
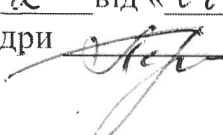


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗБІРНИК МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК
до лабораторних робіт з навчальної дисципліни
«Інтелектуальні системи моніторингу навколишнього середовища»
для студентів денної та заочної форми навчання
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

Затверджено
на засіданні групи забезпечення спеціальності
Протокол № 1 від «19» 09 2021р.
Голова групи  Мещеряков В.І.

Затверджено
на засіданні кафедри АСМНС
Протокол № 2 від «08» січня 2021р.
Завідувач кафедри  Перелигін Б. В.

Одеса 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗБІРНИК МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК
до лабораторних робіт з навчальної дисципліни
«Інтелектуальні системи моніторингу навколишнього середовища»
для студентів денної та заочної форми навчання
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

Одеса 2021

Збірник методичних вказівок до лабораторних робіт з дисципліни „
Інтелектуальні системи моніторингу навколишнього середовища”
для студентів 2-го року навчання денної та заочної форми за
спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки», рівень вищої освіти
бакалавр./Гор'єв С.А.– Одеса, ОДЕКУ, 2021

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	3
Лабораторна робота №1 «Розрахунок й аналіз статичних характеристик перетворювача метеорологічних величин радіозонда».....	6
Лабораторна робота №2 «Розрахунок та дослідження результату температурного та відносної вологості телеметричних даних радіозонда».....	28
Лабораторна робота № 3 «Обчислення характеристик вітру та побудова графіка швидкості та напрямку вітру при радіозондуванні. ».....	63
Список використаної літератури.....	101

ПЕРЕДМОВА

Дисципліна “ **Інтелектуальні системи моніторингу навколишнього середовища** ” є вибірковою дисципліною підготовки магістрів за спеціальністю 122 Комп’ютерні науки і за освітньо-професійною програмою "Комп’ютерний еколого-економічний моніторинг".

Мета дисципліни – підготовка майбутніх фахівців в галузі обробки метеорологічних даних інформаційно-вимірювальних систем моніторингу навколишнього середовища.

Завдання дисципліни полягає у вивченні теоретичних, методичних основ та практичного застосування методів і засобів обробки метеорологічних даних систем моніторингу навколишнього середовища.

В результаті вивчення дисципліни студент повинен:

Знати:

- Про основи формування метеорологічних даних та вимірювальних в системах моніторингу,
- Основи визначень і понять комп’ютерної обробки метеорологічних даних та математичного апарата опису метеорологічних сигналів моніторингу і цифрових методів аналізу даних,
- Методів і способів цифрової обробки метеорологічних даних заснованих математичному апараті аналізу даних стосовно до інформаційно-вимірювальних систем моніторингу.

Вміти:

- Обирати та застосовувати існуючі засоби цифрової обробки та методів аналізу даних,
- Вирішувати задачі обробки даних моніторингу на ґрунті розробки алгоритми цифрової обробки методів аналізу даних,
- Використовувати сучасні методи, технології та засоби обробки аналізу метеорологічних даних.

Мета методичних вказівок – вивчення методики розрахунку метеорологічних характеристик атмосфери при моніторингу навколишнього середовища та інформаційно-вимірювальних систем зондування атмосфери.

У даних методичних вказівках приводяться теоретичні відомості, необхідні для виконання практичних робіт, а також мета, завдання і порядок виконання кожної роботи. Приведені також вимоги до оформлення звіту з кожної лабораторної роботи.

При виконанні лабораторної роботи кожен студент відповідає на теоретичні питання і, потім, після одержання допуску, практично виконує роботу.

Під час проведення лабораторних робіт проводиться контрольне опитування. Максимальна оцінка ЗМ-П1 – 50 балів.

Збірник методичних вказівок складається з 3 лабораторних робіт.

Лабораторна робота №1

« Розрахунок й аналіз статичних характеристик перетворювача метеорологічних величин радіозонда »

Мета роботи – Розрахунок і візуалізація графіків статичних характеристик перетворювачів температури й вологості, розрахунок і візуалізація характеристик вторинного телеметричного перетворювача й наскрізного тракту телеметричної інформації радіозонд - РЛС.

Завдання на підготовку до практичної роботи. Під час виконання практичної роботи студент винний

знати:

- Методи досліджень вільної атмосфери;
- Радіолокаційне зондування навколишнього середовища;
- Аерологічне зондування;
- Принципи радіозондування та формування телеметричного сигналу метеорологічних параметрів;
- Будову й роботу програмного пакета MATLAB.

вміти:

- По східним даним радіозонду обчислювати, досліджувати статичні характеристики метеорологічних перетворювачей та візуалізувати результати дослідження.

Теоретичні відомості.

Особливості вимірів метеорологічних величин у вільній атмосфері.

Аерологічні виміри ставляться до класу метеорологічних й їх ціль - вимір метеорологічних величин вільної атмосфери. Особливістю аерологічних вимірів є те, що вони проводяться не в одній крапці, як це робиться при наземних метеорологічних вимірах, а при русі вимірювального приладу по вертикалі й горизонталі.

Діапазон зміни значень різних фізичних величин по вертикалі у вільній атмосфері набагато більше, ніж у земної поверхні. Так, при підйомі зонда від

поверхні землі до стратосфери температура може змінитися на 90–100°C (наприклад, від +30°C у землі до –70°C у стратосфері). Вологість повітря також може змінюватися від 100 до декількох відсотків. Тиск повітря змінюється в 20 разів і більше. Підмети виміру метеорологічні параметри вільної атмосфери мають велику тимчасову й просторову мінливість, що приводить до необхідності мати у вимірювальних приладах значний динамічний діапазон. Ці умови визначають одне з основних вимог до аерологічних приладів - їх малу інерційність, тобто вимога, щоб чутливі елементи (датчики) приладів миттєво реагували на швидкі зміни значень метеорологічних величин.

Аерологічні прилади реєструють зміни певних фізичних характеристик чутливих елементів, наприклад, деформацію механічних датчиків, опір електричних чутливих елементів, які відбуваються під час підйому приладу. Більшість аерологічних приладів призначено для проведення дистанційних вимірів. При таких вимірах прилад перебуває в крапці, вилученої від місця його випуску, і результати вимірів повинні доставлятися на пункт збору або передаватися по радіоканалі.

Самі радіозонди є складовою частиною складних радіотелеметрій комплексів, створюваних для зондування атмосфери. При цьому прийом інформації про обмірювані значення метеорологічних величин здійснюється за допомогою спеціальних технічних засобів, розмаїтість видів яких також досить велика.

Система радіозондування «**Метеорит - МАРЗ**» належить до оперативних систем зондування атмосфери, до складу якої входить наземна імпульсна радіолокаційна станція типу (РЛС) «Метеорит» і радіозонд МАРЗ.

У процесі реалізації зондування вимірюються температура й відносна вологість повітря, а також поточні координати радіозонда. Це дозволяє додатково визначити такі найважливіші характеристики як швидкість і напрямок вітру, тиск повітря, температуру крапки роси й інших.

Система радіозондування «Метеорит - МАРЗ» мала ряд модифікацій; у цей час використовується РЛС типу «Метеорит-2» і радіозонд МАРЗ-2-2.

РЛС «Метеорит -2 »

Радіолокаційна станція «Метеорит-2» має велику максимальну дальність дії в режимі активної відповіді за рахунок використання короткохвильового діапазону довжин хвиль електромагнітних коливань (дециметрового при довжині хвилі близько 17 см.), великої потужності передавача РЛС і високої чутливості її прийомного пристрою, а також у силу гарних спрямованих властивостей антеною системи. У даній системі повністю автоматизований процес виміру координат радіозонда, супроводу радіозонда по кутових координатах і дальності, а також процес реєстрації радіотелеметрій і радіолокаційної інформації.

Функціональні вузли РЛС «Метеорит-2» відповідають елементам типової імпульсної радіолокаційної станції. У той же час станція має деякі відмінності, що дозволяють більш ефективно виконувати радіозондування атмосфери. РЛС «Метеорит-2» має у своєму складі два передавачі: малопотужний (1 кВт) і передавач великої потужності (200 кВт). Малопотужний передавач використовується при підготовці радіозонда до випуску вперше моменти часу після випуску, коли більша потужність випромінюваної електромагнітної енергії не потрібна. У процесі проведення радіозондування передавач великої потужності використовується, як правило, лише при більших вертикальних кутах антени; при малих вертикальних кутах антени - передавач малої потужності.

РЛС «Метеорит-2» має наступні основні технічні характеристики:

- діапазон частот електромагнітної енергії, випромінюваної передавачами РЛС - 1772-1792 мгц;
- імпульсна потужність передавачів: малопотужного - 1квт; великої потужності - 200 квт;
- тривалість випромінюваних імпульсів запиту - 1,5 мкс;
- частота повторення імпульсів запиту - 416 Гц;
- антена параболічного типу з діаметром - 2.5 м;
- ширина діаграми спрямованості антени — 5°;
- чутливість приймача РЛС - 10^{-14} Вт;
- дальність автоматичного супроводу радіозонда з реєстрацією даних - 250 км;
- середня помилка кутових координат радіозонда - 7.2';
- середня помилка виміру дальності: при дальностях до 50 км - 20 м; при дальностях до 150 км - 40 м;
- точність реєстрації: кутових координат - 3.6'; дальності - 10 м; частот обмірюваних метеорологічних величин - 1 Гц;
- споживана потужність при нарузі споживання 220 В - 9 квт.

Радіозонди типу МАРЗ. Малогабаритні радіозонди МАРЗ мають кілька різновидів, однак, як ми вже відзначали вище, із РЛС «Метеорит-2» може використатися тільки радіозонд типу МАРЗ-2-2. Цей радіозонд виконаний на елементній базі з використанням напівпровідникових елементів й інтегральних мікросхем. Джерелом харчування радіозонда служить водоналивна низьковольтна малогабаритна батарея 28-МХМ-0.1, що забезпечує напруги 27 й 9,5 У. Використання стабілізаторів харчування дозволило підвищити надійність функціонування радіозонда й зменшити погрішність радіотелеметрійного каналу. Радіозонд має досить малі масу,

габарити й споживання енергії, що робить його досить привабливим для зондування атмосфери.

Радіозонд МАРЗ-2-2, функціональна блок-схема якого представлена на мал.1, містить первинні вимірювальні перетворювачі температури й відносної вологості, електронний комутатор, перетворювач опір частота, СВЧ-автогенератор, генератор імпульсів, джерело харчування й стабілізатор напруг і струму.

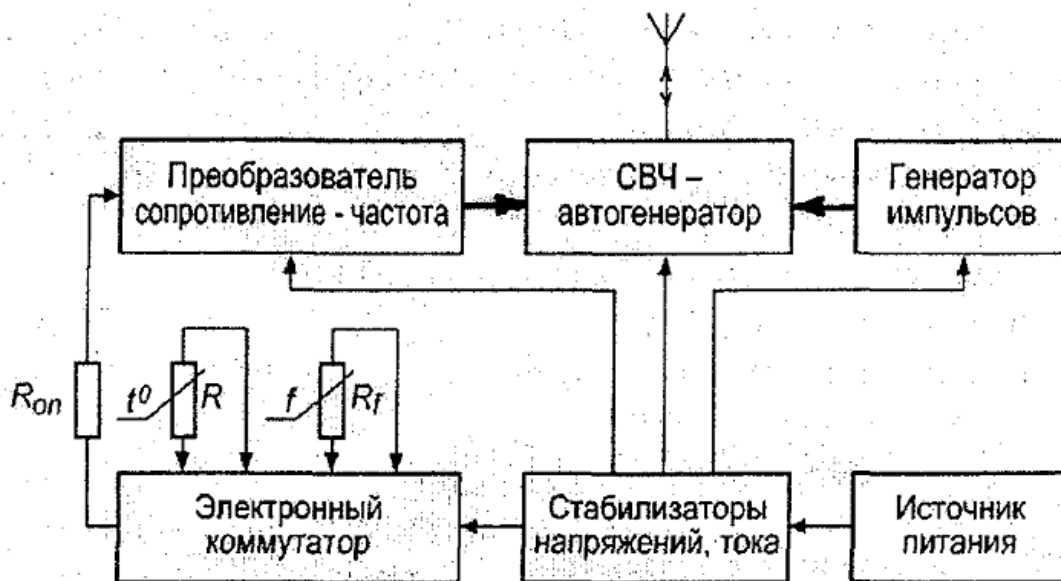


Рис.1. Функціональна блок-схема радіозонда типу МАРЗ

У якості первинного вимірювального перетворювача використовується терморезистор з антирадіаційним покриттям; для виміру відносної вологості служить перетворювач електромеханічного типу (тваринна плівка, прогин якої відповідає зміні електричного опору зв'язаного жорстко з нею реостата).

МАРЗ-2-2 являє собою Приймопередатчик з подвійною амплітудною модуляцією, що працює у сверхрегенеративнім режимі. Несуча частота 1782.5 мгц модулюється по амплітуді короткими імпульсами, що впливають із частотою 800 кгц (частота суперизації). Телеметрична інформація передається шляхом вторинної імпульсної модуляції. У випромінюванні електромагнітної енергії СВЧ- автогенератором радіозонда формуються перетворювачем опір-частота паузи тривалістю 240 мкс, частота проходження яких залежить від електричного опору первинних вимірювальних перетворювачів температури й відносної вологості, що, у свою чергу, визначається вихідним значенням відповідної метеорологічної величини. Частота проходження цих імпульсів може змінюватися від 50 до

1100 Гц. Для забезпечення необхідної точності вимірів (обліку дестабілізуючих факторів) використовується опорний опір, що забезпечує формування імпульсів в опорному каналі з номінальною частотою 1080 Гц. Передача вимірювальних сигналів температури, вологості й опорного здійснюється шляхом тимчасового поділу каналів за допомогою електронного комутатора. Цикл комутації містить у собі вимір величин опорного опору, опору датчика температури, опору датчика відносної вологості й знову опору датчика температури. Тривалість кожного вимірювального каналу становить 20-25 с.

Таким чином, при використанні радіозонда МАРЗ-2-2 про значення вимірюваних метеорологічних величин можна судити по обмірюваних частотах пауз у випромінюванні СВЧ- генератора радіозонда. Однак оскільки на формування цих частот у процесі польоту радіозонда впливають багато неконтрольованих факторів, що спотворюють (наприклад, зменшення напруги джерела харчування), те для зменшення погрішності виміру температури й відносної вологості звичайно їхнє визначення виконується по відношенню відповідним цим метеорологічним вимірам частот до опорної частоти радіозонда. При надходженні запитальних імпульсів від РЛС за рахунок зриву коливань генератора імпульсів формується особлива пауза (великої тривалості), що може визначатися як відповідний сигнал радіозонда.

Радіозонд типу МАРЗ-2-2 має наступні основні характеристики:

- діапазон виміру температури повітря — від 50 до -80°C ;
- діапазон виміру відносної вологості повітря при температурі від $+50$ до -40°C — від 15 до 98 %;
- діапазон обчислення тиску повітря - 1050 гпа;
- несуча частота радіозонда - 1782.5 мгц;
- частота генератора імпульсів - 800 кгц;

Діапазон зміни опорної частоти F_{op} у робочих умовах застосування:

1080 ± 40 Гц для радіозондів МАРЗ-2-2.

- частоти пауз вимірювальних каналів радіозонда: опорна F_{op} - 1080 Гц; сигналів температури F_t - 50 - $(F_{op}-25)$ Гц; сигналів відносної вологості F_u - 500 - $(F_{op}-25)$ Гц;
- тривалість паузи у випромінюванні генератора СВЧ - 240 мкс;
- вага спорядженого радіозонда - 430 г.

Черговість проходження частот телеметричного сигналу в одному циклі комутації: F_{op} , F_t , F_u , F_t .

Тривалість циклу передачі частот телеметричного сигналу кожного каналу дорівнює (25 ± 5) с.

Первинний телеметричний перетворювач.

Датчик температури. Як вимірювальні перетворювачі температури використовують напівпровідникові терморезистори. Напівпровідникові перетворювачі виготовляються з титану, міді, кобальту, нікелю, магнію і їхніх домішок. Як правило, напівпровідникові терморезистори виконуються у вигляді стрижнів (ММТ-1, -6) і бусинок (СТЗ-18, -25), циліндрів або пластинок.

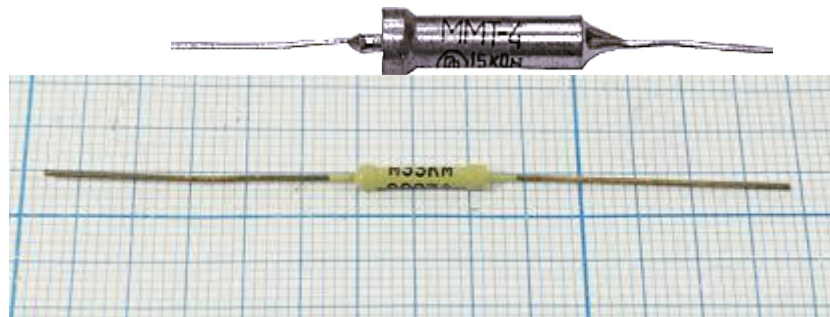


Рис.2. Терморезистори ММТ.

Напівпровідникові терморезистори в порівнянні з іншими перетворювачами мають ряд переваг, обумовлених їх високою температурною чутливістю, малими габаритами й масою, а також більшими значеннями опорів. У металевих терморезисторів температурний коефіцієнт опору позитивний (зі збільшенням температури опір зростає), у напівпровідникових терморезисторів температурний коефіцієнт опору негативний (зі збільшенням температури опір зменшується). Температурна залежність опору напівпровідникових терморезисторів задовільно апроксимується експонентною залежністю. Таким чином, статистична характеристика датчика-перетворювача температури представлена у вигляді

$$R_t = A \cdot \exp\left(\frac{B}{T+C}\right) = A \cdot \exp\left(\frac{B}{t^o+273.5+C}\right) \quad (1)$$

де T — вимірювана температура по шкалі Кельвіна, t^o — вимірювана температура по шкалі Цельсія, A , B й C — постійні коефіцієнти, що залежать від фізичних властивостей напівпровідникового матеріалу. Параметри A , B ,

C визначаються для конкретних датчиків температури в результаті градуїровки. До кожного радіозонда додаються градуїровочні дані - статичні характеристики перетворення (СХП).

Статистичні характеристики перетворювача (СХП) представляють залежність вихідного інформаційного параметра (опір R) від вхідного інформаційного параметра (температури T) при нормальних умовах. СХП датчиків температури радіозондів одержують шляхом емпіричної градуїровки датчиків на заводі за допомогою спеціального термостата. СХП датчиків температури радіозондів МРЗ, МАРЗ представляються в аналітичному виді. Діапазон зміни опору індивідуальних СХП датчика температури $R(+50^{\circ}\text{C}) \approx 3 \text{ кОм}$, $R(-80^{\circ}\text{C}) \approx 570 \text{ кОм}$.

Для розрахунку температури використовується зворотна функція, що використовується в обчислювачі телеметричного каналу РЛС:

$$T = \frac{B}{\ln\left(\frac{Rt}{A}\right)} - C \quad (2)$$

$$t^{\circ} = \frac{B}{\ln\left(\frac{Rt}{A}\right)} - C - 273.5 \quad (3)$$

Датчики вологості. При вимірі відносної вологості в атмосфері як деформаційний матеріал використовують тваринну плівку, вона має достатню чутливість і малу температурну залежність. В аерологічних приладах, призначених для дослідження вільної атмосфери методом радіозондів, використовуються деформаційні (плівкові) і резистивні перетворювачі.

Для виміру вологості в радіозонді використовується комбінований датчик, у якому вологість перетворюється в електричний сигнал шляхом дворазового перетворення (мал. 2). Елементом датчика, що здійснює перше перетворення вимірюваного параметра в механічне переміщення, є мембрана із тваринної плівки. Друге перетворення (механічне переміщення рухливого центра мембрани в електричну напругу) здійснюється за допомогою потенціометра. При постійній щільності намотування потенціометра всі вторинні перетворення мають майже лінійний характер. Подібні датчики відомі за назвою мембранно-реостатних.

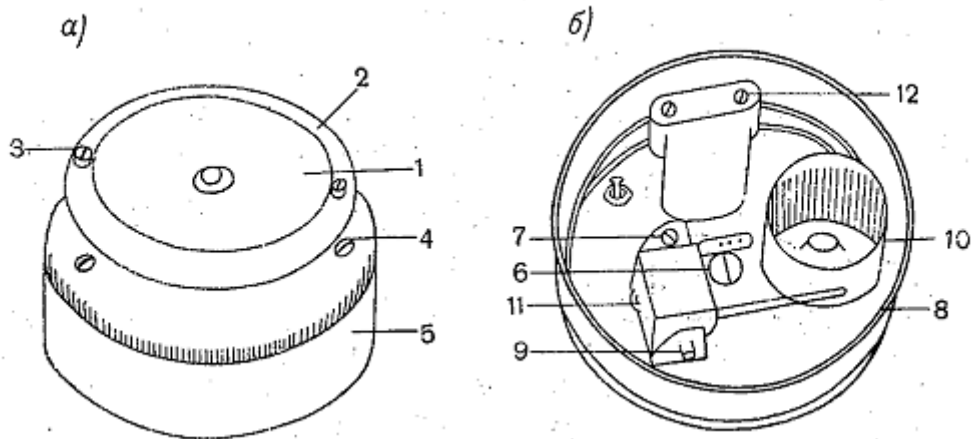


Рис. 3. Датчик вологості РКЗ-1А.

1 - плівкова мембрана, 2 - оправа мембрани, 3 й 4 - гвинти, 5 й 8 - корпус датчика, 6 - отвір у корпусі, 7 - кріпильний гвинт, 9- вісь потенціометра, 10 - потенціометр, 11 - скоба движка потенціометра, 12 - клемма.

Перетворювачі вологості на основі тваринної плівки, застосовувані в аерологічних приладах, виконуються у вигляді металевого кільця, на яке натягнута плівка. У центрі кола до плівки приклеюється металева шайба з отвором для закріплення натяжної пружини. Пружина, відтягаючи центр плівки, утримує її завжди в натягнутому стані незалежно від вологості навколишнього повітря. Оптимальний натяг становить 2-3 м на 1 мм ширини плівки. При зміні вологості повітря з'являється збільшення розмірів плівки, що вибирається натяжною пружиною, у результаті чого плівка здобуває конусоподібну форму. Подовження плівки не залежить від температури й досягає 48-50 % при зміні вологості від 0 до 100 %. З рухливим центром плівкового кола (крапкою закріплення натяжної пружини) зв'язаний рухливий контакт потенціометра.

Визначення вологості проводиться з використанням рівняння апроксимації

$$U = K + N \cdot R_u + M \cdot R_u^2$$

вирішуючи рівняння апроксимації щодо опору датчика вологості, одержуємо:

$$R_u = \left(-N - \sqrt{N^2 - 4M(K - U)} \right) \cdot \frac{1000}{2 \cdot M} \quad (4)$$

Статистичні характеристики перетворювача вологості представляють залежність вихідного інформаційного параметра (опір R_u) від вхідного

інформаційного параметра (вологості U) при нормальних умовах. K, N, M — коефіцієнти апроксимації, Ru - величина опору датчика вологості, $Ru > 2$ кОм при вологості 100 %, $Ru < 15$ кОм при вологості 10%.

Випадкова середня квадратична погрішність у діапазоні температур від +20 °С до -20 °С мало залежить від температури й становить 4 %. При температурі - 50° С вона збільшується до 11 % й у середньому становить 6 %.

Для розрахунку значення вологості в обчислювачі РЛС системи зондування використовується зворотна функція

$$U = K + N \cdot Ru \cdot 10^{-3} + M \cdot Ru^2 \cdot 10^{-6}. \quad (5)$$

До кожного радіозонда додаються градуіровочні дані - статичні характеристики перетворення (СХП), які дозволяють перевести значення відносин частот у температуру й вологість.

Вторинний телеметричний перетворювач

Інформація про значення температури й відносної вологості атмосфери втримується в параметрах телеметричного сигналу, що представляє собою послідовність імпульсів, що впливають із частотою:

частота сигналів температури **Ft**..... (50 - (Fоп - 25)) Гц;

частота сигналів відносної вологості **Fu**(500 - Fоп - 25)) Гц;

опорна частота **Fоп**(1080±40) Гц.

У процесі польоту радіозонда на частоту послідовність імпульсів можуть впливати багато неконтрольованих факторів, що спотворюють, наприклад, зменшення ЕДС джерела харчування, зміна параметрів радіоелементів схемотехніки радіозонда при зміні температури й вологості вільної атмосфери. Тому для зменшення погрішності виміру, визначення температури й відносної вологості виробляється не за значенням частоти **Ft** й **Fu**, телеметричного сигналу, а по відношенню цих частот до опорної частоти Fоп. Відношення як параметр $Yt = Ft/Fоп$, де **Fоп** - опорна частота й **Ft** - частота перетворювача температура-частота, **t** - температури в Цельсія. Введення значення **Y** для визначення температури й відносної вологості в обчислювачі телеметричного каналу РЛС дозволяє уникнути неконтрольованих факторів, що спотворюють, зміни частоти послідовності імпульсів телеметричного сигналу. Тому що зміна частоти **Ft**, **Fu** й **Fоп** буде пропорційно, а відношення **Y** не змінюється.

Для того щоб використати вираження (3,4) для обчислення значення температури й відносної вологості розглянь схемотехнічну реалізація вторинного телеметричного перетворення, де приведемо взаємозв'язок

значення опору терморезистора із частотою імпульсної послідовності сигналу телеметрії й значення відносини Y .

Структурна схема радіозонда наведена на рис.1. Датчики температури й вологості здійснюють первинне перетворення інформації про температуру й вологість повітря в електричний опір. Електронний комутатор призначений для почергового підключення до первинного вимірювального перетворювача (ПІП) датчиків температури, вологості й опорного опору. **Вторинний телеметричний перетворювач** здійснює перетворення резистивних датчиків (R_t , $R_u, R_{оп}$) радіозонда в період повторення послідовність імпульсів у значенні яких закодована інформація про метеопараметрах атмосфери. Прикладом реалізації вторинного телеметричного перетворювача, на основі описаної «базової» структурної схеми, представлений на рис. 4.

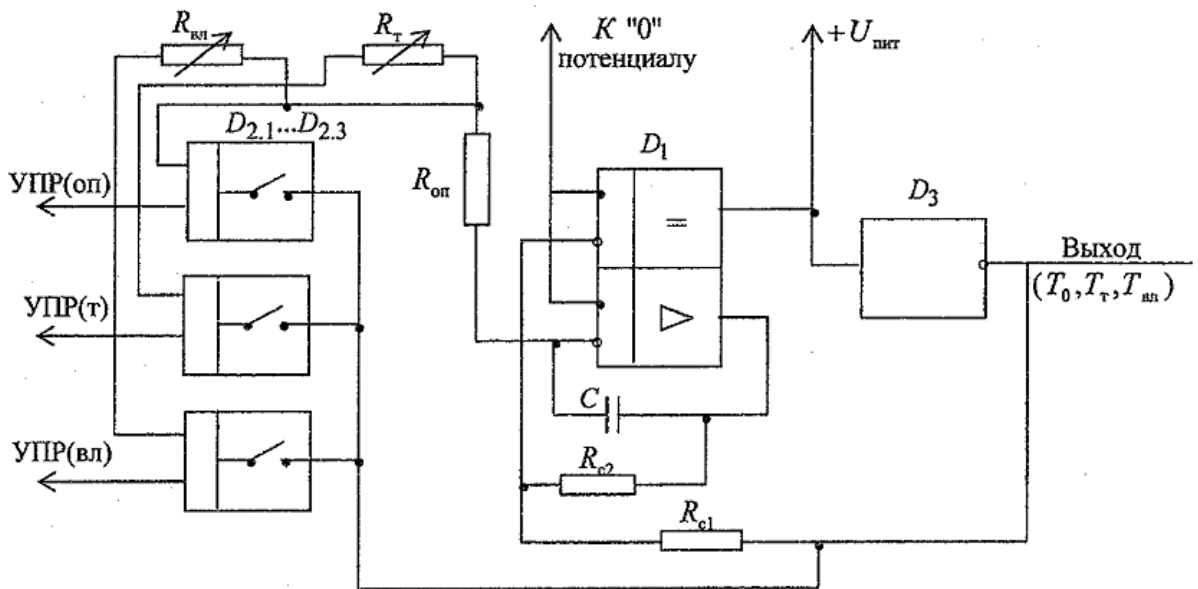


Рис. 4. Структурна схема вторинного телеметричного перетворювача радіозонда.

При замиканні ключа Кл(оп) періоди повторення імпульсів «опорного» сигналу на виході ВТП рівні

$$T_{оп} = 2(K_{c2}/K_{c1}) \cdot C \cdot R_{оп} \quad (6)$$

При замиканні ключа Кл(т) або Кл(вл) у ланцюг інтегратора включається послідовно з'єднані два опори, датчик R_t або R_u й опорний опір $R_{оп}$. На виході ВТП формується сигнал телеметрії з періодом повторення імпульсів:

$$T_t = 2(K_{c2}/K_{c1}) \cdot C \cdot (R_{оп} + R_t), \quad (7)$$

$$T_u = 2(K_{c2}/K_{c1}) \cdot C \cdot (R_{оп} + R_u), \quad (8)$$

де $K_{c1} = R_{c2}/(R_{c1} + R_{c2})$, $K_{c2} = R_{c1}/(R_{c1} + R_{c2})$ - коефіцієнти передачі резистивного суматора.

Вихідним інформаційним параметром ВТП при утворенні опору первинного датчика R_t або R_u є співвідношення:

$$Y_t = T_{оп}/T_t = R_{оп}/(R_{оп} + R_t), \quad (9)$$

$$Y_u = T_{оп}/T_u = R_{оп}/(R_{оп} + R_u), \quad (10)$$

які використовується для обробки телеметричного сигналу радіозонда, в обчислювачі РЛС, для одержання метеорологічної інформації атмосфери - температури й відносної вологості. Знаходимо опору первинного датчика R_t або R_u

$$R_u = \frac{R_{оп}}{T_u} - R_{оп} \quad R_t = \frac{R_{оп}}{T_t} - R_{оп}$$

і підставляючи ці значення у вираження (3, 4).

Вихідні первинні метеопараметри обчислюються відповідно до вираження:

$$^{\circ}\text{C} = \frac{B}{\ln\left[\left(\frac{R_{оп}}{Y_t} - R_{оп}\right) \cdot \frac{1}{A}\right]} - C - 273.5, \quad (11)$$

$$U = K + N \cdot \left(\frac{R_{оп}}{Y_t} - R_{оп}\right) \cdot 10^{-3} + M \cdot \left(\frac{R_{оп}}{Y_t} - R_{оп}\right)^2 \cdot 10^{-6}, \quad (12)$$

де $^{\circ}\text{C}$ - температура в Цельсії.

При обчисленні вихідних первинних метеопараметрів використовується відношення частот імпульсного сигналу телеметрії Y_t і Y_u на, що не впливає абсолютна зміна частоти імпульсних сигналів, тому що неконтрольовані фактори, що спотворюють, що впливають на C, K_{c2}, K_{c1} пропорційно змінюють $T_{оп}$ і T_u, T_t , а параметр Y залежить тільки від резисторів $R_{оп}, R_t, R_u$.

Узагальнена статична характеристика перетворення радіозонда представляють залежність вихідного інформаційного параметра (частоти імпульсних сигналів телеметрії F_t й F_u) від вхідного інформаційного параметра (температури T і вологості U) при нормальних умовах і визначається

$$F_t = \frac{F_{оп} \cdot R_{оп}}{(R_{оп} + R_t)}, \quad (13)$$

$$F_u = \frac{F_{оп} \cdot R_{оп}}{(R_{оп} + R_u)}. \quad (14)$$

Підставляючи в дані вираження значення перетворювача резистивних датчиків (R_t, R_u) одержуємо узагальнені статичні характеристики перетворення радіозонда.

Моделювання й аналіз статичних характеристик перетворювача метеорологічних величин радіозонда в середовищі МАТЛАБ.

===== Лістинг Matlab =====

```
%Статичною характеристикою вимірювального пристрою
називають функціональну залежність вихідного сигналу від
вхідного в статичному режимі роботи зазначеного пристрою.

%Статична характеристика описується в загальному
випадку деяким нелінійним рівнянням перетворення  $Y = f(X)$ 
.

close all; %Видалення графічних вікон й очищення робочої
області
clear, %clc,
%pack

%===СТАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ТЕМПЕРАТУРА-
ЧАСТОТА=====

%Перетворювач температура - опору на основі датчика
температури ММТ-1, терморезистор

% Статичні характеристики перетворювача (СХП)
представляють залежність вихідного інформаційного параметра
(опір R) від вхідного інформаційного параметра (темпера-
опір).

%Вихідні коефіцієнти апроксимації характеристики
терморезистора
A=0.07766; B=4629.3; C=97.46;

% Залежність опору від температури для терморезистора
ММТ-1 визначається співвідношенням, функції апроксимуючу
температурну залежність опору терморезисторів

%  $R_t = A \cdot \exp(B / (t + 273 + C))$ ; вираження (1)
t=-90:50; % задаємо масив значень зміни температури по
шкалі Цельсія, °C

% t+273.5 - вимірювана температура по шкалі Кельвін
Rt=A*exp(B./(t+273.5+C));

%Установлюємо тип і розмір шрифту, що підтримує кирилицю
на написах графіка set(gca,'FontName','Arial
Cyr','FontSize',10)

figure, plot(t,Rt), grid on,set(gca,'FontName','Arial
Cyr','FontSize',10) , title('Статична характеристика
терморезистора') ,
```

```
xlabel('t, температура °C') ,ylabel('R, Опір Ом '),
```

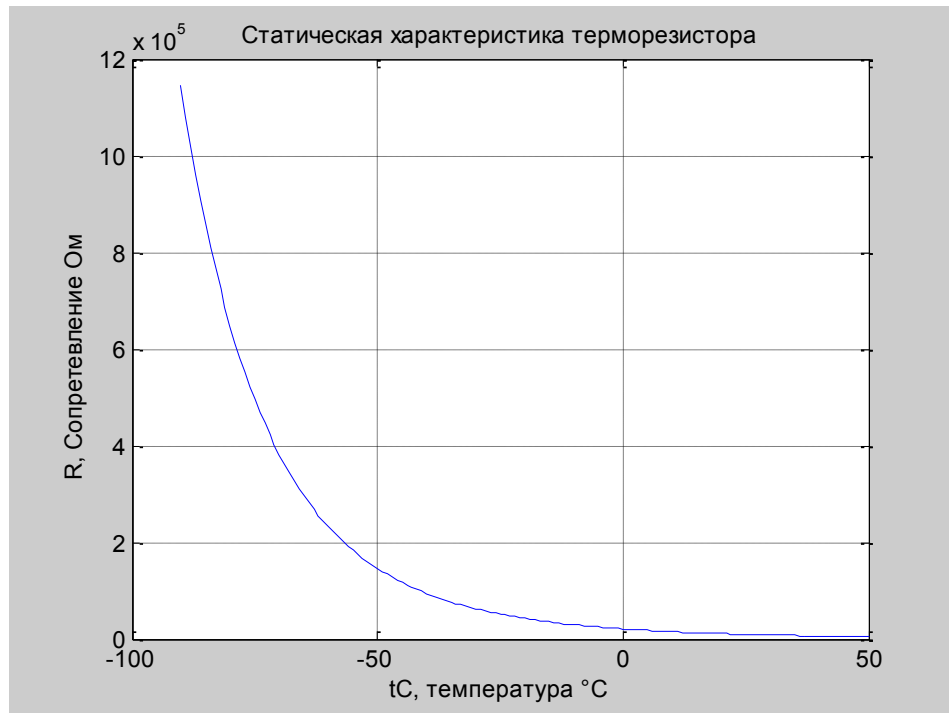


Рис.5. Статична характеристика терморезистора радіозонда ММТ-1.

`%графік` із двома осями `y`, друга вісь опору для температури від `-50` до `+50` °C.

```
figure,
```

```
AX=plotyy(t,Rt/1000,t(40:end),Rt(40:end)/1000,'plot'); grid  
on, set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
```

```
xlabel('t, температура °C') ,title('Статична  
характеристика терморезистора') ,
```

```
set(get(AX(1),'Ylabel'),'String','R,Опір  
кому','FontName','Arial Cyr','FontSize',10), set(AX(1),  
'YTick', [0 500 1000 1500 2000]), %Координати розмітки осі  
Y(1),
```

```
set(get(AX(2),'Ylabel'),'String','R, Опір  
кому','FontName','Arial Cyr','FontSize',10),  
set(AX(2),'YTick', [0 50 100 150 200]), %Координати  
розмітки осі Y(2),
```

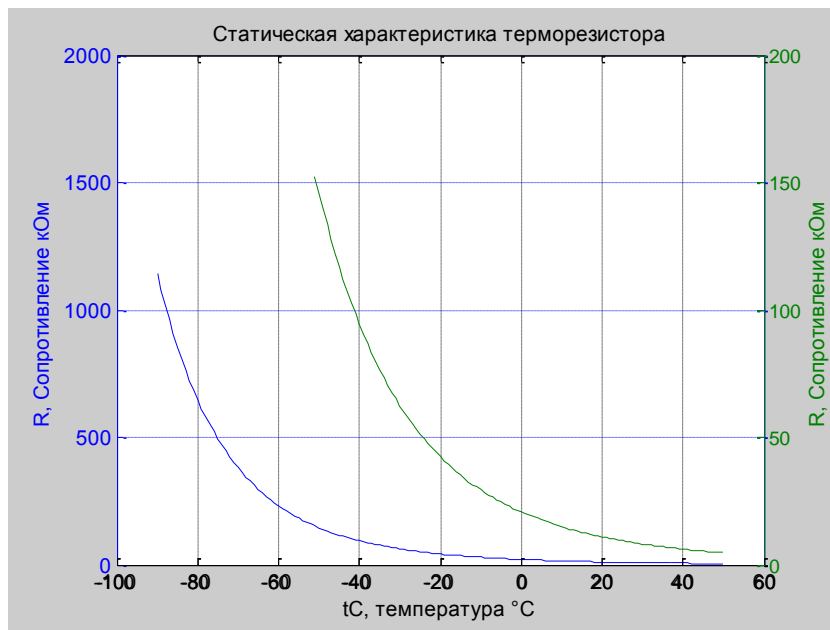


Рис.6. Статична характеристика терморезистора радіозонда ММТ-1 із двома осями.

% Перетворювач опір-частота побудована на основі RC-генератора, де частота визначається $F = k/C \cdot R$, k- коефіцієнт, що визначається схемотехнічними параметрами генератора й перебуває в діапазоні від 0.2 до 0.3, для генератора на логічних елементах TTL.

%У процесі польоту радіозонда на частоту F можуть впливати багато неконтрольованих факторів, що спотворюють, наприклад, зменшення ЕДС джерела харчування й зміна температури й вологості. Тому для зменшення погрішності, визначення температури й відносної вологості виробляється не за значенням частоти F(t) або F(u), при підключенні до вторинного перетворювача відповідних опорів, по відношенню цих частот до опорної частоти Fоп.

% Відношення як параметр $Y = F(t)/F_{оп}$, де Fоп - опорна частота й F(t) - частота перетворювача температура-частота, t - температури в Цельсія.

%Відповідно до пропорції $F(t)/F_{оп} = R_{оп}/(R(t)+R_{оп})$ визначаємо залежність частоти телеметрії каналу температури від зміни температури.

% Частота сигналу телеметрії радіозонда каналу температури визначається $F(t) = F_{оп} \cdot R_{оп}/(R_{оп}+R(t))$

% Перетворення напруги первинних датчиків температури й вологості в частоту (періоди) проходжень імпульсів для вторинного телеметричного перетворювача (ВТП) має вигляд: $F_t = F_{оп} \cdot R_{оп}/(R_{оп}+R_t)$, вираження (13).

% Для радіозонда МАРЗ-2 на підставі технічних характеристик уводимо значення:

```
Fop=1080; % Опорна частота, Гц
Rop=30480; % опорний опір, Ом
Ft=Fop*Rop./(Rop+Rt); % Частота сигналу телеметрії
радіозонда каналу температури
figure, plot(t,Ft), grid on, title('Статистична
характеристика перетворювача температура-частота') ,
xlabel('t, температура °C') , ylabel('Ft, Частота Гц '),
```

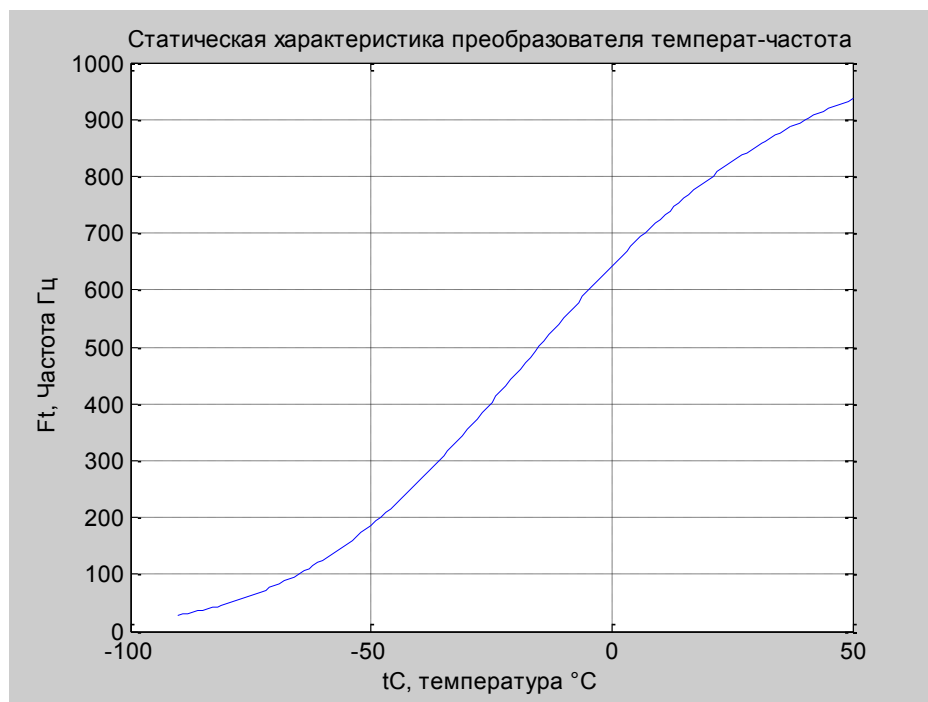


Рис.7. Результуюча статична характеристика первинного й вторинного телеметричного перетворювача радіозонда каналу температури.

```
%= ОБРОБКА СИГНАЛУ ТЕЛЕМЕТРІЇ РАДІОЗОНД - РЛС ===
% Вихідним інформаційним параметром ВТП при зміні опору
первинного датчика Rt або Ru є співвідношення:
%  $Y_t = F_t / F_{op} = R_{op} / (R_{op} + R_t)$ ;  $Y_u = F_u / F_{op} = R_{op} / (R_{op} + R_u)$ ;
% для одержання значення температури вільної атмосфери на
заданій висоті використовують проміжну функцію Y , як
відношення частоти каналу температури й опорної частоти  $Y_t = F(t) / F_{op}$  , для кожного значення висоти.
Yt=Ft/Fop;
Yt1=Rop./(Rop+Rt);
figure, plot(t,Yt), grid on, set(gca, 'FontName', 'Arial
Cyr', 'FontSize', 10),
title('Статична характеристика перетворювача температура -
Yt') ,
```

```
xlabel('t, температура °C') ,ylabel('Yt, Відношення Ft/Fop
'),
```

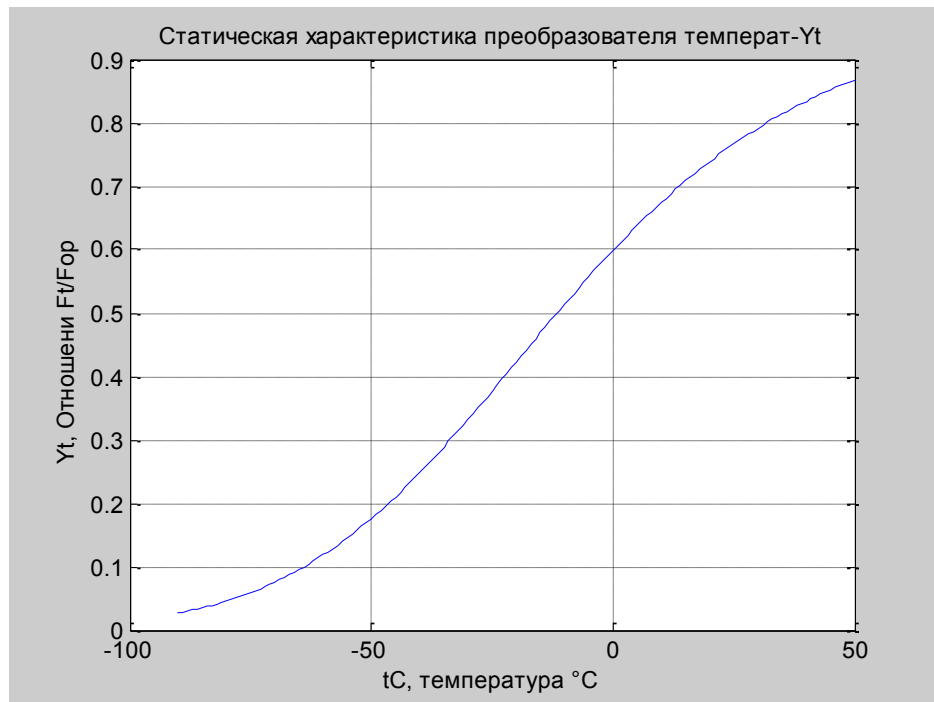


Рис.8. Результуюча статична характеристика первинного й вторинного телеметричного перетворювача радіозонда. Відношення як параметр $Y_t = F_t / F_{op}$.

```
% Наскрізна характеристика каналу температури тракту
"Радіозонд МАРЗ - РЛС"
Tin=(B./log(((Rop./Yt)-Rop)/A))-C-273.5;
figure, plot(t,Tin), grid on,set(gca,'FontName','Arial
Cyr','FontSize',10),
title('Наскрізна характеристика каналу температури МАРЗ-
РЛС') ,
xlabel('t, температура °C') ,ylabel('Tin, температура °C,
вих РЛС '),
```

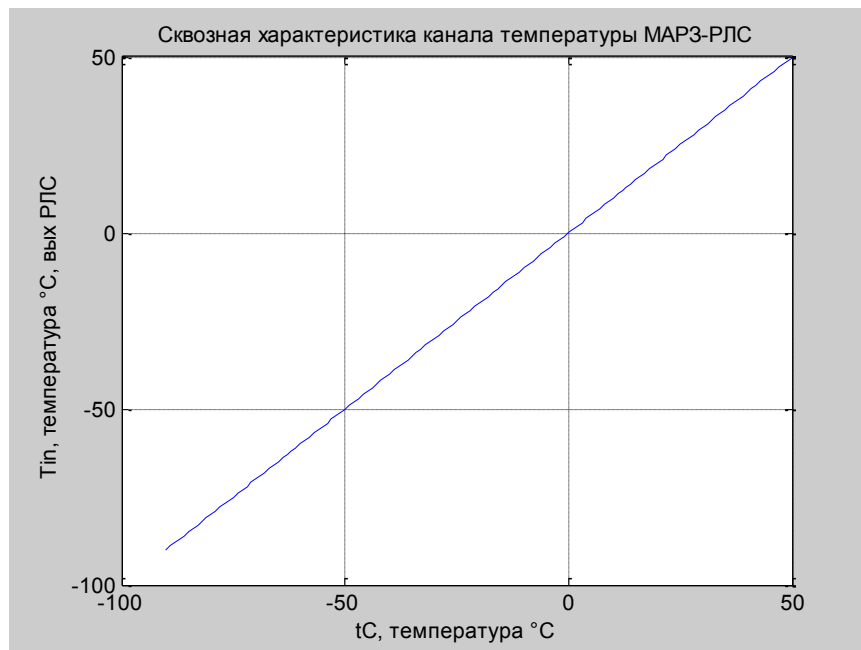


Рис.9. Наскрізна характеристика каналу телеметрії температури МАРЗ - РЛС.

```

%максимальна помилка оцінки температури каналу радіозонд -
РЛС
Em=max(abs(tC-Tin));
disp(['максимальна помилка оцінки температури каналу
радіозонд - РЛС = ' mat2str(Em) ' °C ' ] );
максимальна помилка оцінки температури каналу радіозонд -
РЛС = 5.68e-14 °C
% Індекс значення температури +50 й -80 градусів °C
ft_50=find(t==50); %Визначення індексів при яких значення
температури = +50 градусів °C
ft_80=find(t==-80); %Визначення індексів при яких значення
температури = -80 градусів °C
Розраховані значення частоти сигналу телеметрії каналу
температури +50°C = 937Гц температури -80°C = 50Гц

%===СТАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВІДНОСНА
ВОЛОГІСТЬ - ЧАСТОТА=====

%Перетворювач вологості - опору на основі датчика
вологості.
% Датчика вологості на основі мембрани із тваринної
плівки й реостата переміщення мембрани.
%Вихідні коефіцієнти апроксимації характеристики датчика
вологості.
K=109.7; N=-4.3; M=-0.22;

% Залежність опору від температури для датчика вологості
визначається співвідношенням

```

```

u=0:100; % задаємо масив значень зміни відносної
вологості у відсотках
Ru=(-N-sqrt(N^2-4*M*(K-u)))*1000./(2*M); %Опір датчика
вологості

figure, plot(u,Ru), grid on,set(gca,'FontName','Arial
Cyr','FontSize',10),
title('Статистична характеристика датчика вологості') ,
xlabel('u, вологість %') ,ylabel('Ru, Опір Ом '),

```

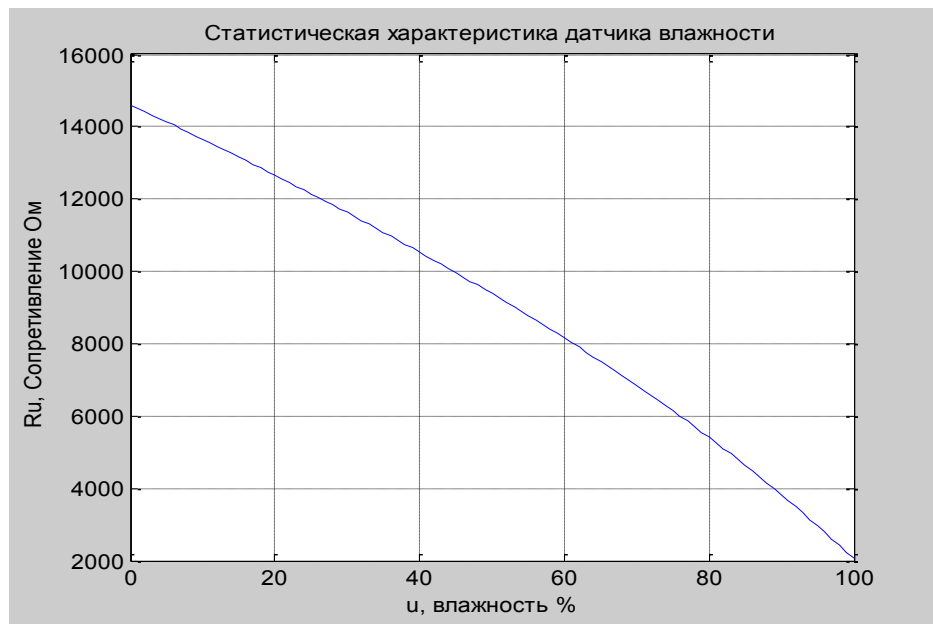


Рис.10. Статична характеристика мембранно-реостатного датчика вологості радіозонда.

```

Fu=Fop*Rop./(Rop+Ru); % Частота сигналу телеметрії
радіозонда каналу вологості
figure, plot(u,Fu), grid on, set(gca,'FontName','Arial
Cyr','FontSize',10),
title('Статистична характеристика перетворювача вологість-
частота') ,
xlabel('u, вологість %') ,ylabel('Ft, Частота Гц '),

```

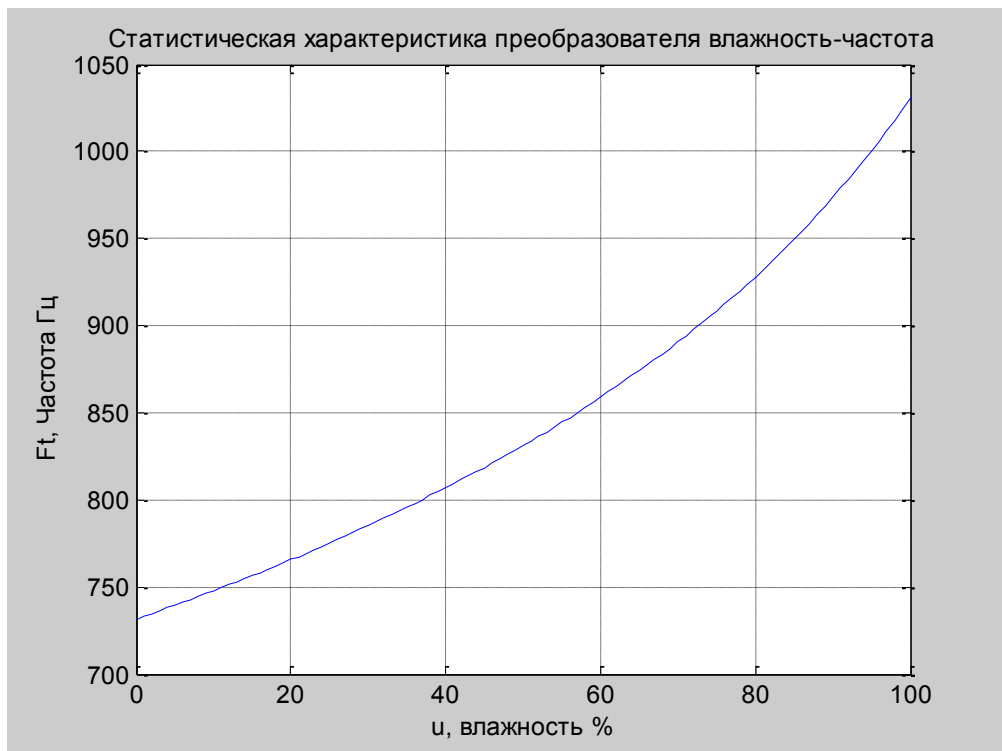



Рис.11. Результуюча статична характеристика первинного й вторинного телеметричного перетворювача радіозонда каналу вологості.

```

% Для одержання значення вологості вільної
атмосфери на заданій висоті використовують проміжну
функцію Y , як відношення частоти каналу вологості й
опорної частоти  $Y_u = F(u)/F_{op}$  , для кожного значення
висоти.
Yu=Fu/Fop;
figure, plot(u,Yu), grid on,set(gca,'FontName','Arial
Cyr','FontSize',10),
title('Статична характеристика перетворювача вологості
-Yu') ,
xlabel('u, вологість %') ,ylabel('Yu, Відношення
Fu/Fop '),

```

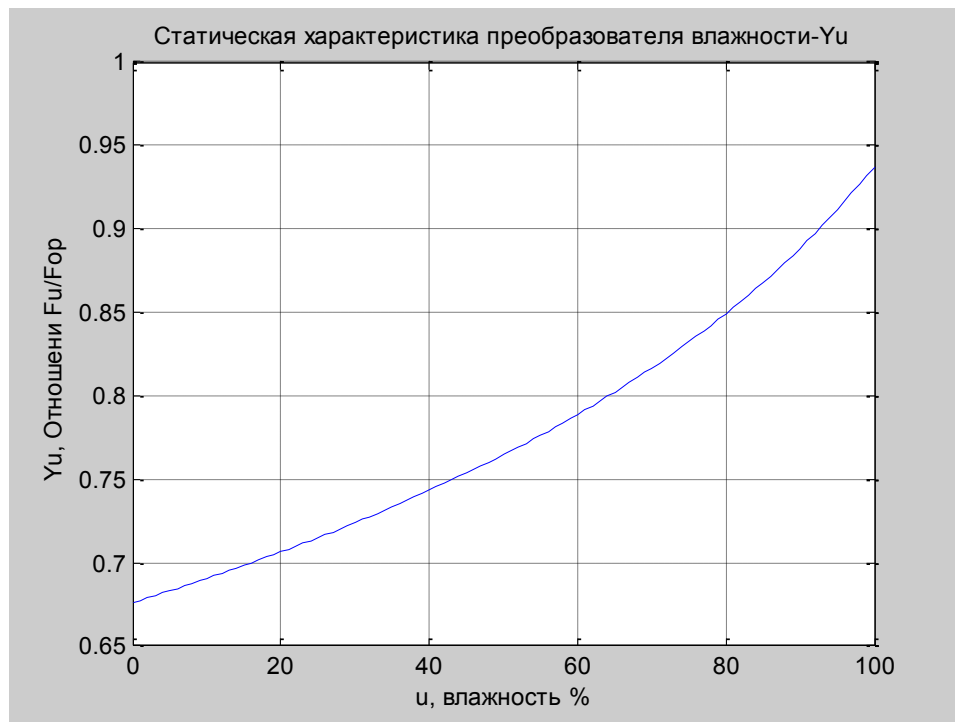


Рис.12. Результирующая статична характеристика первинного й вторинного телеметричного перетворювача радіозонда. Відношення як функція $Y_u = F_u / F_{op}$.

```
% Индекс значення вологості 5% й 98% відсотки
fu_5=find(u==5); %Визначення індексів при яких значення
вологості = 5% відсотки
fu_98=find(u==98); %Визначення індексів при яких
значення вологості = 98% відсотки
Розраховані значення частоти сигналу телеметрії каналу
вологості 5% = 738Гц      вологості 98% = 1001Гц
```

Питання для самоконтролю

1. Основний спосіб дослідження атмосфери.
2. Основні вимірювані параметри атмосфери.
3. Радіозондовий спосіб зондування атмосфери й отримана при цьому інформація.
4. Призначення системи радіозондування атмосфери.
5. Принцип роботи й характеристики системи радіозондування „метеорит-2”.
6. Будова й принцип роботи радіозонда.
7. Поясніть принцип модуляції телеметричного сигналу передавача радіозонду
8. Наведіть структурну схему радіозонду

9. Поясніть будову статичної характеристики метеорологічних перетворювачей радіозонду.

Опис приладів, устаткування та інструментів, які використовуються при виконанні лабораторної роботи:

1. Персональний комп'ютер.
2. Радіозонд МАРЗ
3. Програмне забезпечення Matlab.

Забороняється:

1. Проводити вимірювання струмів і напруг лабораторної установки з несправними приладами.
2. Використовувати для вимірювань нестандартні прилади.
3. Працювати з увімкненими приладами без діелектричних ковриків.
4. Проводити вимірювання в лабораторній установці без діючої системи захисту, яка забезпечує безпеку шляхом автоматичного вимкнення ланцюгів електроживлення.

Порядок проведення лабораторної роботи

1. Перед виконанням практичної роботи проводиться усне опитування теоретичного матеріалу та визначення мети лабораторної роботи.
2. Викладачем проводиться інструктаж з техніки безпеки. Після чого студент розписується в журналі з „Техніки безпеки ”.
3. Якщо студент одержавши незадовільну оцінку з теоретичного матеріалу, то до виконання лабораторної роботи він не допускається.
4. Кожен студент виконує практичну роботу індивідуально.

Методика виконання практичної роботи.

Сходні дані.

Коефіцієнти апроксимації характеристик терморезистора й датчика вологості

варіант	терморезистор			Датчик вологості		
	А	В	С	К	Н	М
1	0.0083	6273	153.03	116,1	-5,8	-0,2
2	0.0772	4526.7	90.528	106,7	- 4,3	-0,21
3	0.04283	4923.9	105.75	125,1	-10,5	0,2

1. По даним варіанта коефіцієнта апроксимації розрахувати й побудувати графік статичної характеристики первинного перетворювача - терморезистора, перетворювача - датчика вологості.
2. Розрахувати й побудувати графік статичної характеристики телеметричного каналу радіозонда.
3. Розрахувати й побудувати графік статичної характеристики наскрізного телеметричного каналу радіозонд - РЛС.

Порядок оформлення звіту та його представлення й захист.

Результати проведеної практичної роботи оформлюються протоколом.

Він повинний містити такі дані:

- 1) тема практичної роботи;
- 2) позначка практичної роботи;
- 3) короткі теоретичні відомості;
- 4) розрахунок та візуалізація результатів досліджень;
- 5) висновки.

Лабораторна робота №2

« Розрахунок та дослідження результату температурного та відносної вологості телеметричних даних радіозонда »

Мета роботи – Розроблена модель у середовищі Matlab для розрахунку та аналізу результатів радіометеорологічних спостережень і їх візуального відображення, за даними отриманими в Гідрометцентрі ГМЧАМ

Завдання на підготовку до практичної роботи. Під час виконання практичної роботи студент повинен

знати:

- Статичні характеристики метеорологічних перетворювачей радіозонду ;
- Радіолокаційне зондування навколишнього середовища;
- Розрахунок метеорологічних параметрів при аерологічному зондуванню;
- Принципи радіозондування та формування метеорологічних параметрів;
- Візуалізацію результатів дослідження у програмному пакеті MATLAB.

вміти:

- По східним даним радіозонду обчислювати, досліджувати характеристики метеорологічних параметрів температури та відносної вологості та візуалізувати результати дослідження.

Теоретичні відомості.

1. Метод зондування атмосфери.

Для встановлення об'єктивних закономірностей, що відбуваються у вільній атмосфері, необхідно її дослідження. Предметом вивчення *аерології* є методи одержання інформації про стан вільної атмосфери. Під вільною атмосферою розуміється та частина атмосфери, що розташовується вище прикордонного шару (шаруючи тертя), тобто шару атмосфери, на який не поширюється безпосередній вплив поверхні землі.

Основним методом аерологічних досліджень є зондування, тобто вимір різних метеорологічних величин за допомогою приладів, що піднімають в атмосферу. Це виміру швидкості й напрямку вітру, тиску, температури, вологості й інших фізичних величин, а також газового й аерозольного складу повітря. Виміру вітру називають *вітровим зондуванням*, а виміру вітру

одночасно з температурою й вологістю — *температурно-вітровим зондуванням*. Вимір за допомогою радіозондів називають *радіозондуванням*.

Радіозонд — автоматичний фізичний прилад, що вимірює параметри стану повітря в міру підйому у вільній атмосфері й результати вимірів передає по радіо на землю. Метеорологічні величини (температура повітря, тиск, вологість) при радіозондуванні вимірюються за допомогою чутливих елементів або датчиків, а швидкість і напрямок вітру на різних висотах визначаються по координатах радіозонда, які одержують, спостерігаючи за ним в оптичний теодоліт або супроводжуючи його за допомогою радіотеодоліта або радіолокатора.

Вимоги, що пред'являються до аерологічної інформації. Сукупність відомостей про стан атмосфери й поверхні, що підстилає, що задає за допомогою значень окремих метеорологічних величин, *називається метеорологічною інформацією*. По своєму виді метеорологічна інформація підрозділяється на *первинну*, тобто безпосередньо одержувану в результаті метеорологічних спостережень, і *вторинну*, вступник на основі обробки первинної метеорологічної інформації й, що представляє у формі зведень, синоптичних карт і графічних діаграм метеорологічних величин. Від об'єму, якості й своєчасності надходження первинної метеорологічної інформації в значній мірі залежить ефективність її використання споживачами, зокрема, і успішність прогнозу атмосферних процесів. Прогнозування погоди неможливо без інформації про поточні й попередні стани атмосфери, тому, чим більше завчасності прогнозу, тим більше повна й з більшого простору повинна надходити інформація.

Сукупність вимог до первинної метеорологічної інформації залежить від цілей і задач по її використанню. Найважливішою характеристикою первинної метеорологічної інформації є точність її виміру. Вимоги до *точності* диктують вимоги до вимірювальних систем, використовуваним для проведення метеорологічних вимірів. Велике значення мають також вимоги до *дозволу* в просторі й часі (періодичності) вступник інформації. Підставою для формування конкретних вимог є оцінка втрат і переваг, пов'язаних з використанням інформації, що має різний ступінь дозволу й точності. У задачах прогнозу погоди ці вимоги обумовлені також конкретною реалізацією чисельних моделей циркуляції атмосфери. Основним споживачем первинної метеорологічної інформації є служба погоди.

2. Вимір метеорологічних величин системами зондування атмосфери

2.1 Особливості вимірів метеорологічних величин у вільній атмосфері.

Аерологічні виміри ставляться до класу метеорологічних й їх ціль — вимір метеорологічних величин вільної атмосфери. Особливістю аерологічних вимірів є те, що вони проводяться не в одній крапці, як це

робиться при наземних метеорологічних вимірах, а при русі вимірювального приладу по вертикалі й горизонталі.

Діапазон зміни значень різних фізичних величин по вертикалі у вільній атмосфері набагато більше, ніж у земної поверхні. Так, добові коливання температури повітря в поверхні землі в помірних широтах більшу частину року в середньому не перевищують 5–10°C (у пустелі вони досягають 30°C), тоді як при підйомі зонда від поверхні землі до стратосфери температура може змінитися на 90–100°C (наприклад, від +30°C у землі до –70°C у стратосфері). Відносна вологість повітря також може змінюватися від 100 до декількох відсотків. Тиск повітря змінюється в 20 разів і більше. Підмети виміру метеорологічні параметри вільної атмосфери мають велику тимчасову й просторову мінливість, що приводить до необхідності мати у вимірювальних приладах значний динамічний діапазон. Ці умови визначають одне з основних вимог до аерологічних приладів - їх малу інерційність, тобто вимога, щоб чутливі елементи (датчики) приладів миттєво реагували на швидкі зміни значень метеорологічних величин.

Аерологічні прилади реєструють зміни певних фізичних характеристик чутливих елементів, наприклад, деформацію механічних датчиків, опір електричних чутливих елементів, які відбуваються під час підйому приладу. Більшість аерологічних приладів призначено для проведення дистанційних вимірів. При таких вимірах прилад перебуває в крапці, вилученої від місця його випуску, і результати вимірів повинні доставлятися на пункт збору або передаватися по радіоканалі.

У процесі аерологічних вимірів вимірювальні прилади працюють в умовах швидко мінливих температур, що приводить до помилок вимірів, обумовлених впливом температури навколишнього середовища на параметри приладів й їхніх окремих вузлів. Зокрема, зміну температури атмосфери, що має місце при підйомі вимірювальних приладів на кулях-зондах, аеростатах і літаках, істотно впливає на результати виміру тиску за допомогою мембранних коробок, тому що при зміні температури навколишнього середовища змінюється модуль пружності матеріалу коробки й ув'язненого в ній газу. При проведенні вимірів на більших висотах на первинні вимірювальні перетворювачі впливає пряма сонячна радіація, наслідком чого є поява радіаційних погрешностей. Істотний вплив сонячна радіація робить на первинні вимірювальні перетворювачі температури. Боротьбі з радіаційним перегрівом первинних вимірювальних перетворювачів аерологічних приладів приділяється велика увага (для цього застосовуються цілі комплекси технічних мір).

Для доставки вимірювальних приладів у крапки вимірів застосовуються спеціальні засоби: кулі-зонди, аеростати. Основні

метеорологічні елементи вільної атмосфери (температура, вологість, тиск) звичайно змінюються в часі й по горизонталі набагато повільніше, ніж по висоті. Тому результати вимірів, отримані в процесі проведення вимірів для різних висот, відносять до тому самому моменту часу (як правило, початку підйому) і до однієї вертикалі, що проходить над пунктом вимірів.

2.2 Вимірювальні перетворювачі температури в системах радіозондування.

Особливістю температурних вимірів у вільній атмосфері є наявність ряду факторів, що спотворюють результати вимірів. До них ставляться: просторова й тимчасова мінливість температури атмосфери; широкий діапазон зміни щільності повітря від рівня моря до верхньої атмосфери; потужні потоки променистої енергії; присутність конденсованої води у вигляді крапель хмар і дощу. Крім зазначених факторів, обумовлених фізичними властивостями атмосфери, істотне вплив на результати вимірів роблять характер руху носія вимірювального приладу, від якого залежить тимчасова мінливість вимірюваної температури відносно термочутливого тіла перетворювача, і характер його обтікання повітряним потоком, що набігає.

Процес виміру температури в сучасних аерологічних системах зондування полягає в перетворенні інформації про значення вимірюваної температури як неелектричної величини у форму, зручну для подальших перетворень. Досвід створення аерологічних вимірювальних приладів й їхньої експлуатації показав, що найбільш зручними з погляду побудови сучасних аерологічних приладів є перетворювачі температури, у яких результати перетворення вимірюваної температури у вихідний параметр виражаються у вигляді зміни електричної величини.

У сучасних аерологічних системах зондування атмосфери найбільше поширення одержали резистори (металеві, напівпровідникові), перетворювачі.

Термометри опору (резистори термодатчики). Принцип дії заснований на використанні залежності електричного опору від температури. Залежно від матеріалу резистора розрізняють металеві, напівпровідникові, електролітичні перетворювачі. Металеві перетворювачі використовуються в літакових, аеростатних, ракетних вимірювальних апаратурах, напівпровідникові й електролітичні - у радіозондах.

Напівпровідникові термометри опору. Як вимірювальні перетворювачі температури використовують напівпровідникові терморезистори. Напівпровідникові перетворювачі виготовляються з титану,

міді, кобальту, нікелю, магнію і їхніх домішок. Як правило, напівпровідникові терморезистори виконуються у вигляді стрижнів (ММТ-1, -6) і бусинок (СТЗ-18, -25), циліндрів або пластинок. Технологія їхнього виготовлення складається в пресове формі із напівпровідникових порошкоподібних матеріалів з наступним випалюванням при високій температурі.

Напівпровідникові терморезистори в порівнянні з іншими перетворювачами мають ряд переваг, обумовлених їх високою температурною чутливістю, малими габаритами й масою, а також більшими значеннями опорів. У металевих терморезисторів температурний коефіцієнт опору позитивний (зі збільшенням температури опір зростає), у напівпровідникових терморезисторів температурний коефіцієнт опору негативний (зі збільшенням температури опір зменшується). Температурна залежність опору напівпровідникових терморезисторів задовільно апроксимується експонентною залежністю. Таким чином, статистична характеристика датчика-перетворювача температури представлена у вигляді

$$R_t = A \cdot \exp\left(\frac{B}{T+C}\right) = A \cdot \exp\left(\frac{B}{t^o+273.5+C}\right) \quad (2.1)$$

де T — вимірювана температура по шкалі Кельвіна, t^o — вимірювана температура по шкалі Цельсія, A , B й C — постійні коефіцієнти, що залежать від фізичних властивостей напівпровідникового матеріалу. Параметри A , B , C визначаються для конкретних датчиків температури в результаті градуювання. До кожного радіозонда додаються градуюванні дані -і статичні характеристики перетворення (СХП).

У цей час з'явилися чисті напівпровідникові матеріали -і германій, кремній. Їхні властивості розрізняються залежно від їхньої кристалічної структури, що визначається використовуваною технологією кристалізації. Вони мають високий питомий опір, і їхній розмір може бути мікроскопічним. Термоопору із чистих напівпровідникових матеріалів мало інерційні, високостабільні й мають необмежений строк використання.

Для розрахунку температури використовується зворотна функція, що використовується в обчислювачі телеметричного каналу РЛС:

$$T = \frac{B}{\ln\left(\frac{R_t}{A}\right)} - C \quad (2.2)$$

$$t^o = \frac{B}{\ln\left(\frac{R_t}{A}\right)} - C - 273.5 \quad (2.3)$$

До кожного радіозонда додаються градуюванні дані - статичні характеристики перетворення (СХП), які дозволяють перевести значення відносин частот

$$Y_t = F_t/F_{оп} = R_{оп}/(R_{оп} + R_t), \quad (2.4)$$

$$Y_u = F_u / F_{оп} = R_{оп} / (R_{оп} + R_u), \quad (2.5)$$

у відповідні значення температури й відносної вологості:

$$^{\circ}\text{C} = \frac{B}{\ln \left[\left(\frac{R_{оп}}{Y_t} - R_{оп} \right) \cdot \frac{1}{A} \right]} - C - 273.5, \quad (2.6)$$

$$U = K + N \cdot \left(\frac{R_{оп}}{Y_t} - R_{оп} \right) \cdot 10^{-3} + M \cdot \left(\frac{R_{оп}}{Y_t} - R_{оп} \right)^2 \cdot 10^{-6}, \quad (2.7)$$

де $^{\circ}\text{C}$ – температура в Цельсія, де А, В, З, $R_{оп}$, ДО, N, M -і характеристики статичного перетворення.

2.3. Методи виміру й перетворювачі вологості в системах зондування атмосфери

У метеорології використовуються наступні методи виміру вологості повітря: гравіметричні методи; методи конденсації; психрометричний метод; адсорбційні методи (волосній гігrometer, плівковий гігrometer, електричні датчики відносної вологості повітря); методи, засновані на поглинанні електромагнітного випромінювання водяною парою.

Датчики вологості. При вимірі відносної вологості в атмосфері як деформаційний матеріал використовують тваринну плівку, вона має достатню чутливість і малу температурну залежність. В аерологічних приладах, призначених для дослідження вільної атмосфери методом радіозондів, використовуються деформаційні (плівкові) і резистивні (електролітичні, керамічні й оксидно-алюмінієві) перетворювачі.

Плівкові датчики. Досвід застосування волосся як перетворювач вологості показав, якою структурою повинні володіти сорбційні перетворювачі вологості: вони повинні мати пористу або волокнисту поверхню. Сильно розвинену волокнисту поверхню має тваринна плівка. Зразки плівки товщиною 10-20 мкм піддаються штучному старінню в пересиченому вологому повітрі протягом декількох днів, у процесі якого плівка збільшується в розмірах і міняє свою структуру. Спочатку гладка й прозора плівка стає білуватою й тендітною. Після цього плівку масажують за допомогою зміною вологості від 5 до 100%. Після того як у результаті масування первинне подовження плівки скоротиться наполовину, її використовують у перетворювачі.

Перетворювачі вологості на основі тваринної плівки, застосовувані в аерологічних приладах, виконуються у вигляді металевого кільця, на яке натягнута плівка. У центрі кола до плівки приклеюється металева шайба з

отвором для закріплення натяжної пружини. Пружина, відтягаючи центр плівки, утримує її завжди в натягнутому стані незалежно від вологості навколишнього повітря. Оптимальний натяг становить 2-3 м на 1 мм ширини плівки. При зміні вологості повітря з'являється збільшення розмірів плівки, що вибирається натяжною пружиною, у результаті чого плівка здобуває конусоподібну форму. Подовження плівки не залежить від температури й досягає 48-50 % при зміні вологості від 0 до 100 %. З рухливим центром плівкового кола (крапкою закріплення натяжної пружини) зв'язана стрілка (якщо вимірювана вологість перетвориться в кут відхилення стрілки) або рухливий контакт потенціометра (якщо вимірювана вологість перетвориться в напругу). Перетворювачі вологості на основі тваринної плівки в 2-3 рази дошкульніше волосні перетворювачів, крім того, вони не змінюють чутливості при проколах датчика. Одним з істотних недоліків перетворювачів вологості на основі тваринної плівки є швидке збільшення коефіцієнта інерції при зменшенні температури.

Статистичні характеристики перетворювача вологості представляють залежність вихідного інформаційного параметра (опір R_u) від вхідного інформаційного параметра (вологості U) при нормальних умовах. K, N, M — коефіцієнти апроксимації, R_u - величина опору датчика вологості, $R_u > 2$ кому при вологості 100 %, $R_u < 15$ кому при вологості 10%.

$$R_u = \left(-N - \sqrt{N^2 - 4M(K - U)} \right) \cdot \frac{1000}{2 \cdot M} \quad (2.8)$$

3. Аналіз первинних даних метеорологічної інформації, побудова аерологічних діаграм.

Зчитування вихідних первинних даних радіозондування по даним ГМЧАМ

На підставі первинних даних метеорологічної інформації отриманих з телеметричної інформації системи радіозондування "Радиотеодолит-ул" й "ПАЗА-12" Гідрометцентру Чорного й Азовського морів м. Одеса сформована багатомірний масив даних у вигляді текстового файлу, як вхідні дані програмної моделі в системі Матлаб. Первинні дані метеорологічної інформації мають вигляд:

Представлення первинних даних у файлі txt

Час польоту	азимут, Горизонтальний кут	Кут місця. Вертикальний кут	Дальність	Температура	Відносна вологість
хвилин	Одиниці кутоміра РЛС	Одиниці кутоміра РЛС	метр	°C	%
0.50	2684	429	385	27.3	33
1.00	2743	509	660	26.2	31
1.50	2820	562	906	24.9	33
2.00	2918	532	1265	23.8	34
2.50	2939	567	1496	22.2	36
3.00	2989	617	1608	20.6	38
BL(:,1)	BL(:,2)	BL(:,3)	BL(:,4)	BL(:,5)	BL(:,6)

===== Лістинг Matlab =====

```
close all; %Видалення графічних вікон й очищення
робочої області
clear, clc,
% читання txt файлу
% файл txt не повинен містити коми, а тільки крапка й
не повинен містити букви

BL=load('Первич дані_1.txt');
% Подання первинних даних у файлі 'Первич дані_1.txt'
%BL(:,1)-час польоту у хвилин
%BL(:,2)- азимут, горизонтальний кут, одиниці кутоміра
РЛС
%BL(:,3)- кут весту, вертикальний кут, одиниці
кутоміра РЛС
%BL(:,4)- дальність Dh , метр
%BL(:,5)- температура °C
%BL(:,6)- відносна вологість %
```


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

$$H = D_H \cdot \sin(\varepsilon).$$

В окремих випадках важливо знати значення горизонтальної дальності

$$D_G = D_H \cdot \cos(\varepsilon).$$

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 D_H . Уже при D_H порядку 50 км помилка у визначенні висоти при обчисленні по цих формулах досягає 200 м. Практично для обчислення висоти по даним D_H й ε користуються формулою, що враховує кривизну Землі:

$$\sin \varepsilon = \frac{H}{D_H} - \frac{D_H}{2R_3},$$

де R_3 — радіус Землі, рівний 6370 км.

$$H = D_H \cdot \sin(\varepsilon) + \frac{D_H^2}{2 \cdot R_3}$$

Розрахунок вертикального просторового кута місця положення радіозонда для кожного моментів часу первинних даних.

Робимо переклад кута місця з одиниць кутоміра РЛС у радіани й градуси.

===== Лістинг Matlab =====

```
beta=VL(:,3)*(0.06*pi/180); % Кут місця, вертикальний
кут, радіан
beta_g=VL(:,3)*0.06; % % Кут місця, вертикальний кут,
грд
h0=43; % висота над рівнем моря м. Одеса
%===== Визначення висоти, VL(:,4) - дальність
H=(VL(:,4).*sin(beta))+h0;
```

Вертикальна швидкість підйому кулі-пілота

Швидкість переміщення кулі-пілота 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 проміжок часу. Тому умовно прийнято отримані дані відносити до висоти, що відповідає середньому значенню висоти шару:

Для оцінки рівномірності (постійності) швидкості підйому кулі-пілота відобразимо вертикального часового профілю підйому радіозонда.

===== Лістинг Matlab =====

```
% ===== ВЕРТИКАЛЬНА ШВИДКІСТЬ
=====
% відображення вертикального часового профілю підйому
радіозонда
figure, plot(BL(:,1),H/1000), grid on,
set(gca,'FontName','Arial
Cyr','FontSize',10),title('вертикально-часовий профіль
підйому радіозонда') ,
xlabel('час хв') ,ylabel('висота км '),
```

Вертикальна швидкість підйому радіозонда обчислюється з точністю 1м/хв у шарах за 10-хвилинні інтервали часу. Шляхом ділення різниці висот у метрах на різниці часу у хвиликах.

```
%== Обчислення вертикальної швидкості підйому
радіозонда
V=(H(4:end) - H(2:end-2))/1; %різниця висот за час 1-
хвилина=вертикальна швидкість метр/хвилин
V_men=smooth(V,11); % Ковзне усереднення швидкості
метр/хвилин
V_sec=smooth(V,11)/60; % Ковзне усереднення швидкості
метр/секунд
```

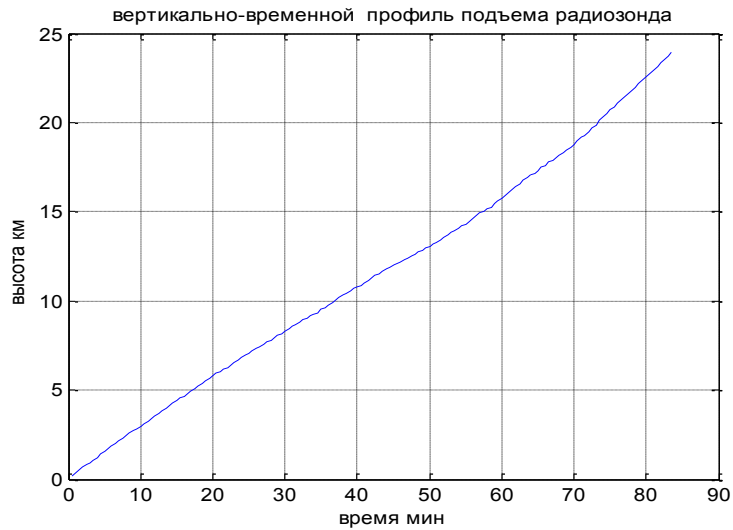


Рис.2. Вертикального тимчасового профілю підйому радіозонда

```
figure, plot(H(4:end-2)/1000,V_men(1:end-2)), grid
on,set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
title('вертикальна швидкості підйому радіозонда') ,
xlabel('висота км') ,ylabel('швидкості метр/хвилини '),
figure, plot(H(4:end-2)/1000,V_sec(1:end-2)), grid
on,set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
title('вертикальна швидкості підйому радіозонда') ,
xlabel('висота км') ,ylabel('швидкості метр/сек '),
```

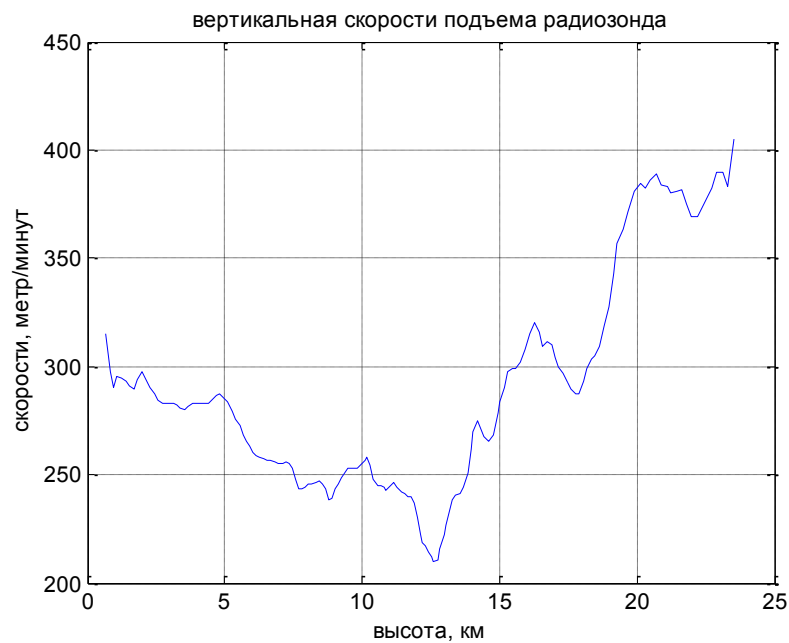


Рис.3. Вертикальна швидкість підйому радіозонда метр/хвилини



Рис.4. Вертикальна швидкість підйому радіозонда метр/сек

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. Наявність нерівномірності швидкості підйому за рахунок вертикальних рухів повітря в атмосфері. Вони 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 і т.д. 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. Оцінку швидкості підйому за рахунок піднімальної сили кулі-пілота можна оцінити, використовуючи екстраполяцію швидкості підйому рівнянням лінійної регресії.

===== Лістинг Matlab =====

```
%Розрахунок коефіцієнтів регресійної поліноміальної моделі 1-го порядку
%Розрахунок коефіцієнтів рівняння лінійної регресії швидкості підйому радіозонда
n=1;
p = polyfit(H(3:end-3),V_men(2:end-1),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 =290 м/сек
```

```

p(2)=290; %Початкова швидкість підйому радіозонда,
величина обумовлена швидкість підйому тільки за чіт
піднімальної сили кулі, що надає кулі прискорення.
v=p(1)*H(3:end-3)+ p(2); %Функція регресії для
апроксимації, лінійна функція регресії
figure, plot(H(3:end-3),V_men(2:end-1)),
hold on, plot(H(3:end-3),v,'r'), grid on,
set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
title('вертикальної швидкості підйому радіозонда й
апроксимація -лінійної регресії '), xlabel('висота
метр') ,ylabel('швидкості метр/хвилини '),

```



Рис.5. Вертикальна швидкість підйому радіозонда й апроксимація - лінійної регресії

```

% Обчислюючи різницю між рівняння лінійної регресії
швидкості підйому радіозонда й реальною обмірюваною
швидкістю підйому радіозонда можна
% оцінити вертикальну швидкість вітру (вертикальних рухів
повітря в атмосфері) у шарах висоти (спадні й висхідні
потоки повітря)
dv=v-V_men(2:end-1)); %швидкості метр/хвилини
figure, plot(H(3:end-8),dv(1:end-5)/60), grid on,
set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
title('вертикальна складова швидкості вітру') ,
xlabel('висота метр') ,ylabel('швидкості метр/хвилини '),
figure, plot(H(3:end-8),dv(1:end-5)/60), grid on,
set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),

```

```
title('вертикальна складова швидкості вітру') ,
xlabel('висота метр') , ylabel('швидкість метр/сек '),
```



Рис.6. Вертикальна швидкість вертикальних рухів повітря в атмосфері.

Відображення температури й відносної вологості результатів радіозондування

===== Лістинг Matlab =====

```
% У тропосфері, для стандартної атмосфери, швидкість зміни
температури становить 0.0065 °C/метр або 0.65 °C/100м
figure, plot(BL(:,5),H/1000),grid
on,set(gca,'FontName','Arial
Cyr','FontSize',10),title('Розподіл температури °C по
висоті') , xlabel('температура °C') , ylabel('висота км '),
figure, plot(BL(:,6),H/1000),grid
on,set(gca,'FontName','Arial
Cyr','FontSize',10),title('Розподіл вологості по висоті')
, xlabel('вологість %') , ylabel('висота км '),
```

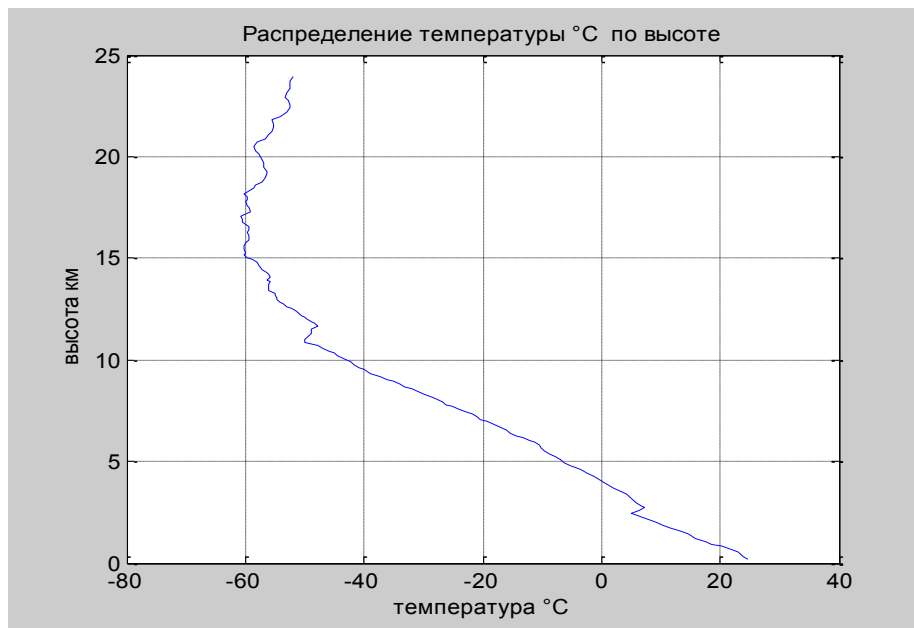


Рис.7. Вертикальний розподіл температури зондування атмосфери.

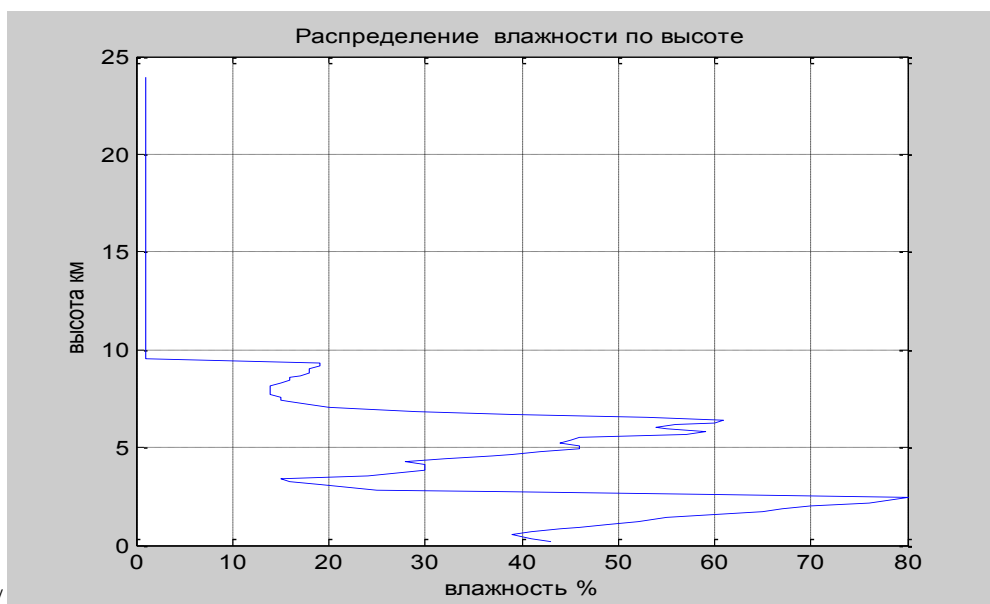


Рис.8. Вертикальний розподіл відносної вологості зондування атмосфери.

Розподіл температури °C і вологості залежно від висоти й часу польоту. Відображення результату на графіку із двома осями Y

===== Лістинг Matlab =====

```
%графік із двома осями y
figure,
AX=plotyy(H/1000,BL(:,5),H/1000,BL(:,6),'plot'); grid
on,set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
set(get(AX(1),'Ylabel'),'String','температура
°C','FontName','Arial Cyr','FontSize',10), set(AX(1),
```

```

'YTick', [-80 -60 -40 -20 0 20 40 60]), %Координати
розмітки осі Y(1),
set(get(AX(2),'Ylabel'),'String','вологість
%', 'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
set(AX(2), 'YTick', [0 10 20 30 40 50 60 70 80]),
%Координати розмітки осі Y(2),
xlabel('висота км') ,title('Розподіл температури °C і
вологісті % по висоті') ,

figure,
AX1=plotyy(BL(:,1),BL(:,5),BL(:,1),BL(:,6),'plot'); grid
on,set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
set(get(AX1(1),'Ylabel'),'String','температура
°C','FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
set(AX1(1), 'YTick', [-80 -60 -40 -20 0 20 40 60]),
%Координати розмітки осі Y(1),
set(get(AX1(2),'Ylabel'),'String','вологість
%', 'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
set(AX1(2), 'YTick', [0 10 20 30 40 50 60 70 80]),
%Координати розмітки осі Y(2),
xlabel(' хвилин') ,title('Розподіл температури °C і
вологісті % за часом') ,

```

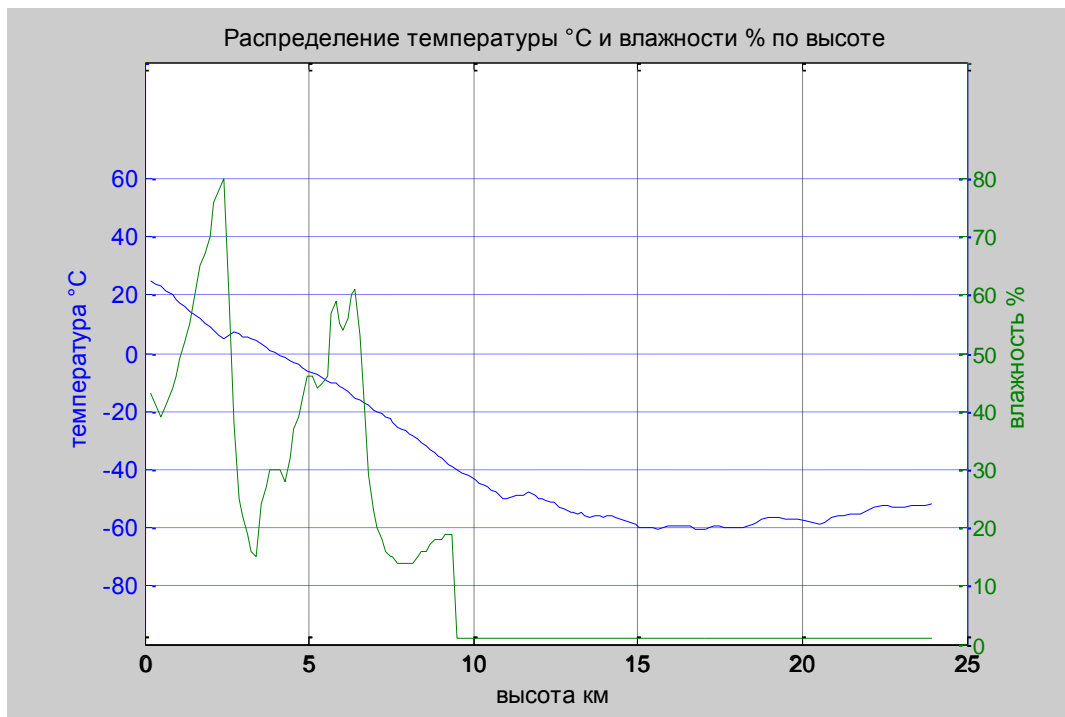


Рис.9. Розподіл температури й відносної вологості зондування атмосфери по висоті



Рис.10. Розподіл температури й відносної вологості зондування атмосфери за часом польоту.

Оцінка градієнта температури по висоті. Тропопауза.

Вертикальний градієнт температури обчислюється з точністю до 0.01 °З/100 м шляхом ділення різниці температур на границях шаруючи на різницю висот, що виражає в сотнях метрах. Якщо температура з висотою знижується, то градієнт позитивний, при підвищенні температури з висотою градієнт негативний.

===== Лістинг Matlab =====

```
%===== Обчислення градієнта температури з висотою,
методом ділення різниці температур на різницю висот
виражених у сотнях метрів °C/100м границя тропопаузи
визначається на висоті коли вертикальний градієнт
температури падає до 0,2°C/100 м (або нижче)
```

```
Gr=(BL(1:end-1,5)-BL(2:end,5))*100./(-H(1:end-1)+H(2:end));
```

```
figure, plot(H(2:end),Gr),grid on,set(gca,'FontName','Arial
Cyr','FontSize',10), title('Розподіл вертикального
градієнта температури °C/100м по висоті'), xlabel('висота
метр'), ylabel('градієнта температури °C/100м '),
```

% Ковзне усереднення результату обчислення вертикального градієнта температури, алгоритм фільтрації за допомогою ковзного середнього реалізований у функції smooth(input>window), window -розмір вікна усереднення непарне.

```
SM_G=smooth(Gr,11);SM_G1=[SM_G(1);SM_G;SM_G(end)];
figure, plot(H(2:end)/1000,Gr),hold on,
plot(H(2:end)/1000,SM_G,'r'), grid
on,set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
title('вертикального градієнта температури °C/100м й
усереднення') ,
xlabel('висота км') ,ylabel('градієнта температури
°C/100м '),
```



Рис.11. Розподіл градієнта температури і його усереднення.

```
figure, plot(SM_G,H(2:end)/1000), grid
on,set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
title('вертикального градієнта температури °C/100м
усереднення') ,
xlabel('градієнта температури °C/100м') ,ylabel('висота
км '),
```

Тропопауза визначається як перехідний шар між тропосферою й стратосферою, розташований не нижче ізобаричної поверхні 500 гПа між шаром з більшими значеннями вертикального градієнта температури у верхній тропосфері й шаром ізотермії, інверсії або вповільненого спаду температури з висотою в нижній стратосфері. За нижню границю тропопаузи приймається рівень, вище якого в шарі товщиною не менш 2 км значення вертикального градієнта температури не перевищує $0,2^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$.

Нижня границя шаруючи тропопаузи виділяється на аерологічній діаграмі коричневою горизонтальною прямою лінією довжиною 10-15 див, що проводиться від кривої стратифікації вправо. На ній проставляється значення температури повітря в градусах Цельсія на нижній границі тропопаузи, а праворуч - розраховане шляхом інтерполяції значення висоти в метрах.

===== Лістинг Matlab =====

```
%      Визначення границі тропопаузи
for t=1:length(SM_G);
    if abs(SM_G(t))<=0.2;
        TP(t)=1;
    else TP(t)=0;
    end
end

% Ковзне усереднення
TP_m=smooth(TP,11);
for t=1:length(TP_m);
    if abs(TP_m(t))>=0.3;
        TP1(t)=1;
    else TP1(t)=0;
    end
end

% Висновок графіка вертикального градієнта й границі
тропопаузи
figure, plot(H(2:end)/1000,SM_G),hold
on,plot(H(2:end)/1000,TP1,'r','LineWidth',2), grid
on,set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
```



```

title('вертикального градієнта температури °C/100м і
границі тропопаузи ') , xlabel('висота км')
, ylabel('градієнта температури °C/100м '), ylim([-0.5
1.5]), text(15.2, 0.9, 'границі тропопаузи
', 'FontName', 'Arial Cyr', 'FontSize', 10)

```



Рис.12. Розподіл градієнта температури й границі тропопаузи.

```

figure, plot(SM_G, H(2:end)/1000), hold
on, plot(TP1*0.8, H(2:end)/1000, 'r', 'LineWidth', 2), grid
on, set(gca, 'FontName', 'Arial Cyr', 'FontSize', 10),
title('вертикального градієнта температури °C/100м і
границі тропопаузи ') , ylabel('висота км')
, xlabel('градієнта температури °C/100м '),
text(0.3, 22, 'границі тропопаузи' , 'FontName', 'Arial
Cyr', 'FontSize', 10)

```

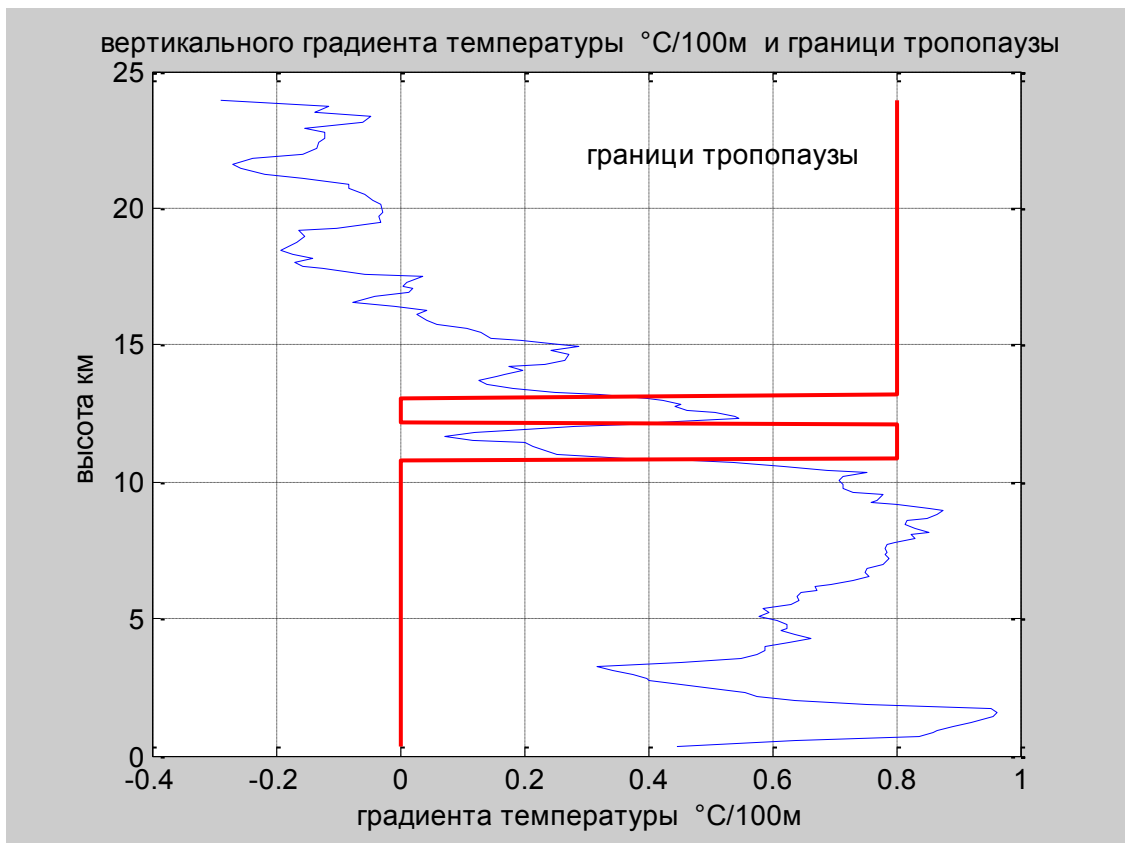


Рис.13. Розподіл температури по висоті й відображення меж тропопаузи

Визначення тиску на висоті й зв'язок висоти й тиску. Барометрична формула.

При досить точних і надійних вимірах висоти кулі-пілота, температури й вологості повітря тиск можна обчислити за допомогою барометричної формули.

Барометрична формула — залежність тиску газу від висоти

$$p_2 = p_1 \cdot \exp \left(-Mv \cdot \frac{z_2 - z_1}{R \cdot T_m} \right)$$

де p_1 і p_2 - тиск (гПа) на нижньому z_1 і верхньому z_2 рівні шару висоти (метри), $(z_2 - z_1)$ — товщина шару, g – прискорення вільного падіння ($9.80665 \frac{m}{c^2}$), $R=8.31447$ - універсальна газова постійна Дж/(Мол*ДО), $Mv=0.0289644$ - молярна маса повітря кг/Мол, T_m – середнє значення абсолютної температури між рівнями z_1 z_2 (кельвіни).

За допомогою барометричної формули можна вирішувати три задачі:

- 1) приведення тиску одного рівня до іншого (відомі тиск на одному рівні й перепад висот, середня температура шаруючи, знайти тиск на іншому рівні)

- 2) барометричне нівелювання (відомі: тиск на двох рівнях, середня температура стовпа повітря; знайти: перепад висот, геометричну різницю висот між рівнями Δz)
- 3) визначення середньої температури шаруючи (відомі тиск на двох рівнях і перепад висот, знайти середню температуру шаруючи).

===== Лістинг Matlab =====

```
%===== БАРОМЕТРИЧНА ФОРМУЛА=====
% обчислення тиску по висоті с застосуванням барометричної
формули
R=8.31447 ; % універсальна газова постійна Дж/(Мол*ДО)
Mv=0.0289644 ; %молярна маса повітря кг/Мол
g=9.80665 ; % Прискорення вільного падіння, м/с^2
L=-0.0065 ; %швидкість спаду температури °С/метр ,
градієнт температур
K=273.15 ; %постійна Кельвіна
Po=1010.9 ; %тиск у Землі гПа ,висота над рівні
моря ho=42 метр
ho=42 ; %висота в Землі, метр
tco=26 ; %температура в Землі, Цельсій
uo=38 ; % вологість у Землі, Цельсій

% Барометрична формула обчислення тиску по вертикальних
шарах між двома крапками виміру температури по висоті.
Рекурсивна формула покрокове обчислення по шарах

PV(1)=Po; ho=42; % тиск і температура в Землі
H1=[ho;H];
TC=[tco;BL(:,5)];
U=[uo;BL(:,6)];
for i=2:length(H1);
    PV(i)=PV(i-1)*exp(-(H1(i)-H1(i-
1))*Mv*g/(R*((TC(i)+TC(i-1))/2)+K));
end
PV=PV';
figure, plot(H1,PV),grid on,set(gca,'FontName','Arial
Cyr','FontSize',10),
title('Розподіл тиску від висоти') ,
xlabel('висота метр') ,ylabel('давлений гПа '),
```

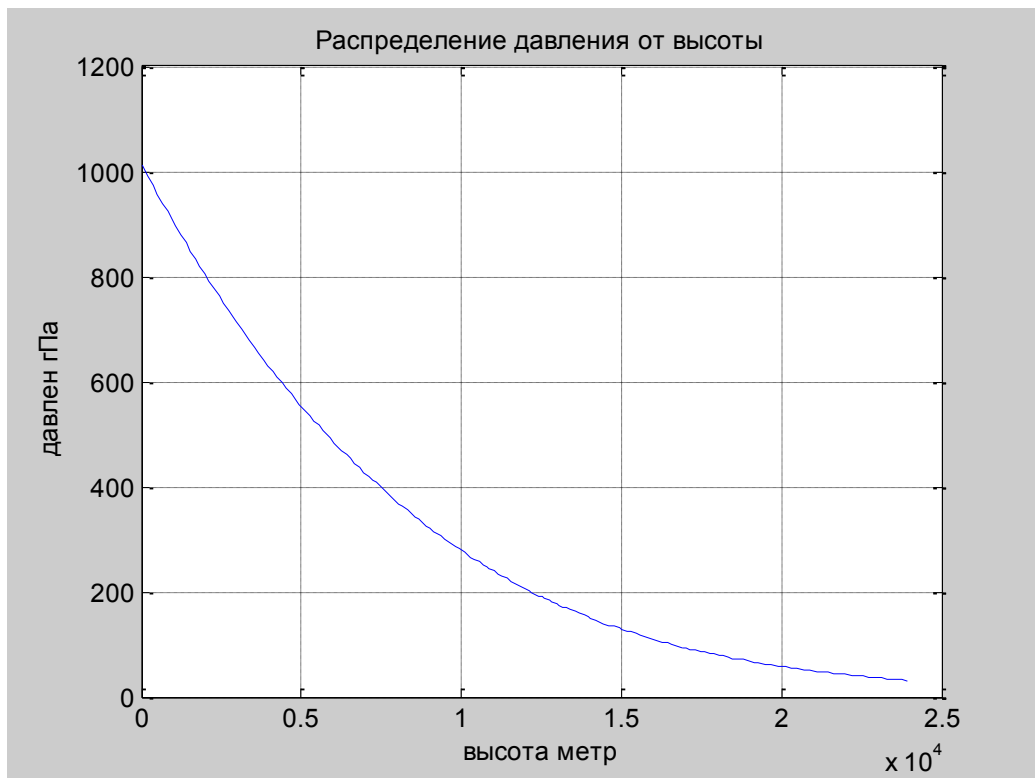


Рис.14. Взаємозв'язок тиски й висоти вільної атмосфери в області польоту радіозонда.

Побудова графіка розподілу висоти й тиски при зміні температури для складання аерологічної діаграми.

===== Лістинг Matlab =====

```

%Відображення зміни висоти й тиски від температури
figure,
AX1=plotyy(TC,H1/1000,TC,PV,'plot'); grid
on,set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
set(get(AX1(1),'Ylabel'),'String','висота
км','FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
set(get(AX1(2),'Ylabel'),'String','давлений
гПа','FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
set(AX1(2),'YDir','reverse'), %Напрямок другої осі Y
обратное-'reverse'
xlabel('температура °C'), ,title('Значення висоти й тиски
для температури °C') ,

```

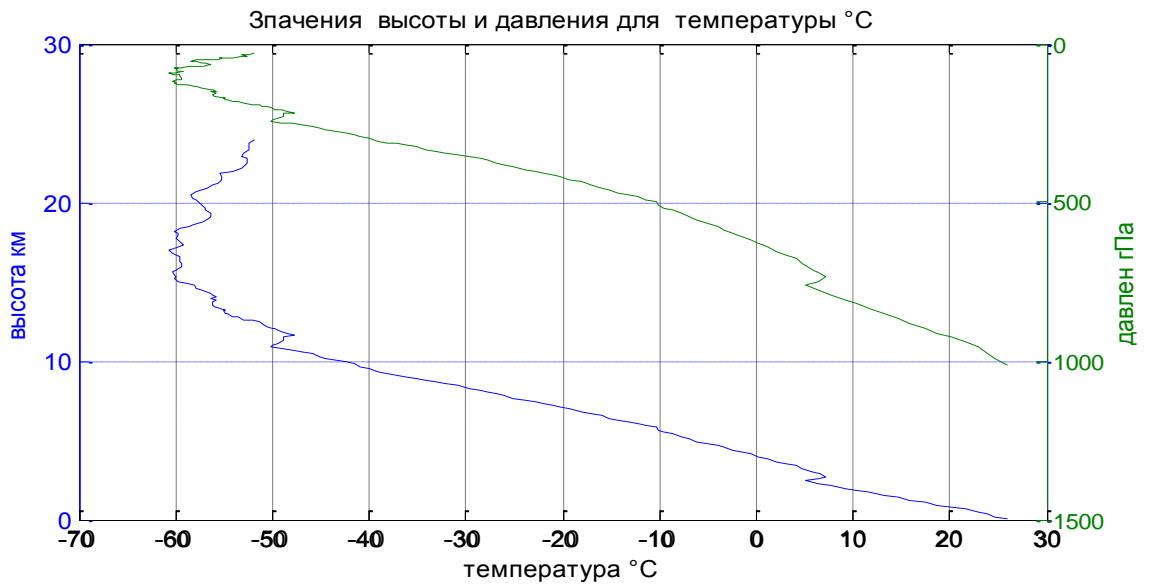


Рис.15. Взаємозв'язок температури по висоті й тиску зондування атмосфери

%===== Лістинг Matlab =====

```

%Додаємо розмітку осі Y відповідність тиск=висота
figure, plot(TC,PV),grid on,set(gca,'FontName','Arial
Cyr','FontSize',10),
title('значення тиски й висоти для температури °C'),
xlabel(' температура °C'),ylabel('давлена гПа '),
set(gca, 'YDir','reverse'),
%Розмітка осі Y, з додаванням до значень висоти
відповідних значень тиску(барометрична формула) у
відповідності вектором з координатами розмітки,
set(gca, 'YTickLabel', {'9 гПа=30 км'; '200 гПа=12 км';
'400 гПа=7.5 км'; '600 гПа=4.5 км'; '800 гПа=2.0 км'; '1000
гПа=0.1 км'; '1200 гПа=0 км'})

```

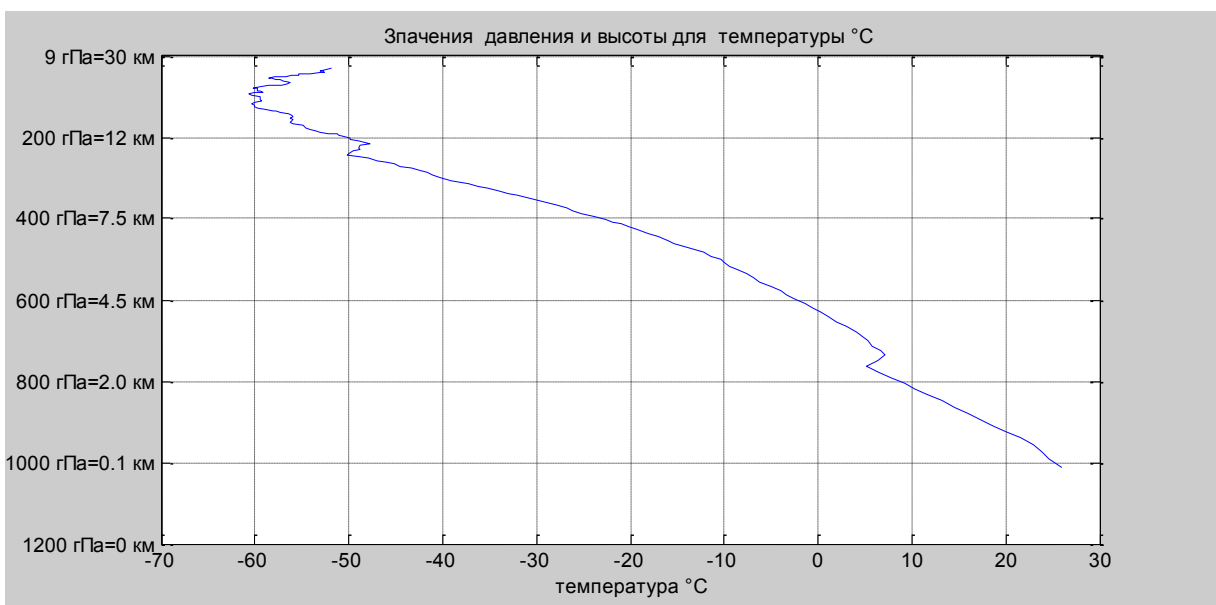


Рис.16. Взаємозв'язок температури й тиску, з розміткою висоти, зондування атмосфери

```

% Запис у текстовий файл результатів розрахунку
радіозондування таблиця ТАЭ-3
% Створення масиву даних для текстового файлу результатів
розрахунку радіозондування
% H1 -вектор дані висоти
% PV -вектор дані тиски
% TC -вектор дані температури
Dat_R=cat(2,H1,PV,TC,U,SM_G1);

st='Lab_2.txt'; %ім'я файлу запису
fid=fopen(st,'w');%Відкрити файл для запису або перезапису
fprintf(fid,'
                ЛАБ-4                ТАБЛИЦЯ
ТАЭ-3 РЕЗУЛЬТАТИВ РАДИОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ
\n');%Записати рядок символів
fprintf(fid,' \n');
fprintf(fid,' | висота,м | тиск, гПа | температура, °C |
вологість, %% | градієнт, °C/100м | \n');%Записати рядок
символів
fprintf(fid,' -----
-----
---\n');%Записати рядок символів
fprintf(fid,' %8.1f          % 7.1f          %5.1f
%5.1f          %8.4f          \n',Dat_R');%

fclose(fid);
%=====

```

ТАБЛИЦЯ ТАЭ-3 РЕЗУЛЬТАТИВ РАДИОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

висота, м	тиск, гПа	температура, °C	вологість, %	градієнт, °C/100м
42.0	1010.9	26.0	38.0	-0.2762
187.8	994.1	23.5	64.0	-0.2762
332.6	977.7	23.9	62.0	0.4587
477.8	961.5	22.9	60.0	0.7629
623.1	945.5	21.5	62.0	0.7901
767.8	929.7	20.0	65.0	0.8027
874.8	918.1	18.5	68.0	0.7931
1027.1	901.9	17.2	71.0	0.8880
1177.8	886.0	15.9	74.0	0.8760
1331.1	870.0	14.6	76.0	0.8375
1484.8	854.3	13.3	78.0	0.8007
1628.4	839.7	12.3	79.0	0.7325
1777.9	824.8	11.1	78.0	0.7319
1934.2	809.4	9.9	78.0	0.7259
.....				
24070..	30.8	-50.6	1.0	-0.1554
24286.7	29.8	-49.9	1.0	-0.1340
24518.9	28.8	-49.6	1.0	-0.1184
24722.6	27.9	-49.9	1.0	-0.1312
24941.8	27.0	-49.4	1.0	-0.1635
25132.1	26.2	-49.0	1.0	-0.1807
25336.3	25.4	-48.5	1.0	-0.1741

25546.2	24.6	-48.7	1.0	-0.1827
25767.4	23.8	-48.8	1.0	-0.2169
25931.1	23.2	-48.3	1.0	-0.2077
26098.4	22.6	-47.5	1.0	-0.1962
26267.5	22.1	-46.9	1.0	-0.1949
26505.6	21.3	-46.3	1.0	-0.2337
26684.4	20.7	-45.9	1.0	-0.3208
26859.2	20.2	-45.5	1.0	-0.2785
27095.7	19.5	-45.2	1.0	-0.2479
27334.4	18.8	-45.0	1.0	-0.2507
27508.1	18.3	-44.6	1.0	-0.2799
27688.9	17.8	-44.0	1.0	-0.3618
27765.6	17.6	-43.3	1.0	0.1592
27011.7	19.7	-42.1	1.0	0.1592

Барометричне нівелювання. Визначення метеорологічних параметрів на ізобаричних поверхнях.

Атмосферний тиск являє собою силу, що діє на одиницю поверхні. Воно є найважливішою характеристикою фізичного стану атмосфери. Розходження тиску в просторі є причиною руху повітря, а зміни в часі свідчать про проходження атмосферних фронтів й антициклонів, про зміну повітряних мас.

Дані про атмосферний тиск необхідні для складання синоптичних карт і прогнозів зміни погоди, для розрахунку характеристик вологості повітря.

На висоті двох кілометрів повітря більше розріджене й атмосферний тиск менше, ніж на висоті рівня моря. Якщо ж наділити ці слова в наукову форму, то вийде, що тиск (щільність) газу залежить від його висоти в поле ваги. На цьому явищі побудований метод барометричного нівелювання. Вимір атмосферного тиску є основою барометричного нівелювання.

Барометричне нівелювання - методу визначення різниці висот між двома крапками по вимірюваному в цих крапках атмосферному тиску. Тому що атмосферний тиск, крім висоти над рівнем моря також залежить від погоди, наприклад, від змісту в повітрі водяних пар, то метод застосовується, якщо їсти можливість провести виміру в крапках з як можна більше меншим інтервалом між вимірами, а самі крапки розташовані не занадто далеко друг від друга.

Перевищення між двома крапками визначається по формулі Бабіні [2]:

$$h = \frac{16000(P_1 - P_2)}{P_1 + P_2}(1 + \alpha t),$$

де h — перевищення між двома крапками, м; P_1 й P_2 — тиск на нижньому й верхньому рівнях, гПа; α — коефіцієнт температурного розширення газів, рівний 0,00366; t — середня температура шаруючи між рівнями, °С.

%===== Лістинг Matlab =====

```
%===== Ізобаричні поверхні, тиск гПа ===  
P_iz=[1000;850;700;500;400;300;250;200;150;100;70;50;30;20;  
10;5];  
%Створення графіка значень тиску на ізобаричних рівнях  
для температури атмосфери  
figure, plot(TC,PV),grid on,set(gca,'FontName','Arial  
Cyr','FontSize',10),  
title('Значення тиску для температури °C') ,  
xlabel(' температура °C') ,ylabel('тиск гПа '),  
set(gca, 'YDir','reverse'),  
%Розмітка осі Y, з додаванням до значень висоти  
відповідних значень тиску(барометрична формула) відповідно  
до вектора координатами розмітки.  
set(gca, 'YTick', flipud(P_iz)), % Координати розмітки  
осі Y Значення повинні бути монотонно зростаючої
```

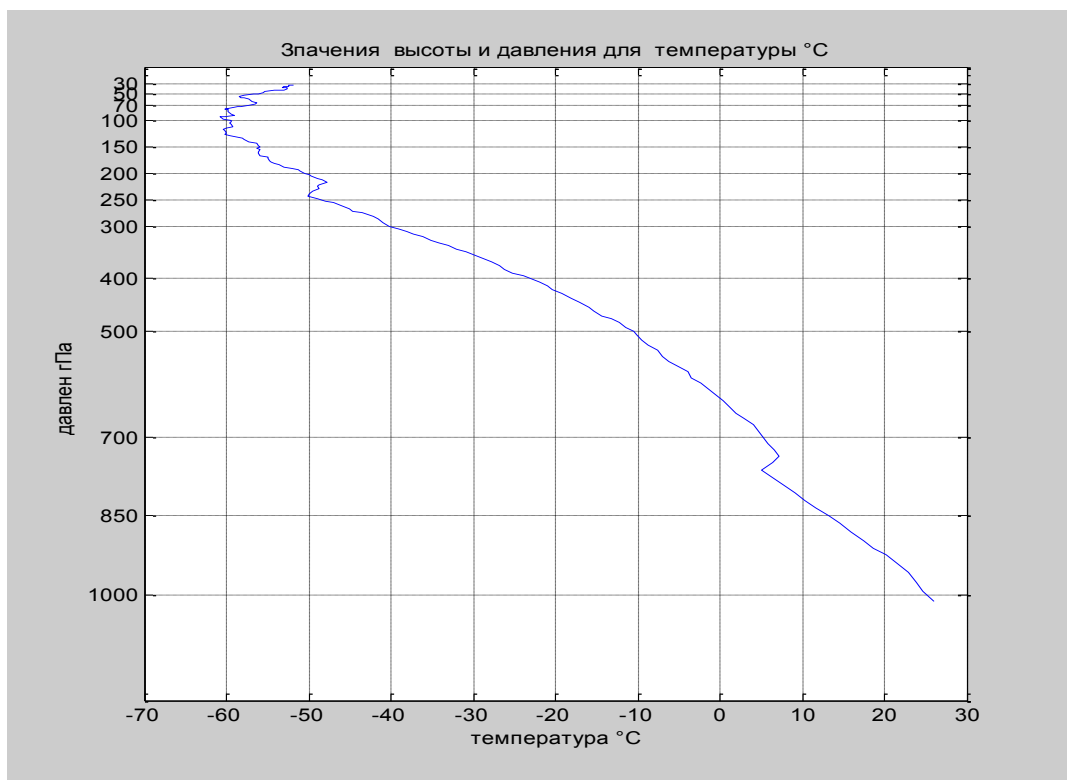


Рис.17. Взаємозв'язок температури й тиску на ізобаричних рівнях, зондування атмосфери

%===== Лістинг Matlab =====

```
%Вимір атмосферного тиску є основою барометричного  
нівелювання.
```



```

%Перевищення висоти між двома крапками визначається по
формулі Бабіні,
%де h перевищення між двома крапками, м; P1 й P2 тиск на
нижньому й верхньому рівнях, гпа;
% alfa- коефіцієнт температурного розширення газів, рівний
0,00366; t_cp середня температура шаруючи між рівнями, °C.
alfa=0.003665;
H_iz=[]; TC_iz=[];U_iz=[];
for i=1:length(P_iz);
    ks=find(PV>P_iz(i));%Визначення індексів при яких
значення більше
    if ks(end)<length(PV);
        %барометричного шабля (різниці висот)

dh=8000*(1+alfa*(TC(ks(end))+TC(ks(end)+1))/2)*2*(PV(ks(end)
))-P_iz(i))/(PV(ks(end))+P_iz(i));
        H_iz(i)=H1(ks(end))+dh; % Висота ізобаричної
поверхні
        %лінійна інтерполяція температури для ізобаричної
рівню за найближчим значенням температури й вологості
        TC_iz(i)=TC(ks(end))+((H_iz(i)-
H1(ks(end)))*(TC(ks(end)+1)-TC(ks(end))))/(H1(ks(end)+1)-
H1(ks(end)));
        U_iz(i)=U(ks(end))+((H_iz(i)-
H1(ks(end)))*(U(ks(end)+1)-U(ks(end))))/(H1(ks(end)+1)-
H1(ks(end)));
    else

dh=8000*(1+alfa*(TC(ks(end))+TC(ks(end)))/2)*2*(PV(ks(end)
))-P_iz(i))/(PV(ks(end))+P_iz(i));
        H_iz(i)=H1(ks(end))+dh;
        TC_iz(i)=TC(ks(end));
        U_iz(i)=U(ks(end));
    end
end
H_iz=H_iz'; % Висота ізобаричної поверхні
TC_iz=TC_iz'; % Температура ізобаричної поверхні
U_iz=U_iz'; % Вологість ізобаричної поверхні

```

Алгоритм обчислення висоти ізобаричних поверхонь, складається:

- обчислення барометричного шабля(різниці висот) між стандартною барометричною поверхнею Pz_n і найближчим значенням Pm вчисленного тиску, на висотах первинних даних $Pm \in [P_0 \dots P_k]$, за допомогою барометричної формули, де $Pm > Pz_n$,

$$\Delta h_{z_n} = 8000 \cdot \frac{2 \cdot (Pm - Pz_n)}{(Pm + Pz_n)} \cdot (1 + \alpha \cdot ts),$$

де $ts = \frac{t_{k-1} + t_k}{2}$ середня температура °C шару, між рівнями обчисленого тиску $Pz_n \in (P_{k-1} \text{ и } P_k)$, де Pz_n належить шару в якому обчислюється середня температура.

- Висота на ізобаричних рівнях визначається:

$$H_n = H_{n-1} + \Delta h z_n,$$

де H_0, P_0, t_0 , значення висоти, тиски й температури приземленої області

Температура й вологість на ізобаричному рівні перебуває з використанням лінійної інтерполяції.

Лінійна інтерполяція припускає обчислення проміжного значення функції по двох крапках (умовно провівши пряму між ними). Наприклад, якщо відомі значення температури-функції-температури (TC) у двох крапках висоти (h), TC(h1) і TC(h2), те розумно припустити що значення в третій крапці температури, що перебуває між першим і другим значенням висоти, можна знайти графічно, вона лежить на відрізьку, що з'єднує TC(h1) і TC(h2).

$$TC(h) = TC(h1) + \frac{(h - h1) \cdot (TC(h2) - TC(h1))}{h2 - h1}$$

де $h \in [h1 \dots h2]$ перебуває усередині інтервалу висоти $[h1 \dots h2]$.

Аналогічним образом знаходять значення вологості на ізобаричних рівнях.

%===== Лістинг Matlab =====

```
%Створення графіка значень висоти й тиски для температури
атмосфери із двома осями Y, для ізобаричних поверхонь
figure,
[hAx,hLine1,hLine2]=plotyy(TC,H1,TC,H1); grid on,
set(gca,'FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
set(hLine2,'Color','k'), %Зміна кольорів лінії графіка-2
set(get(hAx(1),'Ylabel'),'String','висота
метр','FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
set(get(hAx(2),'Ylabel'),'String','давлений
гПа','FontName','Arial Cyr','FontSize',10),
xlabel(' температура °C') ,title('Значення висоти й тиски
для температури °C') ,
HF_iz=round(H_iz); format short % формат подання чисел-
ціла частина числа
%Розмітка осі Y1, із заміною до значень висоти
формату(format short) на відповідних значень висоти
формату(format uint16) у відповідності вектором з
координатами розмітки,
% set - установка властивостей (параметрів) графічного
об'єкта;
```

```

set(hAx(1), 'YTick', HF_iz, 'YTickLabel', uint16(HF_iz)), %Координати розмітки осі Y(1),
Заміна координат розмітки осі Y(1) на uint16(HF_iz)-Вектор з координатами розмітки,
%Розмітка осі Y2, із заміною до значень висоти відповідних значень тиску (барометрична формула) у відповідності вектором з координатами розмітки.
%Заміна координат розмітки осі Y(2) на P_iz-вектор з координатами розмітки,
set(hAx(2), 'YTick', HF_iz, 'YTickLabel', P_iz), %Координати розмітки осі Y(2),

```

Створення графіка значень висоти й тиску для температури атмосфери із двома осями Y, для ізобаричних поверхонь.

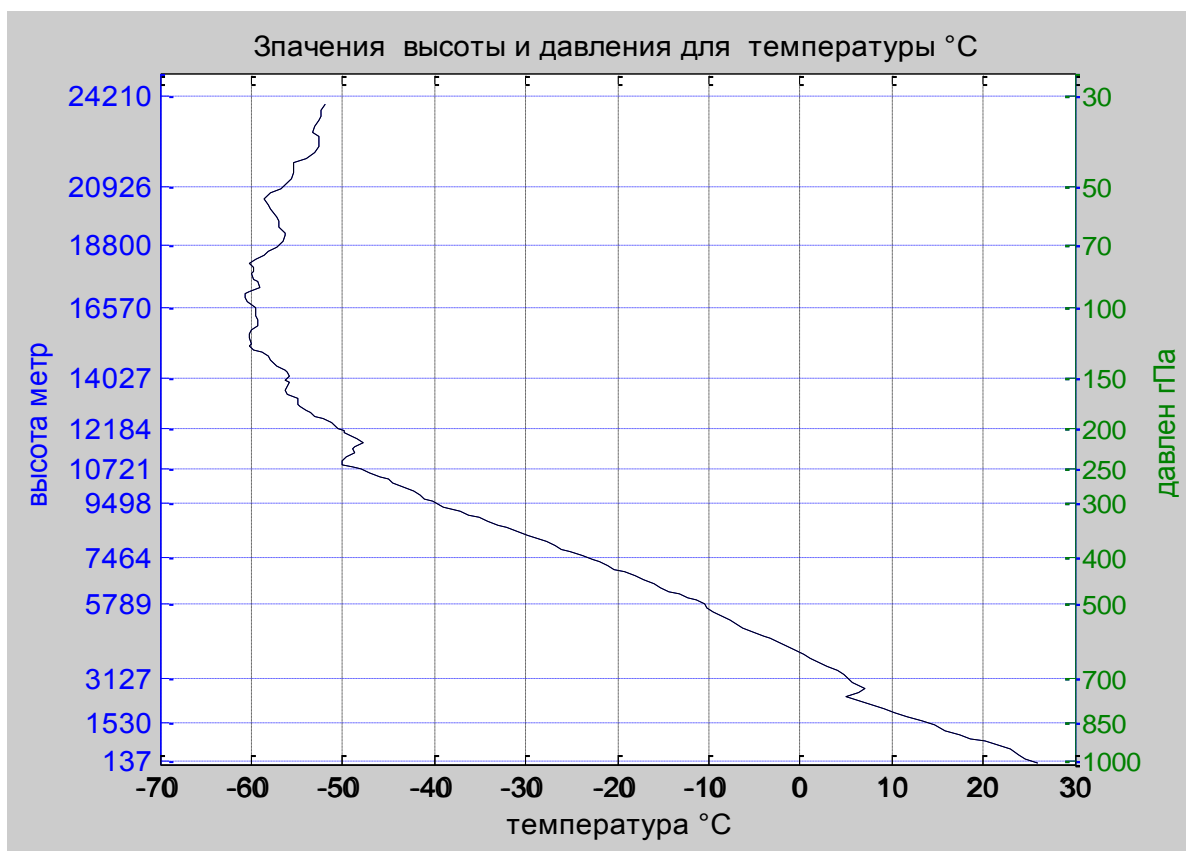


Рис.18. Взаємозв'язок висоти, тиску й температури на ізобаричних рівнях, зондування атмосфери

Аерологічна діаграма призначена для наочного розрахунково-графічного аналізу й прогнозу аерометеорологічних умов польотів по даним комплексного радіозондування атмосфери. Результати температурне - вітрового радіозондування атмосфери радіозондом заносяться в таблицю ТАЭ-3. Для подання результату радіозондування атмосфери створимо текстовий файл результатів розрахунку параметрів радіозондування.

```

%===== Лістинг Matlab =====
% Запис у текстовий файл результатів розрахунку на
стандартних ізобаричних поверхнях
Dat_iz=cat(2,P_iz,H_iz,TC_iz,U_iz);
st1='Lab_2_iz.txt'; %ім'я файлу запису
fid=fopen(st1,'w');%відкрити файл для запису або перезапису
fprintf(fid, '
                ТАБЛИЦЯ РЕЗУЛЬТАТІВ
РАДІОЗОНДУвання НА ІЗОБАРИЧНИХ ПОВЕХОНЬ
\n');%Записати рядок символів
fprintf(fid, '| ізобаричні поверхні гПа |');%Записати рядок
символів
fprintf(fid, '
        висота,м
        |');%Записати рядок символів
fprintf(fid, '
        температура,°C
        |');%Записати рядок символів
fprintf(fid, '
        вологість,%%
        | \n');%Записати рядок символів
% Записати масив в 10-ти ричной системі з фіксованою
крапкою
fprintf(fid, '
                %-7.1f
                %-8.1f
%-5.1f
        %-5.1f \n',Dat_iz');%
fclose(fid);

```

ТАБЛИЦЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РАДІОЗОНДИРОВАНИЯ НА ІЗОБАРИЧНИХ ПОВЕХНОНЬ

ізобаричні поверхні гПа	висота, м	температура, °С	вологість, %
1000.0	136.8	25.2	41.0
850.0	1529.9	13.3	59.5
700.0	3126.6	5.3	18.8
500.0	5788.9	-10.4	58.7
400.0	7463.6	-22.8	15.0
300.0	9497.9	-40.1	1.7
250.0	10721.5	-48.4	1.0
200.0	12184.5	-50.4	1.0
150.0	14027.1	-56.0	1.0
100.0	16570.4	-59.5	1.0
70.0	18800.1	-57.1	1.0
50.0	20926.3	-56.6	1.0
30.0	24209.7	-51.8	1.0
20.0	26790.7	-51.8	1.0
10.0	30623.9	-51.8	1.0
5.0	33334.0	-51.8	1.0

Питання для самоконтролю

1. Аерологічна інформація й особливості її одержання.
2. Визначення вертикальної швидкості підйому радіозонда.
3. Визначення вертикального градієнта температури і його обчислення.
4. Визначення тропопаузи.
5. Обчислення тиску на стандартних висотах. Барометрична формула.
6. Обчислення висот ізобаричних поверхнях. Визначення барометричного нівелювання.
7. Як будується графік із двома осями в Matlab.
8. Оформлення графіків, додавання написів на осях, додавання заголовка графіка в Matlab.
9. Як виводяться трохи графіків на одній осі в Matlab.
10. Визначення лінійної інтерполяція при обчисленні проміжного значення функції по двох крапках.

Опис приладів, устаткування та інструментів, які використовуються при виконанні лабораторної роботи:

- 1 Персональний комп'ютер.
- 2 Радіозонд МАРЗ
- 3 Програмне забезпечення Matlab.

Забороняється:

1. Проводити вимірювання струмів і напруг лабораторної установки з несправними приладами.
2. Використовувати для вимірювань нестандартні прилади.
3. Працювати з увімкненими приладами без діелектричних ковриків.
4. Проводити вимірювання в лабораторній установці без діючої системи захисту, яка забезпечує безпеку шляхом автоматичного вимкнення ланцюгів електроживлення.

Порядок проведення лабораторної роботи

1. Перед виконанням практичної роботи проводиться усне опитування теоретичного матеріалу та визначення мети лабораторної роботи.
2. Викладачем проводиться інструктаж з техніки безпеки. Після чого студент розписується в журналі з „Техніки безпеки”.
3. Якщо студент одержавши незадовільну оцінку з теоретичного матеріалу, те до виконання лабораторної роботи він не допускається.
4. Кожен студент виконує практичну роботу індивідуально.

Методика виконання практичної роботи.

Сходні дані.

Файли первинних даних радіозондування атмосфери для розрахунків метеорологічних величин і побудови графіків вертикального профілю метеорологічних параметрів.

Варіант	Первинні дані радіозондування	Ф.И.О
1	Первич дані_1.txt	
2	Первич дані_2.txt	
3	Первич дані_3.txt	
4	Первич дані_4.txt	
5	Первич дані_5.txt	
6	Первич дані_6.txt	

Зміст звіту практичної роботи.

Розрахунки й побудова графіків виконуються Matlab.

- На підставі первинних даних привести розрахунок вертикальну швидкість підйому радіозонда. Побудувати графік вертикальної швидкості від висоти й вертикально часовий профіль підйому радіозонда.

- На підставі первинних даних привести розрахунок висоти й побудувати графіки розподілу температури й вологості по висоті. Побудувати графік із двома осями для температури й вологості.

- Обчислити градієнт температури від висоти з параметром $G=^{\circ}\text{C}/100\text{м}$, побудувати графік розподілу усередненого градієнта по висоті, усереднення робити в шарі висоти~1-2 км. Дати визначення тропопаузи. У ручну відзначити на графіку область тропопаузи.

- Обчислення тиску від висоти, дати визначення барометричній формулі й вхідних у неї постійних.

Порядок оформлення звіту та його представлення й захист.

Результати проведеної практичної роботи оформлюються протоколом. Він винний містити такі дані:

- 1) тема практичної роботи;
- 2) позначка практичної роботи;
- 3) короткі теоретичні відомості;
- 4) розрахунок та візуалізація результатів досліджень;
- 5) висновки.

Лабораторна робота №3

«Обчислення характеристик вітру та побудова графіка швидкості та напрямку вітру при радіозондуванні з використанням системи комп'ютерної математики»

Мета роботи – Розроблена модель у середовищі Matlab для розрахунку та аналізу результатів температуро-вітрового радіозондування і їх візуального відображення, за даними отриманими в Гідрометцентрі ГМЧАМ

Завдання на підготовку до практичної роботи. Під година виконання практичної роботи студент винний

знати:

- Методи досліджень вільної атмосфери;
- Радіолокаційне зондування навколишнього середовища;
- Розрахунок параметрів швидкості та напрямку вітру при аерологічному зондуванню;
- Принципи радіозондування та формування метеорологічних телеметричних даних;
- Розробка та роботу з тремірною графікою програмного пакета MATLAB.

вміти:

- По східним даним радіозонду обчислювати, досліджувати характеристики просторового положення радіозонду обчислювати координати та параметри польоту й візуалізувати результати дослідження у вигляді характеристик вітру та траєкторії польоту.

Теоретичні відомості.

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 напрямком вітру в різних шарах атмосфери. Спостереження за переміщенням кулі-пілота ведуться за допомогою приладів візуально (оптичні методи) або за допомогою радіолокатора (радіолокаційні методи). 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.

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 зручною 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 $C-O-Ю$ звичайно сполучається з меридіаном, що проходить через РЛС (рис. 3.1).

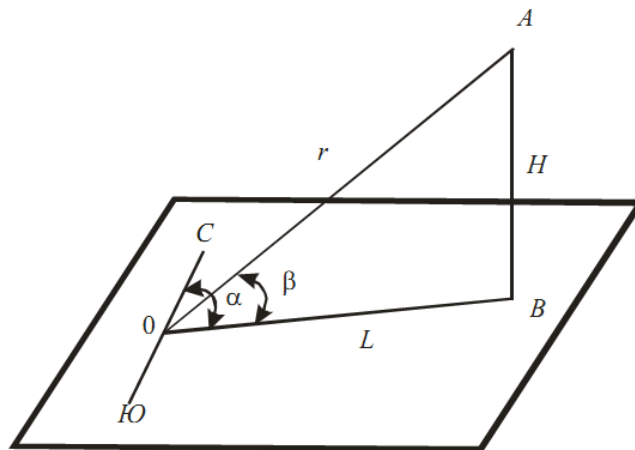


Рис. 3.1. Координати цілі

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

- 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 уведене для того, щоб розрізняти відстань між станцією (РЛС) і об'єктом по прямої лінії й відстань уздовж поверхні землі, що по цій же причині називається горизонтальною дальністю.

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. Кути, відлічувані по годинній стрілці, уважаються позитивними, проти вартовий стрілки - негативними.

Кут місця відраховує від горизонтальної площини нагору й униз, його значення можуть лежати в межах від 0 до ±90°. 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.

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

[Аерология (методы зондирования атмосферы): учебник / Н.И. Толмачева, Н.А. Калинин; – Пермь, 2011.– 336 с.]

===== Лістинг Matlab =====

Визначення кутових просторових координат радіозонда.

Розрахунок вертикального просторового кута місця й азимута положення радіозонда для моментів часу передачі телеметрії.

```

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

```

*Визначення висоти підйому радіозонда, використовуючи кут місця(**beta**) і дальність (BL(:,4)) у масиві первинних даних (BL).*

```

H=(BL(:,4).*sin(beta))+ho;
Rz=6370000; % радіус Землі, метр
Dh=BL(:,4); %дальність
% 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 відобразимо вертикального тимчасового профілю підйому радіозонда.

```

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'),

```

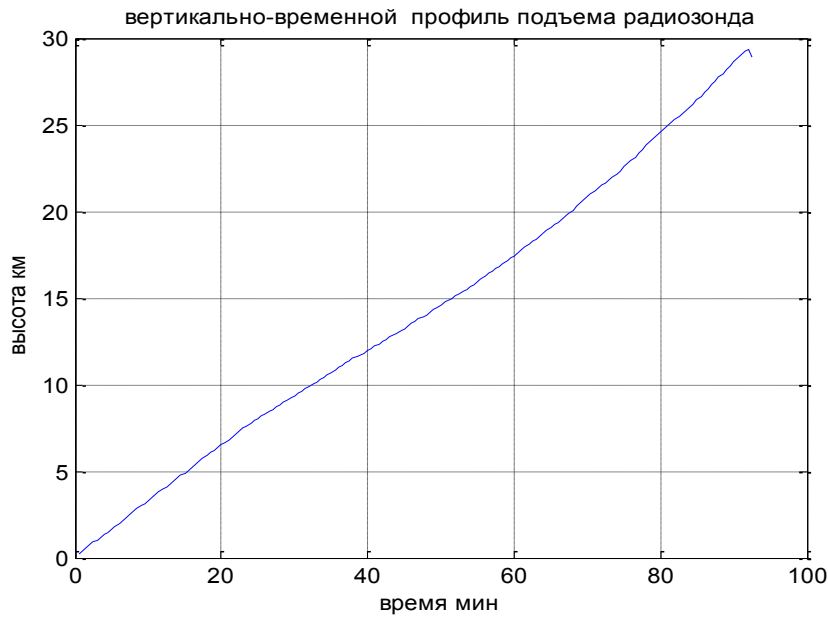


Рис. 3.2. вертикально-часовий профіль підйому радіозонда.

1.2. 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 шаруючи

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

===== Лістинг Matlab =====

```
V=(H(4:end)-H(2:end-2))/1; % вертикальної
швидкості підйому, різниця висот за час 1-
хвилина=вертикальна швидкість метр/хвилини
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/хвилини'),
```

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

```
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
'),
```



Рис. 3.3. Вертикальної швидкості підйому радіозонда.

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.

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. 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 і т.д. 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. 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_men1(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/хвилин '),
```



Рис. 3.4. вертикальної швидкості підйому радіозонда й екстраполяція - лінійної регресії.

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

% Обчислюючи різницю між рівняння лінійної регресії, швидкості підйому радіозонда й реальною обмірваною швидкістю підйому радіозонда можна оцінити вертикальною швидкість вітру в шарах висоти (спадні й висхідні потоки повітря)

```
dv=v1-V_men(1:end-1);      %   вертикальна   швидкість,
метр/хвилини

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/хвилини   '),
```




Рис.3.5. Вертикальна швидкість вертикальних рухів повітря в атмосфері.

2.1. 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 тоєсть 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. Для побудови проекцій кулі в цей момент часу необхідно знати його азимут (горизонтальний кут) і горизонтальне видалення. На мал. 1 зображений куле-пілотний трикутник. Горизонтальне видалення L обчислюється по формулі $L = Dn \cdot \cos(\epsilon)$. Горизонтальне видалення визначається для кожного моменту відліку кутів. За значеннями горизонтального видалення й азимута будується траєкторія кулі (рис. 2). По відрізках, що з'єднує кожену пару сусідніх проекцій кулі, можна судити про напрямок і швидкість вітру в шарі, пройдену кулею за час між двома послідовними значеннями. На рис. 2 крапки A_1, A_2, A_3 й A_4 представляють положення кулі-пілота в просторі для тих моментів спостережень (часу), по яких виробляється обробка (для 1, 2, 3 й 4 хвилини спостережень); крапки B_1, B_2, B_3 й B_4 - проекції кулі-пілота на

горизонтальну площину в ті ж моменти; H_1 H_2 , H_3 і H_4 - висоти кулі; L_1 L_2 , L_3 й L_4 - горизонтальні видалення кулі.

По відрізках OB_1 , B_1B_2 , B_2B_3 й B_3B_4 можна судити про напрямки й середні швидкості вітру в шарах, прохідних кулею в проміжках часу між послідовними моментами, по яких виробляється обробка. Отримані дані про вітер ставляться до рівня, розташованому на середині відповідного шару.

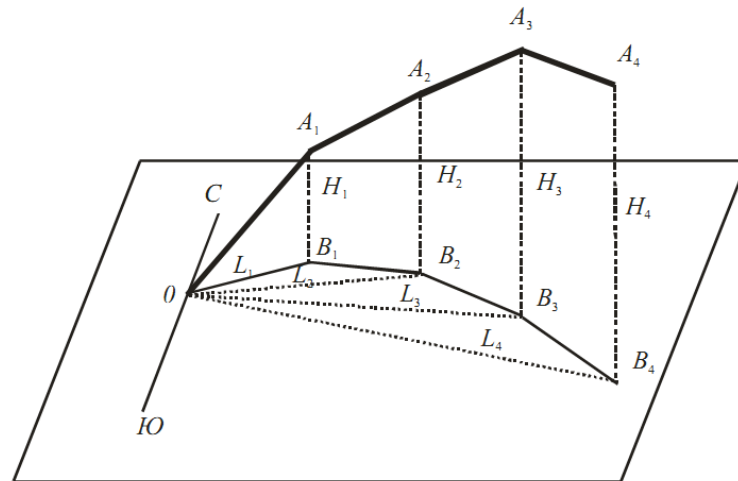


Рис. 3.6. Проекція кулі-пілота на горизонтальну площину

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:

$$\begin{aligned} x &= r \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\alpha) , \\ y &= r \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\alpha) , \\ h &= r \cdot \sin(\delta) . \end{aligned}$$

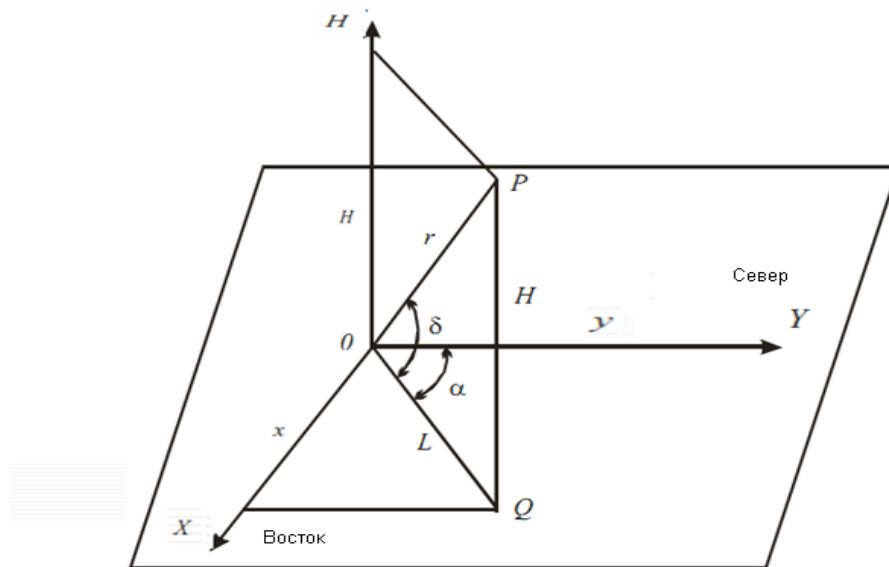


Рис. 3.7. Зв'язок сферичних і прямокутних координат.

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 тачкам А1, А2, А3 й А4(Рис. 3.6.), які представляють положення кулі-пілота в просторі для тих моментів спостережень (часу), по яких виробляється обробка (для 1, 2, 3 й 4 хвилини спостережень).

Обчислення ортогональних складового вектора швидкості вітру в зоні

$\Delta H_k = H_k - H_{k-1}$ визначаються:

$V_{xk} = \frac{X_k - X_{k-1}}{T_k - T_{k-1}}$ - зональна (широтна) складової швидкості вітру;

$U_{yk} = \frac{Y_k - Y_{k-1}}{T_k - T_{k-1}}$ - меридіанна складові швидкості вітру;

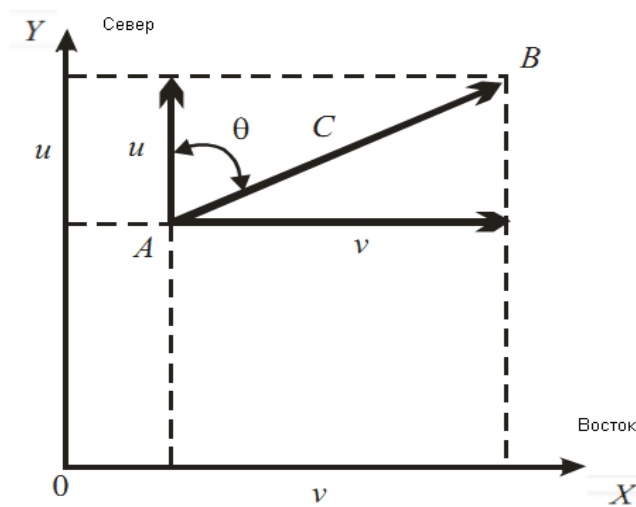


Рис. 3.8. Меридіональні й зональна складові швидкості вітру.

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:

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

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

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 в горизонтальній площині в різних шарах атмосфери. **Matlab***

```

Створення масиву сферичних координат для тих моментів
спостережень (часу), по яких виробляється обробка.
beta=BL(:,3)*(0.06*pi/180); % Кут місця, вертикальний
кут, радий
beta_g=BL(:,3)*0.06; % Кут місця, вертикальний кут,
грд
alfa=BL(:,2)*(0.06*pi/180); % Азимут, горизонтальний
кут, радий
alfa_g=BL(:,2)*0.06; % Азимут, горизонтальний кут, грд
r=BL(:,4); %дальність у метрах
%горизонтальна дальність, проекція 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 проекцію шляху кулі-пілота - L ;
- Щоб нанести проекцію кулі, потрібно знати його азимут і горизонтальне видалення в певні моменти часу.
- Горизонтальне видалення - L обчислюється по дальності - r кулі й вертикальному куту - β ;

- 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
'),

```



Рис. 3.9. Горизонтальна проекція польоту радіозонда.

```

%Створення масиву моментів спостережень (часу), по
яких виробляється обробка.
Tt= BL(:,1); %моменти спостереження часу у хвиликах
Tt=[0;Tt];

```

Розрахунок квадратурної складової швидкості вітру, як різниця двома сусідніми значень меридіанної - $L_y(k)$ і зональної - $L_x(k)$ горизонтальної проекції послідовними значеннями моменту часу - $Tt(k)$ 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((Ll(k)-Ll(k-1))/(Tt(k)-Tt(k-1)));
end
```

Значення горизонтальної швидкості вітру визначається як сума векторів квадратурної складової прямокутної системи координат на заданих висотах - $H(k)$, значення яких визначаються індексом - k .

```
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'),
```

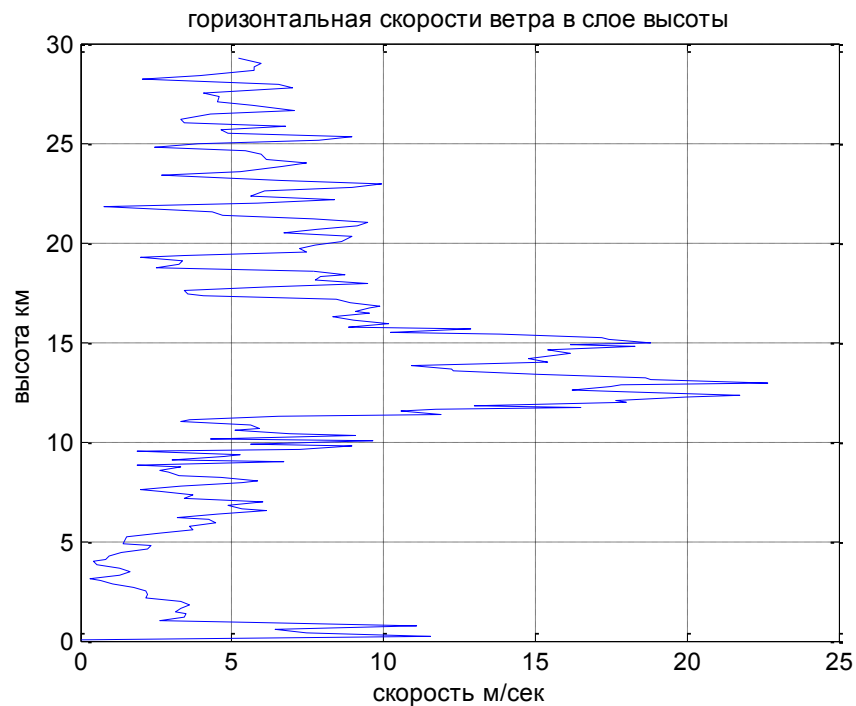


Рис. 3.10. Горизонтальна швидкість вітру в шарі висоти, по даним польоту радіозонда.

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 (напрямок 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 напрямок вітру визначаються для середини шарів шляхом інтерполяції.

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

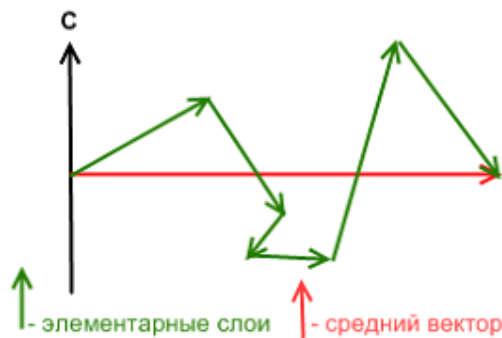


Рис. 3.11. Векторне додавання швидкості для визначення вектора швидкості в товщині шаруючи.

%Робимо усереднення зональної й меридіанної складова горизонтальної швидкості вітру у вікні розміру 11-значень шаруючи висоти, що відповідає товщині шаруючи 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

```

Визначення середнього напрямку горизонтального руху радіозонда, кут, куди дує вітер, 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

```

```

%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 '),

```

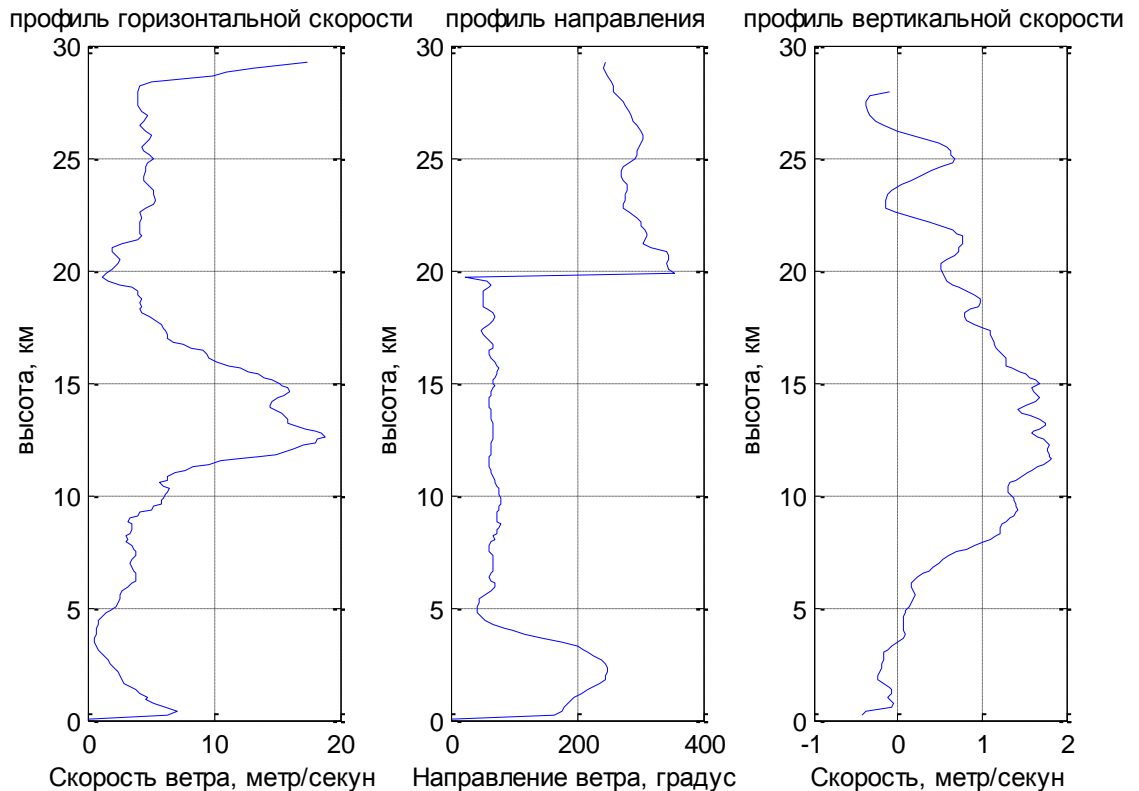


Рис. 3.12. Вертикальний профіль усередненої горизонтальної швидкості, напрямку вітру й вертикальної швидкості підйому радіозонда.

На рис. 3.12 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 до 4000 м) до 1,5 м/сек, потім, при стабільному напрямку, повільно збільшується, досягаючи в середньому 15 м/с на висотах від 1100 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.

2.3. . Побудова розподілу напрямку вітру у вигляді кутової діаграми в полярних координатах.

Побудова кутової діаграми (у полярних координатах), підчитує кількість кутових елементів у кожному інтервалі $\approx 20^\circ$ за назвою - троянда вітрів.

```
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'),
```



Рис.3.13. 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, el) або view([az, el]) -завдання Положення КРАПКИ огляду за допомогою азимута(az) і кута відмінювання (піднесення (el)), 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 '),

```

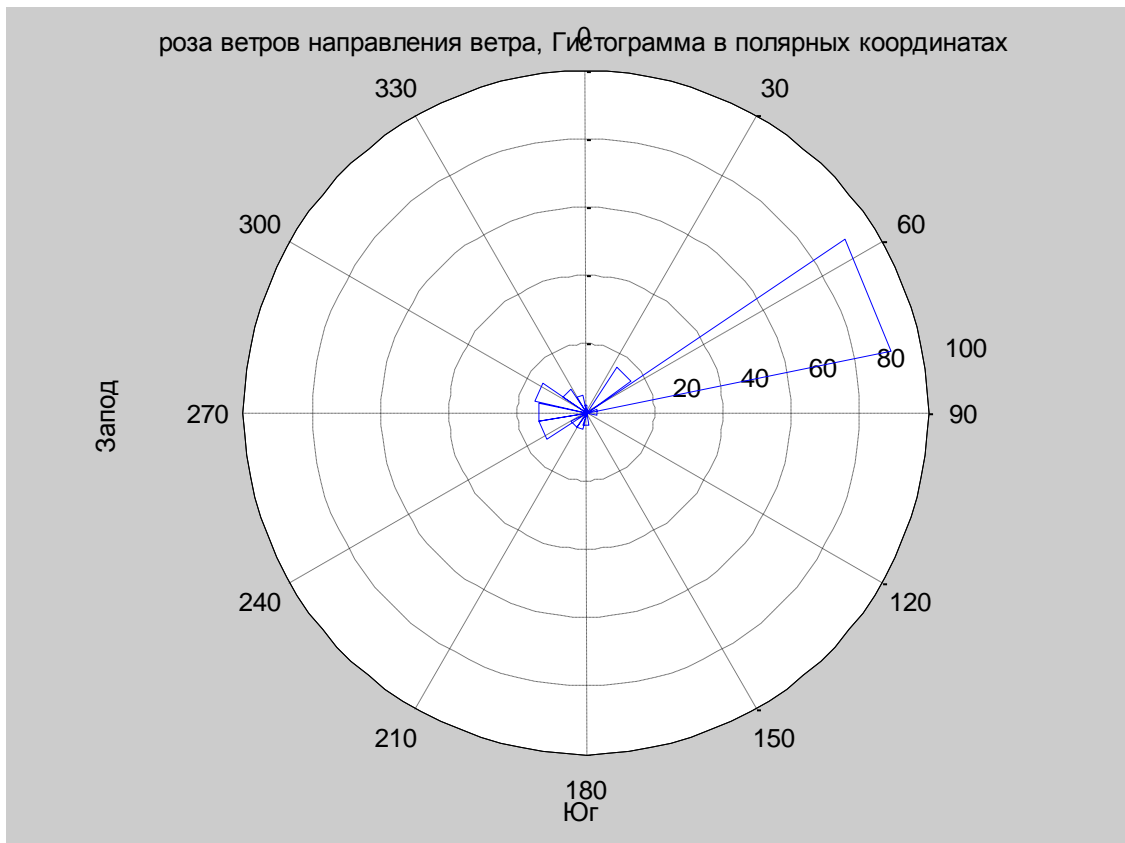


Рис.3.14. Кругова гістограма розподілу напрямку вітру. Центри секторів відповідають румбам.

Побудова в одному вікні із графіка вертикального профілю напрямку горизонтальної складової вітру й кутовий гістограми розподілу напрямку вітру (у полярних координатах), підчитує кількість кутових елементів у кожному інтервалі $\approx 20^\circ$ за назвою - троянда вітрів.

```

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 '),

```

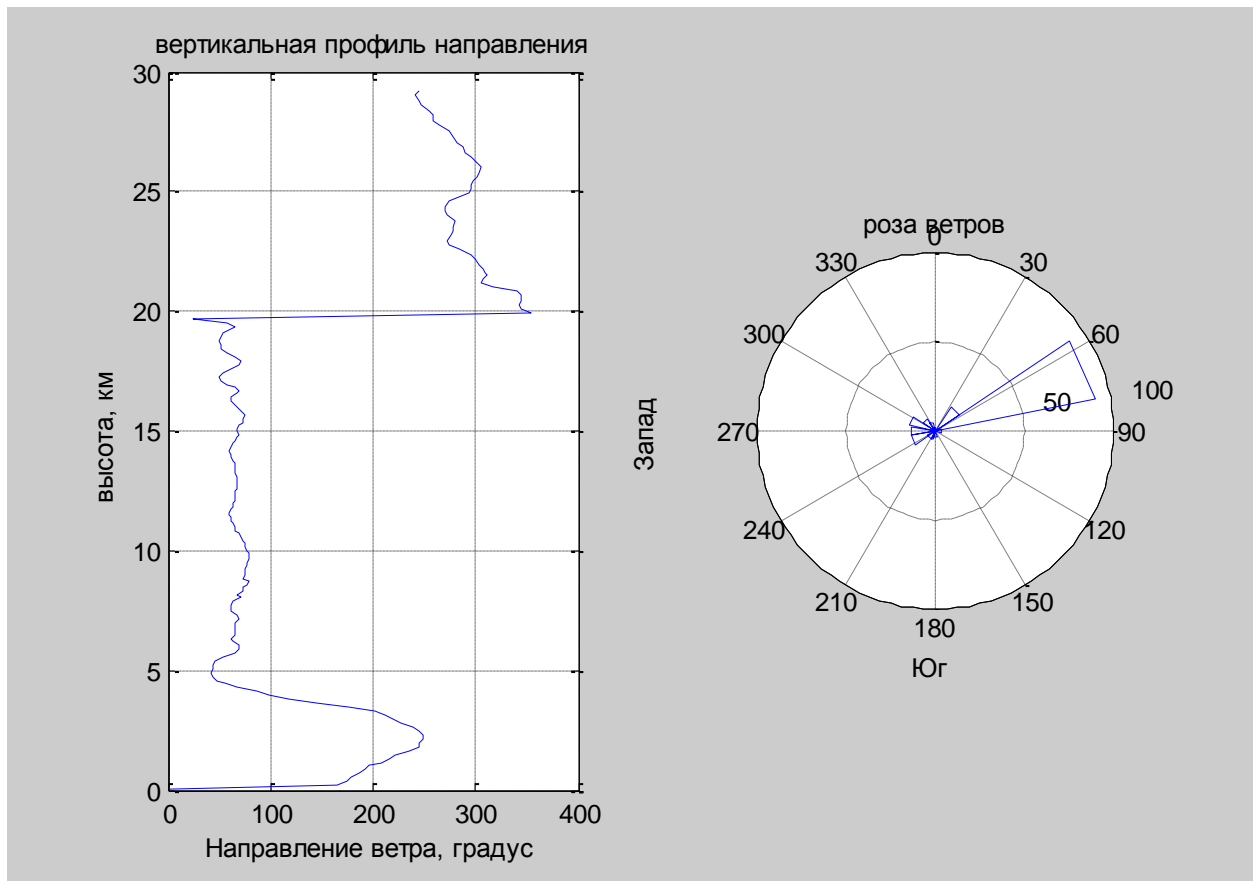


Рис.3.15. Кругова гістограма розподілу напрямку вітру й профіль напрямку вітру по висоті.

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

Побудова кутової діаграми (у полярних координатах), підчитує кількість кутових елементів у кожному інтервалі за назвою - **троянда вітрів**

Заголовок графіка виводиться за допомогою процедури `title`. Якщо після звертання до процедури `plot` викликати `title` у такий спосіб: `title('<текст>')`, то 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`).

s = num2str(A) перетворить числовий масив у символний масив, що представляє числа. Вихідний формат залежить від величин вихідних значень. **num2str** корисно для графіків маркування й створення заголовків із числовими значеннями.

s = num2str(A,precision) повертає символний масив, що представляє числа з максимальною кількістю значних цифр, заданих **precision**.

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(H<h1-dh); %Визначення індексів при яких
значення менше h1-dh
f2=find(H<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);

% Побудова кутової діаграми (у полярних координатах),
% підчитує кількість кутових елементів у кожному
% інтервалі за назвою - троянда вітрів
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(H(f1(end)))) ' '
mat2str(round(H(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(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 ' ] );

Розрахункові дані середньої швидкості й напрямку
вітру в шарі [546 1163] метр W=7.7 м/сек, DW=186 грд

```

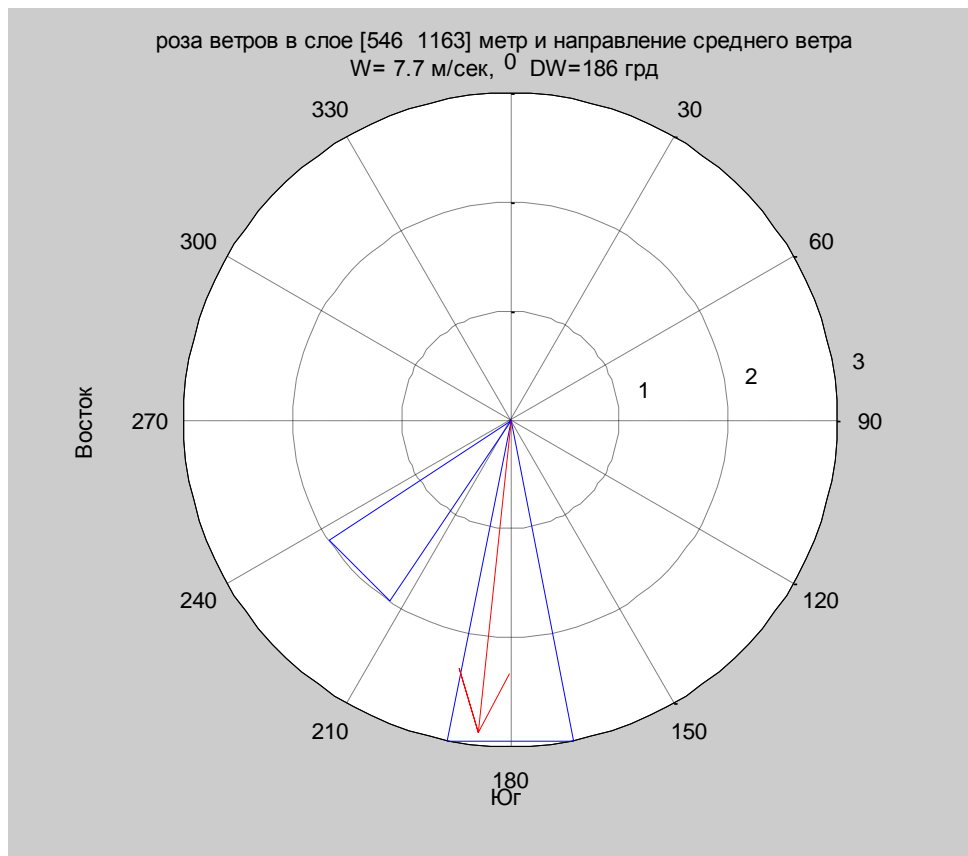


Рис.3.16. Кругова гістограма розподілу напрямку вітру в шарі висоти [546 1163] і значення середнього вітру.

Аналогічні розрахунки можна виконати для висот стандартних ізобаричних поверхонь.

Профіль напрямок вітру по висоті.

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 напрямок вітру по висоті*.

```
figure
polar(DW_men, H/1000, 'b'), set(gca, 'View', [-90
90], 'YDir', 'reverse'), title('профіль напрямок вітру по
висоті'), xlabel('Захід') , ylabel('Південь '), ;
```

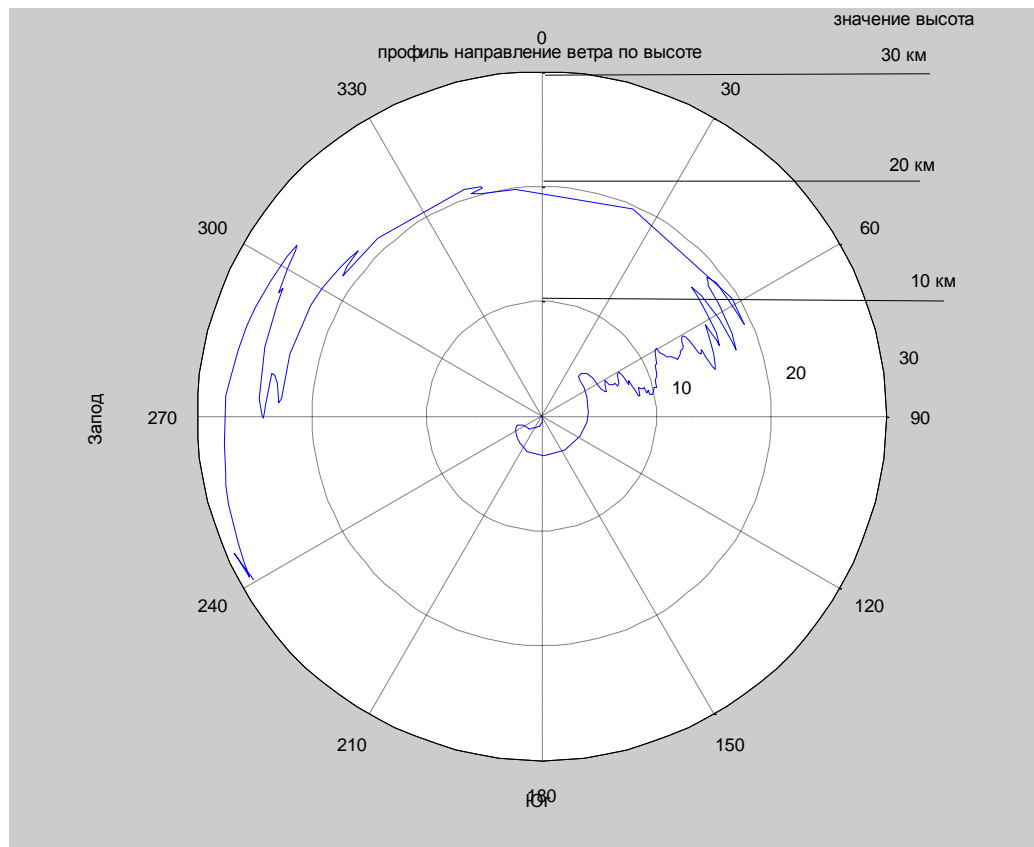



Рис.3.17. Профіль напрямків вітру по висоті.

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

3.1. Просторова візуалізація траєкторії польоту радіозонда.

Просторова візуалізація траєкторії польоту радіозонда побудована по параметричним заданим лініям. `plot3(x,y,z)` - будує масив крапок, представлених векторами x , y и z , з'єднуючи їхніми відрізками прямих.

```
% Візуалізація польоту радіозонда, побудована по
% параметричним заданим ліній, Ly - меридіанна
% складова - y горизонтальної дальності, Lx зональна
% (широтна) - x 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 '),
```

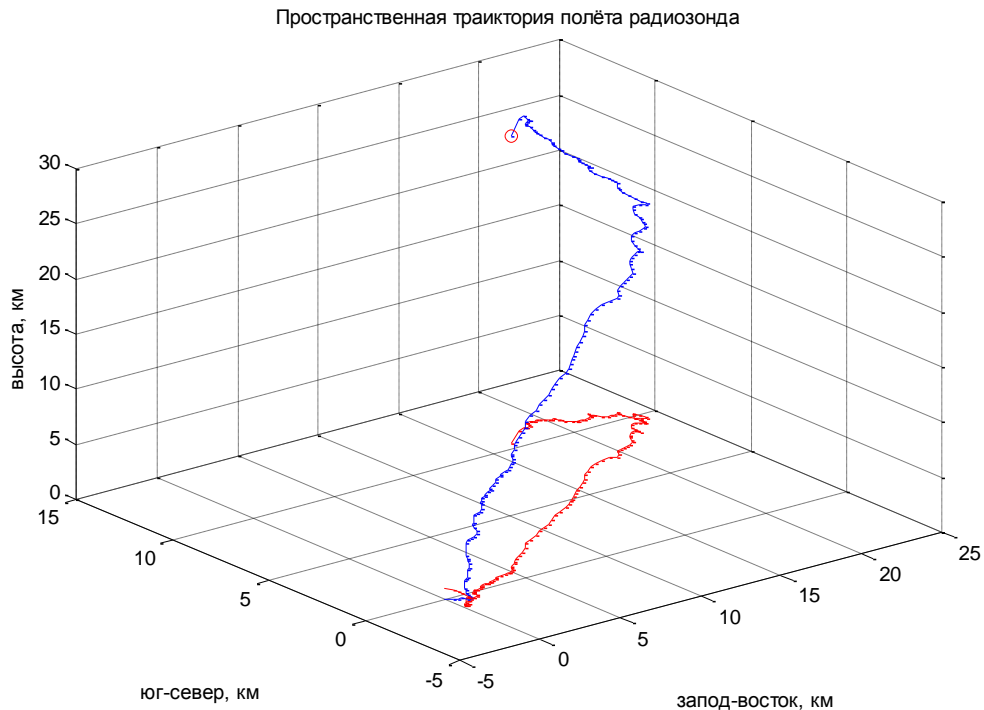


Рис.3.18. Просторова траєкторія польоту радіозонда і його горизонтальна проекція.

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 перетвориться 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.

$F = \text{getframe}(gcf)$ захоплює поточну об'ємну поверховість графіка, коли вони з'являються на екрані у вигляді кадру фільму. 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 зв'язаний
особлива характеристика об'єктів - дескриптор
(описатель) .
%Його можна розуміти як якесь число - своєрідний
ідентифікатор («распознаватель») 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',[]);%Попередн
ьо 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  $F(i)$ . Полноцветного
зображення зберігається в  $F.cdata$ . Воно має розмір  $N \times M \times 3$ .

%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)

```

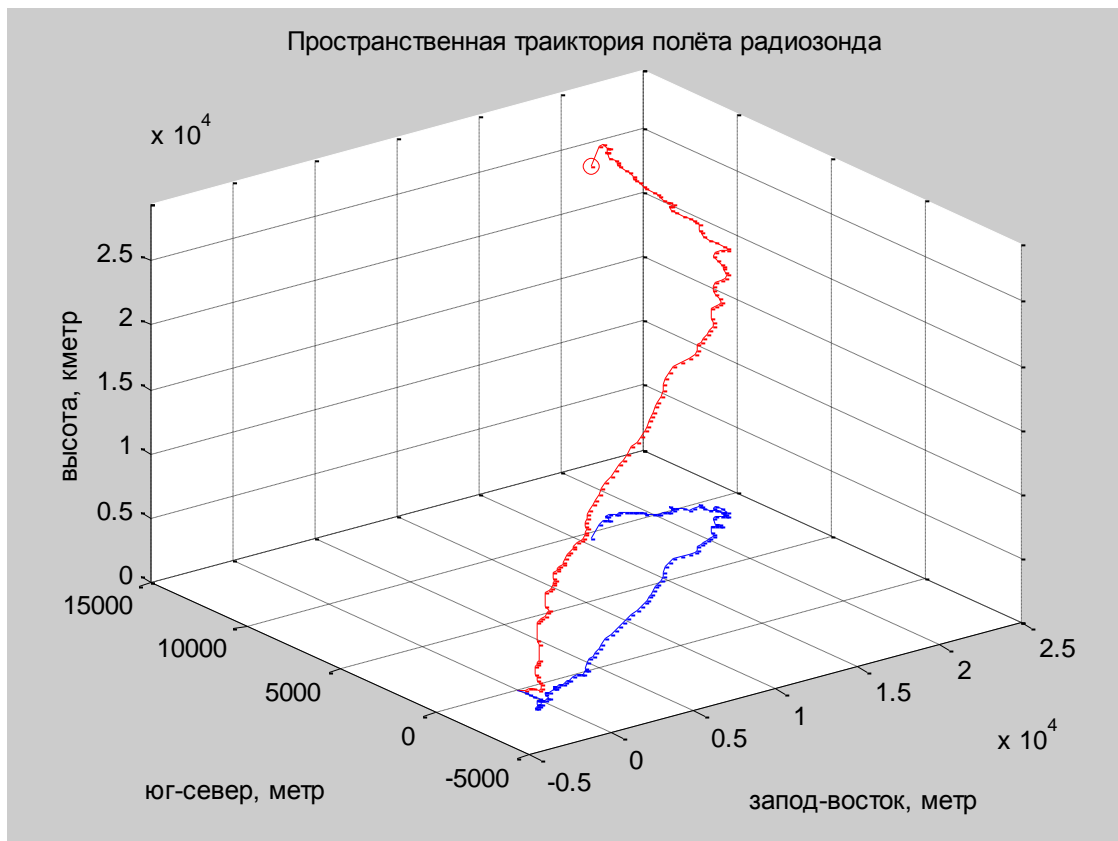


Рис.3.19. Виділений кадр зображення з масиву структур F, просторова траєкторія польоту радіозонда і його горизонтальна проекція.

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 з даною функцією.

```
%Створимо файл ім'я 'polet1', швидкість відображення 5
кадрів/секунда, якість стиску 75%
movie2avi(F, 'polet1', 'fps', 5, 'quality', 75);
```

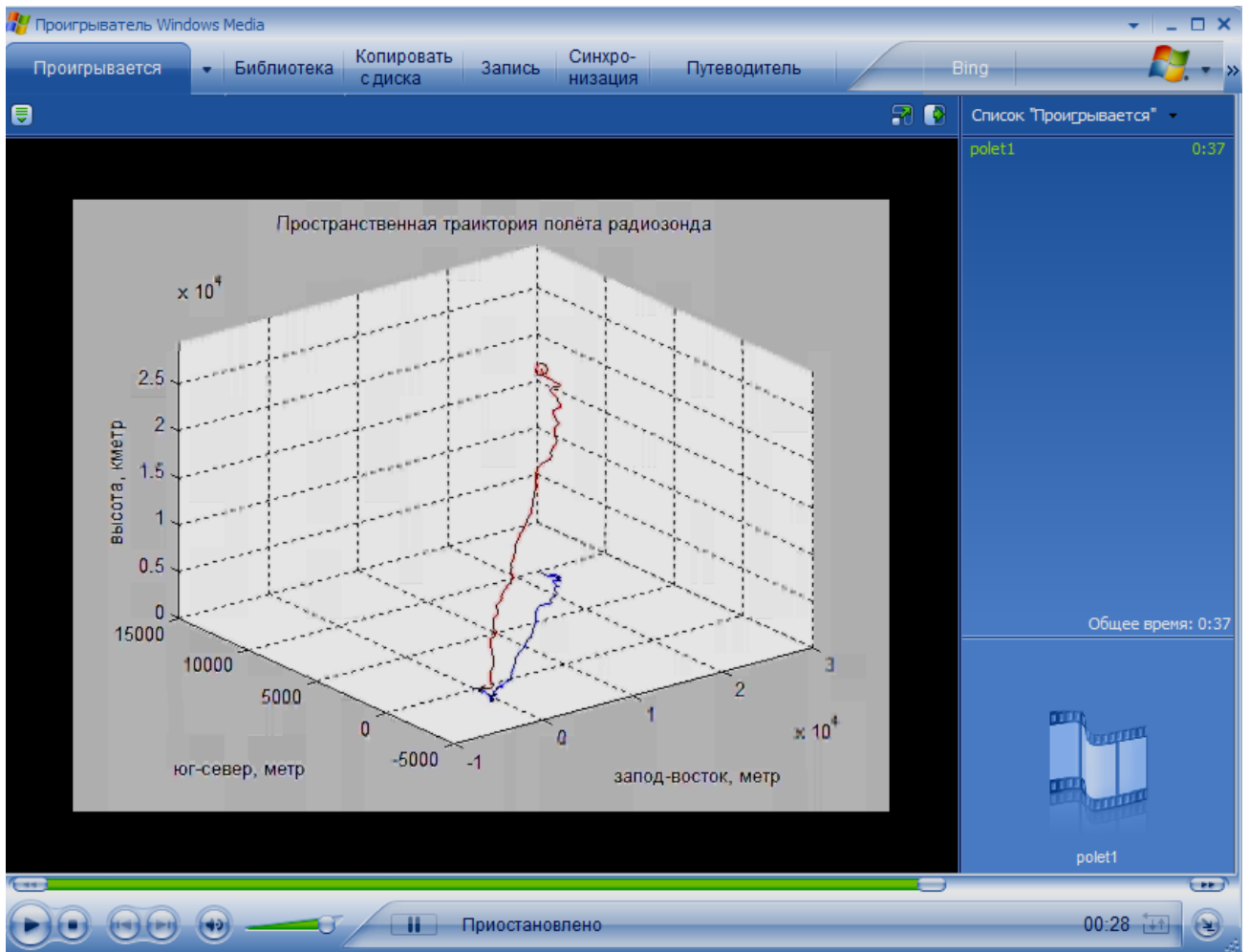


Рис.3.20. Відтворення файлу **avi**, просторова траекторія польоту радіозонда і його горизонтальна проекція.

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.

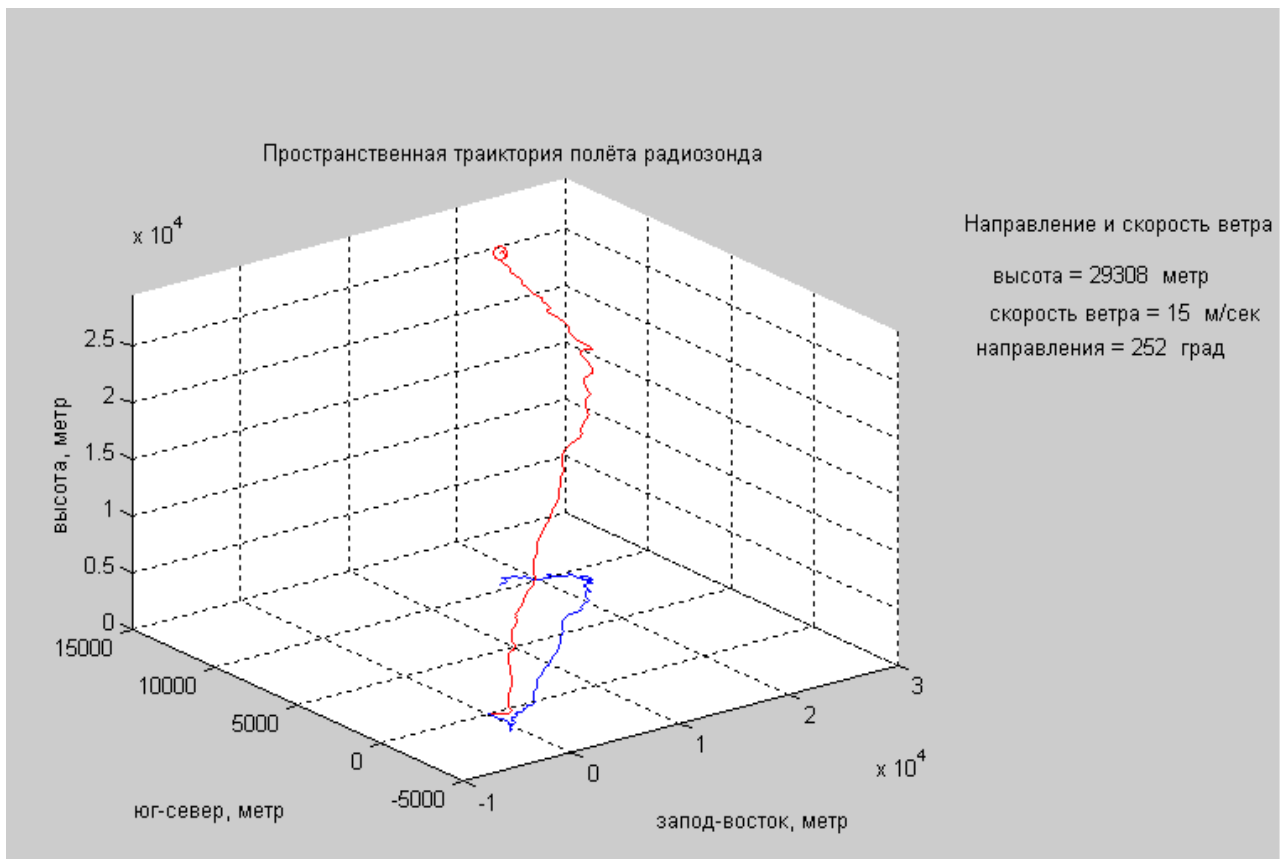


Рис.3.21. Дизайн графического окна имитационной модели.

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.

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:

$$[left\ bottom\ width\ height],$$

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, а **width** й **height** визначають, відповідно, ширину й висоту області вікна.

Одиницями виміру за замовчуванням є піксели.

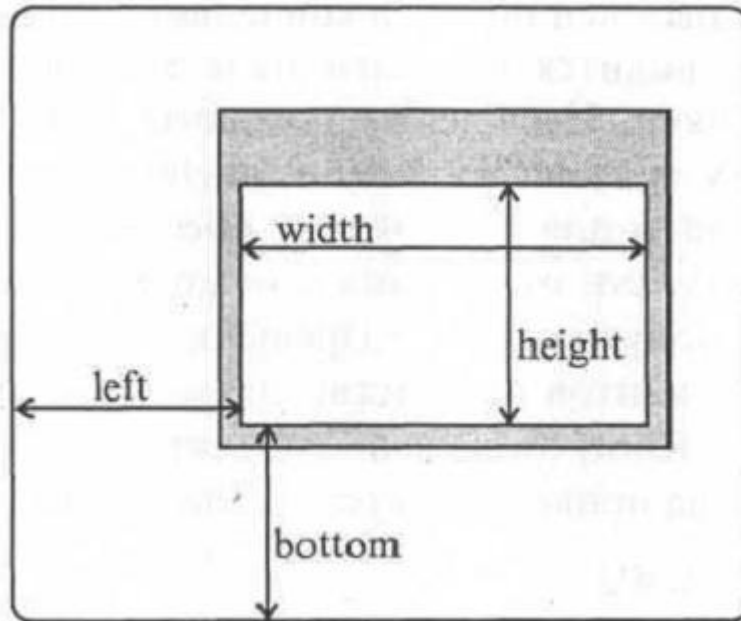


Рис. 3.22. Положення графічного вікна на екрані

Однак для того щоб забезпечити правильну роботу програми поза залежністю від встановленого 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).

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

числа в даному прикладі отримані на моніторі з дозволом 1152 x 864, якщо ваш монітор настроєний на інший режим, то результати можуть відрізнятись.

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 графічному 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, а *width* й *height*, відповідно, визначають ширину й висоту рамки осей (мал. 3.23. для випадку тривимірних осей). 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.

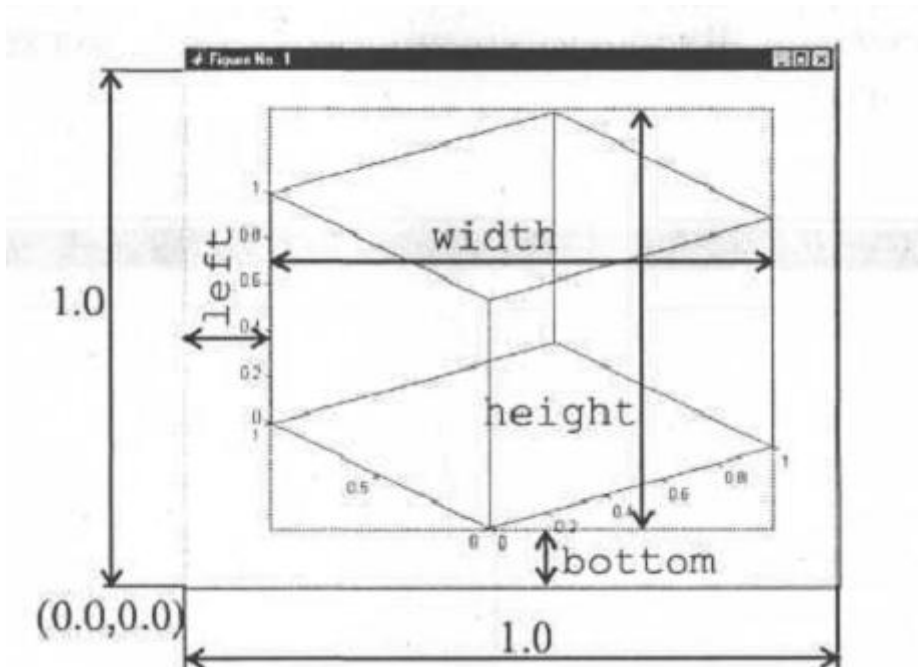


Рис. 3.23. Розташування тривимірних осей у графічному вікні

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: *ActivePositionProperty*, *OuterPosition* й *TightInset*.

Уведення текстової інформації/

Результати, представлені в графічній формі, варто постачити 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 крапці 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*. координат міститься в лівий нижній кут 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 коштує за

замовчуванням). Даний спосіб є найбільш підходящим, якщо потрібно вивести текст поруч із певною крапкою графіка.

У наступній таблиці приводяться деякі поля і їхній опис графічним об'єктом *text*.

units	Одиниці для виміру поля position. Можливі значення [inches centimeters normalized points pixels characters {data}]. За замовчуванням поле units має значення data, що означає що поле position визначає положення тексту на екрані в одиницях, нанесених на осях координат.
position	Задає положення тексту в графічному вікні в одиницях, певних полем units. Поле задається вектором-рядком із трьох чисел [x y z]. Якщо графік двовимірний, координата z=0. Наприклад, set(ht,'position',[1 0.5 0]);.

Створимо імітаційна модель просторової візуалізації польоту радіозонда з відображенням параметрів вітру.

```
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 пікселах
    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 крапці з 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,'polet2','fps',5,'quality',75);

% Виділення кадру зображення з масиву структур
figure, imshow(F1(end-1).cdata)

```

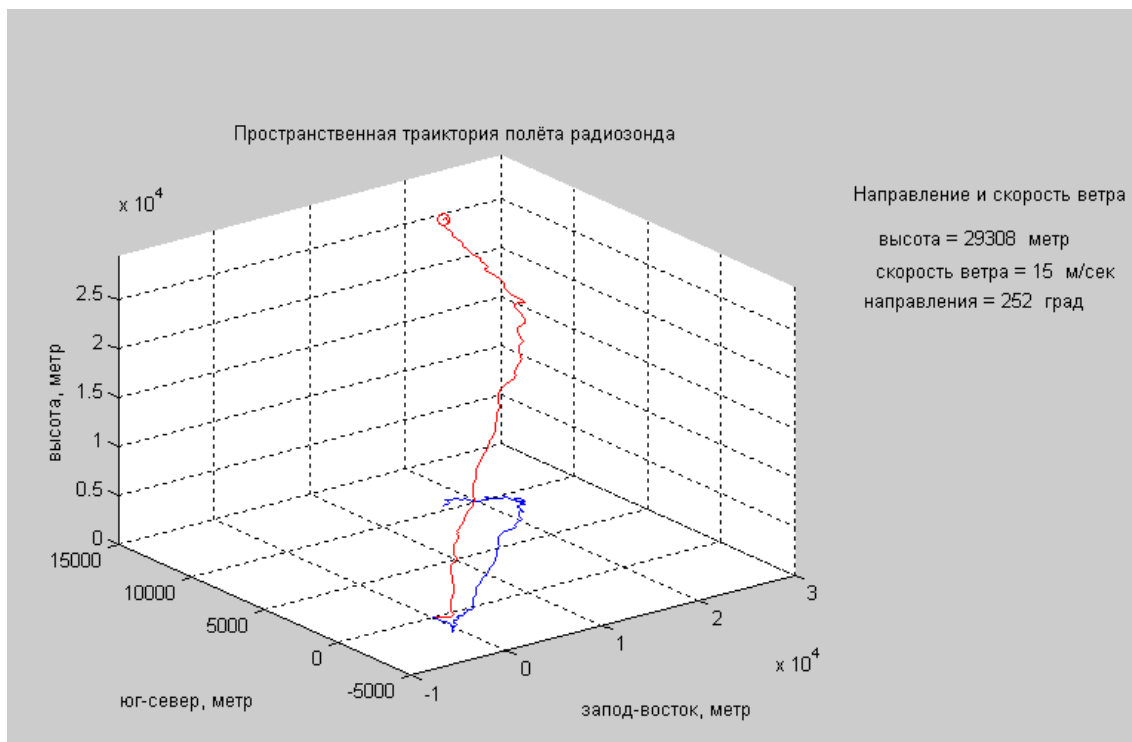


Рис.3.24. Виділений кадр зображення з масиву структур F1, просторова траекторія польоту радіозонда, його горизонтальна проекція й параметри вітру.

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').
```

Примітка: лістинг Matlab відображені у шрифті Courier New.

Питання для самоконтролю

- 1 Визначення горизонтальної швидкості рухові радіозонда.
- 2 Як візуалізувати просторову траєкторію польоту радіозонда в полярних координатах
- 3 Як будується кутова діаграма напрямку вітра в полярних координатах
- 4 . Як візуалізувати просторову траєкторію польоту радіозонда в трьох мірному просторі.
- 5 Як будується графік із двома осями в Matlab.
- 6 Оформлення графіків, додавання написів на осях, додавання заголовка графіка в Matlab.
- 7 Як виводяться кілька графіків на одній осі в Matlab.
- 8 Визначення лінійної інтерполяція при обчисленні проміжного значення функції по двох крапках.

Опис приладів, устаткування та інструментів, які використовуються при виконанні лабораторної роботи:

2. Персональний комп'ютер.
3. Радіозонд МАРЗ
4. Програмне забезпечення Matlab.

Забороняється:

1. Проводити вимірювання струмів і напруг лабораторної установки з несправними приладами.
2. Використовувати для вимірювань нестандартні прилади.
3. Працювати з увімкненими приладами без діелектричних ковриків.
4. Проводити вимірювання в лабораторній установці без діючої системи захисту, яка забезпечує безпеку шляхом автоматичного вимкнення ланцюгів електроживлення.

Порядок проведення лабораторної роботи

1. Перед виконанням практичної роботи проводиться усне опитування теоретичного матеріалу та визначення мети лабораторної роботи.
2. Викладачем проводиться інструктаж з техніки безпеки. Після чого студент розписується в журналі з „Техніки безпеки”.
3. Якщо студент одержавши незадовільну оцінку з теоретичного матеріалу, те до виконання лабораторної роботи він не допускається.
4. Кожен студент виконує практичну роботу індивідуально.

Методика виконання практичної роботи.

Сходні дані.

Файли первинних даних радіо зондування атмосфери для розрахунків метеорологічних величин і побудови графіків вертикального профілю метеорологічних параметрів.

Варіант	Первинні дані радіо зондування	Ф.И.О
1	Первич дані_1.txt	
2	Первич дані_2.txt	
3	Первич дані_3.txt	
4	Первич дані_4.txt	
5	Первич дані_5.txt	
6	Первич дані_6.txt	

Зміст звіту практичної роботи.

- На підставі первинних даних привести розрахунок вертикальну швидкість підйому радіозонда. Побудувати графік вертикальної швидкості від висоти й вертикально часовий профіль підйому радіозонда.
- На підставі первинних даних привести розрахунок висоти кута місця й азимута, побудувати графіки горизонтальної проекції польоту радіозонда.
- Розрахувати квадратурні складові швидкості вітру. Розрахувати значення горизонтальної швидкості вітру.
- Обчислення траєкторії польоту кулі-пілота та просторова візуалізація польоту кулі-пілота.
- Обчислення профіль напрямом вітру по висоті полярних координатах.
- Програмувати імітаційну модель просторової візуалізації польоту радіозонда з відображенням параметрів вітру

Порядок оформлення звіту та його представлення й захист.

Результати проведеної практичної роботи оформлюються протоколом. Він повинен містити такі дані:

- 1) тема практичної роботи;
- 2) позначка практичної роботи;
- 3) короткі теоретичні відомості;
- 4) розрахунок та візуалізація результатів досліджень;
- 5) висновки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лімонов О.С., Перелигін Б. В., Пустовіт Т.М., Дяченко К.О. Інтелектуальні системи моніторингу навколишнього середовища: Конспект лекцій. –Одеса, 2016. - 180с..
2. Лімонов О.С., Пустовіт Т.М., Дяченко К.О. Інтегровані системи моніторингу навколишнього середовища: Конспект лекцій. –Одеса, 2016. - 62с.
3. Вельміскін Д.І. Автоматичні системи метеорологічних вимірювань: Конспект лекцій. - Одеса: ТЕС, 2010. – 82с.
4. Перелигін Б.В. С.Д. Кузніченко С.Д. Методи і засоби обробки моніторингової інформації: Навчальний посібник. –Одеса, 2016. - 222с.
5. 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», рівень вищої освіти бакалавр./Гор'єв С.А.– Одеса, ОДЕКУ, 2020
6. Потёмкин В.Г. Система инженерных и научных расчётов MATLAB 5.X. В 2-х томах. – М: Логос, 2000. – 364 и 303 с.

ЗБІРНИК МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК
до лабораторних робіт з навчальної дисципліни
„Інтелектуальні системи моніторингу навколишнього середовища”
для студентів денної та заочної форми навчання
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

Укладач: Гор'єв Сергій Адольфович.

Підп. до друку

Формат

Папір

Умовн. друк. арк.

Тираж

Зам. №

Надруковано з готового оригінал-макета

Одеський державний екологічний університет
65015, Одеса, вул. Львівська, 15
