)-f1(end))/2));
Dw_reg= atan(Vx_reg1/Uy_reg1); % Угол направления радиозонда, в
горизонтальной плоскости от -pi до pi радиан
%среднего направления ветра в слое [f1(end):f2(end)]
if (Vx_reg1>=0)&&(Uy_reg1>=0);
Dw_reg=abs(Dw_reg);
elseif (Vx_reg1<0)&&(Uy_reg1<0);
Dw_reg=abs(Dw_reg)+pi;
elseif (Vx_reg1<0)&&(Uy_reg1>0);

```

```

        DW_reg=-abs(DW_reg)+2*pi;
    elseif (vx_reg1>0)&&(uy_reg1<0);
        DW_reg=-abs(DW_reg)+pi;
    end
    DW_reg_grd=DW_reg*360/(2*pi);

% Построение угловой диаграммы в полярных координатах,
% подчитывает количество угловых элементов в каждом интервале под
% названием - роза ветров.
%Заголовок графика выводится с помощью процедуры title.
%Если после обращения к процедуре plot вызвать title таким
%образом: title('<текст>'), то над графиком появится текст,
%записанный между апострофами в скобках.
%При этом следует помнить, что текст всегда должен помещаться в
%апострофы.
%Аналогично можно вывести объяснения к графику, которые
%размещаются вдоль горизонтальной оси (функция xlabel) и вдоль
%вертикальной оси (функция ylabel).
% s = num2str(A) преобразует числовой массив в символьный
% массив, который представляет числа.
% Выходной формат зависит от величин исходных значений. num2str
% полезно для графиков маркировки и создания заголовков с
% числовыми значениями.
% s = num2str(A, precision) возвращает символьный массив, который
% представляет числа с максимальным количеством значительных цифр,
% заданных precision.
% chr = mat2str(X) преобразует числовой матричный X в вектор
% символов, который представляет матрицу максимум с 15 цифрами
% точности.

figure, rose(DW(f1(end):f2(end)), rumb), set(gca, 'view', [-90
90], 'YDir', 'reverse'),
%Создайте многострочный заголовок с помощью многострочного
%массива
str1=[num2str(round(H(f1(end)))) ' '
num2str(round(H(f2(end))))]; %строковый массив,
str_1={['роза ветров в слое [' str1 '] метр и направление
среднего ветра ']}; %строковый массив,
str2= num2str((sqrt(vx_reg1.^2+ uy_reg1.^2))/60,3);% строковый
%массив,
str3=num2str(round( DW_reg_grd));
str4={['W= ' str2 ' м/сек, DW=' str3 ' грд ']};
title([' str_1 ; str4 ']); %многострочный(двустрочный) заголовок в
%виде строкового массива для матлаб-6.5
xlabel('Восток') , ylabel('Юг'), hold on,
compass(uy_reg1/160, vx_reg1/160, 'r'),

disp(['Расчетные данные средней скорости и направления ветра в
слое [' num2str(round(H(f1(end)))) '
num2str(round(H(f2(end)))) ' ] метр W='
num2str(round((sqrt(vx_reg1.^2+ uy_reg1.^2))*100/60)/100) '
м/сек, DW=' num2str(round( DW_reg_grd)) ' грд ' ] );

%% Слой высоты от 100 мет до 2000 мет
h_1=300; h2=3000; % метры
f1=find(H<h2-dh); %Определение индексов при которых значение
меньше
f2=find(H<h2+dh); %Определение индексов при которых значение
меньше

```

```

% Построение и визуализация пространственной траектории полета
% радиозонда в слое от h1 до h2
% Производим усреднение зональной и меридианной составляющей по
% горизонтальной для определения среднего направления ветра в
% слое [f1(end):f2(end)]
Vx_reg=smooth(vx(f1(end):f2(end)),(f2(end)-f1(end)));
Uy_reg=smooth(uy(f1(end):f2(end)),(f2(end)-f1(end)));
Vx_reg1=Vx_reg(round((f2(end)-f1(end))/2));
Uy_reg1=Uy_reg(round((f2(end)-f1(end))/2));
Dw_reg=atan(Vx_reg1/Uy_reg1); % Угол направления радиозонда, в
% горизонтальной плоскости от -pi до pi радиан.

% среднего направления ветра в слое [f1(end):f2(end)]
Dw_reg1=[];
if (Vx_reg1>=0)&&(Uy_reg1>=0);
    Dw_reg1=abs(Dw_reg);
elseif (Vx_reg1<0)&&(Uy_reg1<0);
    Dw_reg1=abs(Dw_reg)+pi;
elseif (Vx_reg1<0)&&(Uy_reg1>0);
    Dw_reg1=-abs(Dw_reg)+2*pi;
elseif (Vx_reg1>0)&&(Uy_reg1<0);
    Dw_reg1=-abs(Dw_reg)+pi;
end
Dw_reg_grd1=Dw_reg1*360/(2*pi);

figure, rose(Dw(f1(end):f2(end)),rumb),set(gca,'View',[-90
90],'YDir','reverse'),
title(['роза ветров в слое [' mat2str(round(H(f1(end)))) ' '
mat2str(round(H(f2(end)))) ' ]метр и направление среднего
ветра'])
xlabel('Восток'),ylabel('Юг'),
hold on, compass(Uy_reg1/40,Vx_reg1/40,'r'),

disp(['Расчетные данные средней скорости и направления ветра в
слое [' mat2str(round(H(f1(end)))) ' '
mat2str(round(H(f2(end)))) ' ]метр W='
mat2str(round((sqrt(Vx_reg1.^2+Uy_reg1.^2))*100/60)/100)
'м/сек, DW=' mat2str(round(Dw_reg_grd1)) ' грд ']);

%% Слой высоты от 2100 мет до 4000 мет
h3=6000; % метры
f3=find(H<h3-dh); %Определение индексов при которых значение
меньше
f4=find(H<h3+dh); %Определение индексов при которых значение
меньше
% Построение и визуализация пространственной траектории полета
% радиозонда в слое от h1 до h2
% Производим усреднение зональной и меридианной составляющей по
% горизонтальной для определения среднего направления ветра в
% слое [f1(end):f2(end)]
Vx_reg=smooth(vx(f3(end):f4(end)),(f4(end)-f3(end)));
Uy_reg=smooth(uy(f3(end):f4(end)),(f4(end)-f3(end)));
Vx_reg2=Vx_reg(round((f4(end)-f3(end))/2));
Uy_reg2=Uy_reg(round((f4(end)-f3(end))/2));
Dw_reg=atan(Vx_reg2/Uy_reg2); % Угол направления радиозонда, в
% горизонтальной плоскости от -pi до pi радиан.
% среднего направления ветра в слое [f1(end):f2(end)]
Dw_reg2=[];
if (Vx_reg2>=0)&&(Uy_reg2>=0);
    Dw_reg2=abs(Dw_reg);

```

```

elseif (vx_reg2<0)&&(uy_reg2<0);
    DW_reg2=abs(Dw_reg)+pi;
elseif (vx_reg2<0)&&(uy_reg2>0);
    DW_reg2=-abs(Dw_reg)+2*pi;
elseif (vx_reg2>0)&&(uy_reg2<0);
    DW_reg2=-abs(Dw_reg)+pi;
end
DW_reg_grd2=DW_reg2*360/(2*pi);

figure,      rose(DW(f3(end):f4(end)), rumb), set(gca, 'View', [-90
90], 'YDir', 'reverse'),
title(['роза ветров в слое [' mat2str(round(H(f3(end)))) ' '
mat2str(round(H(f4(end)))) ' ]метр и направление среднего
ветра'])
xlabel('Восток'), ylabel('Юг'),
hold on, compass(Uy_reg2/120, vx_reg2/120, 'r'),

disp(['Расчетные данные средней скорости и направления ветра в
слое [' mat2str(round(H(f3(end)))) ' '
mat2str(round(H(f4(end)))) ' ]метр W='
mat2str(round((sqrt(vx_reg2.^2+ uy_reg2.^2))*100/60)/100)
'м/сек, DW=' mat2str(round( DW_reg_grd2)) ' грд ']);

%=== Построение траектории полета в заданном слое высоте=====
dh=300; h1=9000; % метры
f1=find(H<h1-dh); %Определение индексов при которых значение
меньше
f2=find(H<h1+dh); %Определение индексов при которых значение
меньше
% Построение и визуализация пространственной траектории полета
радиозонда в слое от h1-dh до h1+dh
%Производим усреднение зональной и меридианной составляющая
горизонтальной для определения среднего направления ветра в
слое [f1(end):f2(end)]

Vx_reg=smooth(vx(f1(end):f2(end)), (f2(end)-f1(end)));
Uy_reg=smooth(uy(f1(end):f2(end)), (f2(end)-f1(end)));
Vx_reg1=Vx_reg(round((f2(end)-f1(end))/2));
Uy_reg1=Uy_reg(round((f2(end)-f1(end))/2));
Dw_reg= atan(Vx_reg1/Uy_reg1); % Угол направления радиозонда, в
горизонтальной плоскости от -pi до pi радиан
%среднего направления ветра в слое [f1(end):f2(end)]
if (Vx_reg1>=0)&&(Uy_reg1>=0);
    DW_reg=abs(Dw_reg);
elseif (Vx_reg1<0)&&(Uy_reg1<0);
    DW_reg=abs(Dw_reg)+pi;
elseif (Vx_reg1<0)&&(Uy_reg1>0);
    DW_reg=-abs(Dw_reg)+2*pi;
elseif (Vx_reg1>0)&&(Uy_reg1<0);
    DW_reg=-abs(Dw_reg)+pi;

end
DW_reg_grd=DW_reg*360/(2*pi);

% Построение угловой диаграммы в полярных координатах,
подсчитывает % количество угловых элементов в каждом интервале
под названием - роза ветров
figure,      rose(DW(f1(end):f2(end)), rumb), set(gca, 'View', [-90
90], 'YDir', 'reverse'),

```

```

title(['роза ветров в слое [' mat2str(round(H(f1(end)))) ' '
mat2str(round(H(f2(end)))) ''] метр и направление среднего
ветра'])
xlabel('Восток') ,ylabel('Юг '),
hold on, compass(Uy_reg1/150,Vx_reg1/150,'r'),
disp(['Расчетные данные средней скорости и направления ветра в
слое [' mat2str(round(H(f1(end)))) ' '
mat2str(round(H(f2(end)))) ''] метр W='
mat2str(round((sqrt(Vx_reg1.^2+ Uy_reg1.^2))*100/60)/100) '
м/сек, DW=' mat2str(round( DW_reg_grd)) ' грд ']);

%=====
% Визуализация полета радиозонда построенная по параметрическим
заданным линиям и поверхностям.
% Формирование векторов для отображения вертикальной и
горизонтальной проекции полета радиозонда
H_1=ones(size(H));
figure, plot3(Lx/1000,Ly/1000,H/1000,'-b',Lx/1000,Ly/1000,H_1,'-
r',Lx(end)/1000,Ly(end)/1000,H(end)/1000,'or'),grid
on,title('Пространственная траектория полёта радиозонда') ,
xlabel('запад-восток, км') ,ylabel('юг-север, км
'),zlabel('высота, км '),

%С понятием объектов дескрипторной графики связана особая
характеристика объектов - дескриптор (описатель).
%Его можно понимать как некое число - своеобразный идентификатор
(«распознаватель») объектов.
P3=plot3(Lx,Ly,H,'-b',Lx,Ly,H_1,'-
r',Lx(end),Ly(end),H(end),'or'),grid on,title('Пространственная
траектория полёта радиозонда');
%gca получить дескриптор графического объекта axes текущего
окна;
pay1=get(gca, 'YLim'); %пределы изменения переменной оси Y.
pax1=get(gca, 'XLim'); %пределы изменения переменной оси X.
paz1=get(gca, 'ZLim'); %пределы изменения переменной оси Z.

%Формирование файла, имитационная модель пространственного
полета радиозонда
Lx2=[]; Ly2=[]; H2=[];H_2=[];
Lx2(1)=Lx(1); Ly2(1)=Ly(1); H2(1)=H(1);H_2(1)=H_1(1);
mH=min(H); MH=max(H);
F(length(H))=struct('cdata',[],'colormap',[]);%предварительно
создать пустой массив структур размера возвращаемой getframe

figure,
for t=2:length(H); %length(H)- количество кадров
% plot3 - Рисуем 3D график пространственного полета
радиозонда
Dgx3=Lx(t); Dgy3=Ly(t);H3=H(t);
Lx2=[Lx2(1:(t-1));Lx(t)];
Ly2=[Ly2(1:(t-1));Ly(t)];
H2=[H2(1:(t-1));H(t)];
H_2=[H_2(1:(t-1));H_1(t)];
plot3(Lx2,Ly2,H2,'r',Dgx3,Dgy3,H3,'or',Lx2,Ly2,H_2,'b');
grid on,title('Пространственная траектория полёта
радиозонда') ,
xlabel('запад-восток, метр') ,ylabel('юг-север, метр
'),zlabel('высота, кметр '),

```



```

axis([pax1(1) pax1(2) pay1(1) pay1(2) 0 mн+100]) %сздаем оси
координат в соответствии с gca получить дескриптор графического
объекта axes
F(t)=getframe(gcf); %% Захват и сохранение кадра
end
%F(1)=getframe(gcf);

F(1)=F(2);
% вывод изображения кадра из последовательности кадров массива
структур
figure, imshow(F(1).cdata)
%Создадим файл 25 кадров/секунда,75%-качество сжатия 75%
movie2avi(F,'polet1','fps',5,'quality',75);

%=====
%Выводим 1 раз видеопоследовательность на экран с частотой 2
кадров в секунду.
% проигрываем видео
hf = figure('ToolBar','none'); %Приводит к скрытию меню
movie(hf, F, 1, 4);

```