МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра Автоматизованих систем моніторингу навколишнього середовища

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Застосування системи комп'ютерної математики для розрахунку та візуалізації температури, відносної вологості та тиску атмосфери при радіозондуванні

Виконав студент 2 курсу групи МАГ- 18
спеціальності 103 Науки про Землю
Бондаренко Олексій Миколайович

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

Консультант _____

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

Одеса 2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут, факультет Гідрометеорологічний інститут
Кафедра Автоматизованих систем моніторингу навколишнього середовища
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 103 Науки про Землю
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри_____
_____
“ 28 ” жовтня 2019 року

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

Бондаренко Олексій Миколайович
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи Застосування системи комп’ютерної математики для розрахунку та візуалізації температури, відносної вологості та тиску атмосфери при радіозондуванні

керівник роботи Гор’єв Сергій Адольфович к.т.н., доцент,
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від“ 18 ” жовтня 2019р. №235 «С»
2. Строк подання студентом роботи 10.12.2019р.
3. Вихідні дані до роботи: поляризація радіолокаційного сигналу відбитого від гідрометеорів містить інформацію про вид цих метеооб'єктів. Використовується допплерівський метод радіолокації, радіолокатор малої дальності сантиметрового діапазону.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Поляризаційні параметри електромагнітних хвиль; форма, орієнтація і рух гідрометеорів; поляризаційні характеристики метеорологічних радіолокаційних цілей; фізична інтерпретація поляризаційних характеристик метеооб'єктів; поляризаційна інформація в оперативному режимі роботи допплерівського метеорологічного радіолокатора; класифікація гідрометеорів за даними поляриметричного допплерівського метеорологічного радіолокатора; мікрофізичні характеристики снігу за даними вимірювань на двох поляризаціях; калібрування двухполярізаційного допплерівського метеорологічного радіолокатора; структурна схема допплерівського метеорологічного радіолокатора з поляризаційною селекцією гідрометеорів

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень)
Поляризація та її види; поширення поляризованої хвилі в просторі; орієнтація та рух гідрометеорів; види поляризації в залежності від гідрометеорів; метод диференційної відбиваності; застосування поляризаційних вимірювань та режими роботи; принцип побудови радіолокаційних поляриметрів; функціональна схема поляризаційного вимірювального комплексу.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _28 жовтня 2019р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Отримання завдання на магістерської роботи			
2	Вивчення літератури за темою магістерської роботи			
3	Вивчення радіолокаційних властивостей гідрометеоріов			
4	Написання першого розділу магістерської роботи			
5	Написання другого розділу магістерської роботи			
6	Рубіжна атестація			
7	Аналіз можливих структур метеорадіолокатора з поляриметром			
8	Написання третього розділу магістерської роботи			
9	Складання висновків по розділам і магістерської роботи			
10	Здача магістерської роботи керівнику			
11	Перевірка на плагіат			
12	Рецензування			
13	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня за етапами)			

Студент _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Представлена робота Бондаренка Олексія Миколайовича на тему «Застосування системи комп'ютерної математики для розрахунку та візуалізації температури, відносної вологості та тиску атмосфери при радіозондуванні».

Мета магістерської роботи – Показати розрахунок та візуалізацію температури, відносної вологості та тиску атмосфери при радіозондуванні і за допомогою аерологічної діаграми і математики вивести дані на комп'ютер.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішення наступних завдань:

- розглянути загальну структуру метеорологічних систем;
- встановити особливості вимірювання метеовеличин системами зондування атмосфери;
- провести аналіз первинних даних метеорологічної інформації ;
- побудувати аерологічні діаграми;

У своїй магістерській роботі я розглядав метеорологічні результати вимірювань, які виконуються за допомогою різних вимірювальних систем наземного і космічного базування. В даний час ефективність метеорологічного забезпечення багато в чому залежить від ступеня оснащення сучасним метеорологічним обладнанням і засобами автоматизації.

Магістерська робота містить: 64 с., рис. 22, табл. 3, додатки 1, використаних літературних джерел 26.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Радіозонд, тиск, температура, клімат, вологість, аерологічна станція, всесвітня метеорологічна організація .

SUMMARY

The work of Alexei Bondarenko on Application of the system of computer mathematics is for a calculation and visualization of temperature, relative humidity and pressure of atmosphere at radiosounding

The purpose of the master's thesis is to show the calculation and visualization of temperature, relative humidity and atmospheric pressure during radio sounding and to output data to a computer using aerological diagram and mathematics.

To achieve this goal, you need to solve the following problems:

1. The accuracy of measurements and the quality of aerological sounding data are still far behind the leading positions and promising WMO requirements.

New state-of-the-art temperature and humidity sensors need to be introduced, as well as software for radio sensing data processing based on metrological characteristics of radio probes and specific measurement conditions.

2. Organize aeronautical equipment maintenance.

3. Replace obsolete PCs at aeronautical stations, which are no longer available and cannot be supplied with up-to-date software.

4. To bring into compliance with modern social requirements the working conditions at the aerological stations. AVG-45 gas generators should be replaced at least for the extraction of hydrogen by modern electrolysis plants.

In my master's thesis, I considered meteorological results of measurements performed with the help of various ground and space based measurement systems. Currently, the effectiveness of meteorological support depends largely on the degree of equipment of modern meteorological equipment and automation.

The master's thesis contains: 64 pages, fig. 22, table. 3, Annex 1, used literature sources 26.

KEY WORDS: Radiosonde, pressure, temperature, climate, humidity, air station, World Meteorological Organization.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ……..7
ВСТУП……8
1 ЗАГАЛЬНА СТРУКТУРА МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ……..….10
1.1 Глобальна система спостережень……...…..10
1.1.1 Глобальна служба атмосфери ВМО…….…….17
1.1.2 Глобальна система спостережень за кліматом.....……...18
1.1.3 Програма по гідрології та водних ресурсів…….……..18
1.2 Радіозондування атмосфери……..19
2 ВИМІРЮВАННЯ МЕТЕОВЕЛИЧИН СИСТЕМАМИ ЗОНДУВАННЯ АТМОСФЕРИ……28
2.1 Особливості вимірювань метеорологічних величин у вільній атмосфері……....28
2.2 Вимірювальні перетворювачі температури в системах радіозондування…….30
2.3 Методи вимірювання та перетворювачі вологості в системах зондування атмосфери……..32
3 АНАЛІЗ ПЕРВИННИХ ДАНИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ. ПОБУДОВА АЕРОЛОГІЧНИХ ДІАГРАМ…….....34
3.1 Зчитування вихідних первинних даних радіозондування за даними ГМ ЧАМ……..34
3.2 Зв'язок сферичних і прямокутних координат……35
3.3 Вертикальна швидкість підйому кулі-пілота……...38
3.4 Відображення температури і відносної вологості результатів радіозондування…….……40
3.5 Оцінка градієнта температури по висоті. Тропопауза…….42
3.6 Визначення тиску на висоті і зв'язок висоти і тиску. Барометрична формула……..45

3.7 Барометричний нівелювання. Визначення метеорологічних параметрів на ізобаричних поверхнях……....49
ВИСНОВКИ…….56
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ……...58
Додаток А. Графічна частина магістерської роботи……60

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ВСП - Всесвітня служба погоди

АМС - автоматична метеорологічна станція

ВМО - Всесвітня метеорологічна організація

ГСС - Глобальна система спостережень

ГСТ - Глобальна система телезв'язку

ГСНК - Глобальна система спостереження за кліматом

АІВС - Автоматична інформаційно-вимірювальна система

БПЗ - Базове програмне забезпечення

СПЗ - Спеціальне програмне забезпечення

АМАС - автоматизована метеорологічна станція аеродромна

ВСТУП

Аерологія — наука про процеси у вільній атмосфері, та методи її вивчення, частина метеорології. Аерологія виділилась в окремий розділ метеорології завдяки появі літальних апаратів, а також розвитку радіозв'язку і вимірювальної техніки. Для встановлення об'єктивних закономірностей, що відбуваються у вільній атмосфері, необхідної дослідження. Основним методом аерологічних досліджень є зондування, тобто вимір різних метеорологічних величин за допомогою піднімаються в атмосферу приладів. Це вимірювання швидкості і напряму вітру, тиску, температури, вологості та інших фізичних величин, а також газового і аерозольного складу повітря. Предметом вивчення аерології є методи отримання інформації про стан вільної атмосфери. Під вільною атмосферою розуміється та частина атмосфери, яка розташовується вище прикордонного шару (шару тертя), тобто шару атмосфери, на який не поширюється безпосередній вплив поверхні землі.

Радіозонд - метеорологічний пристрій (зонд, оснащений радіоапаратурою) для вимірювання тиску, температури й вологості верхніх шарів атмосфери і передачі результатів цих вимірювань по радіо. Метеорологічні величини (температура повітря, тиск, вологість) при радіозондування вимірюються за допомогою чутливих елементів або датчиків, а швидкість і напрям вітру на різних висотах визначаються по координатам радіозонда, які отримують, спостерігаючи за ним у оптичний теодоліт або супроводжуючи його за допомогою радіотеодоліта або радіолокатора .

Вимоги, що пред'являються до аерологічної інформації. Сукупність відомостей про стан атмосфери і підстильної поверхні (називається метеорологічною інформацією). Від обсягу, якості та своєчасності надходження первинної метеорологічної інформації в значній мірі залежить

ефективність її використання споживачами, зокрема, і успішність прогнозу атмосферних процесів.

Основним споживачем первинної метеорологічної інформації є служба погоди. Найважливішою характеристикою первинної метеорологічної інформації є точність її вимірювання. Вимоги до точності диктують вимоги до вимірювальних систем, що використовуються для проведення метеорологічних вимірювань. Велике значення мають також вимоги до розв'язання в просторі і часі (періодичності) інформації, що надходить. Підставою для формування конкретних вимог є оцінка втрат і переваг, пов'язаних з використанням інформації, що має різну ступінь дозволу і точності. У завданнях прогнозу погоди ці вимоги обумовлені також конкретною реалізацією чисельних моделей циркуляції атмосфери [1].

1ЗАГАЛЬНА СТРУКТУРА МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

1.1Глобальна система спостережень

Метеорологічні системи Всесвітньої служби погоди Щоб аналізувати, прогнозувати погоду і попереджати про неї, сучасна метеорологія повинна практично миттєво обмінюватися метеорологічною інформацією по всій земній кулі. Всесвітня служба погоди (ВСП), яка є ядром Програм ВМО, об'єднує системи спостереження, засоби електрозв'язку і центри обробки даних і прогнозування, експлуатовані 187 державами-членами, для того щоб надавати метеорологічну і пов'язану з нею геофізичну інформацію, необхідну для надання кваліфікованих послуг всім країнам.

ВМО координує і контролює роботу Всесвітньої служби погоди, прагнучи забезпечити, щоб кожна країна мала всю інформацію, необхідну їй для щоденного надання метеорологічних послуг (аналіз, попередження і прогнози), а також для здійснення довгострокового планування і проведення наукових досліджень. Дедалі важливішу частину Програми ВСП становить підтримка міжнародних програм, пов'язаних з глобальним кліматом, зокрема зі зміною клімату та іншими проблемами екології, а також зі стійким розвитком (рис. 1.1).

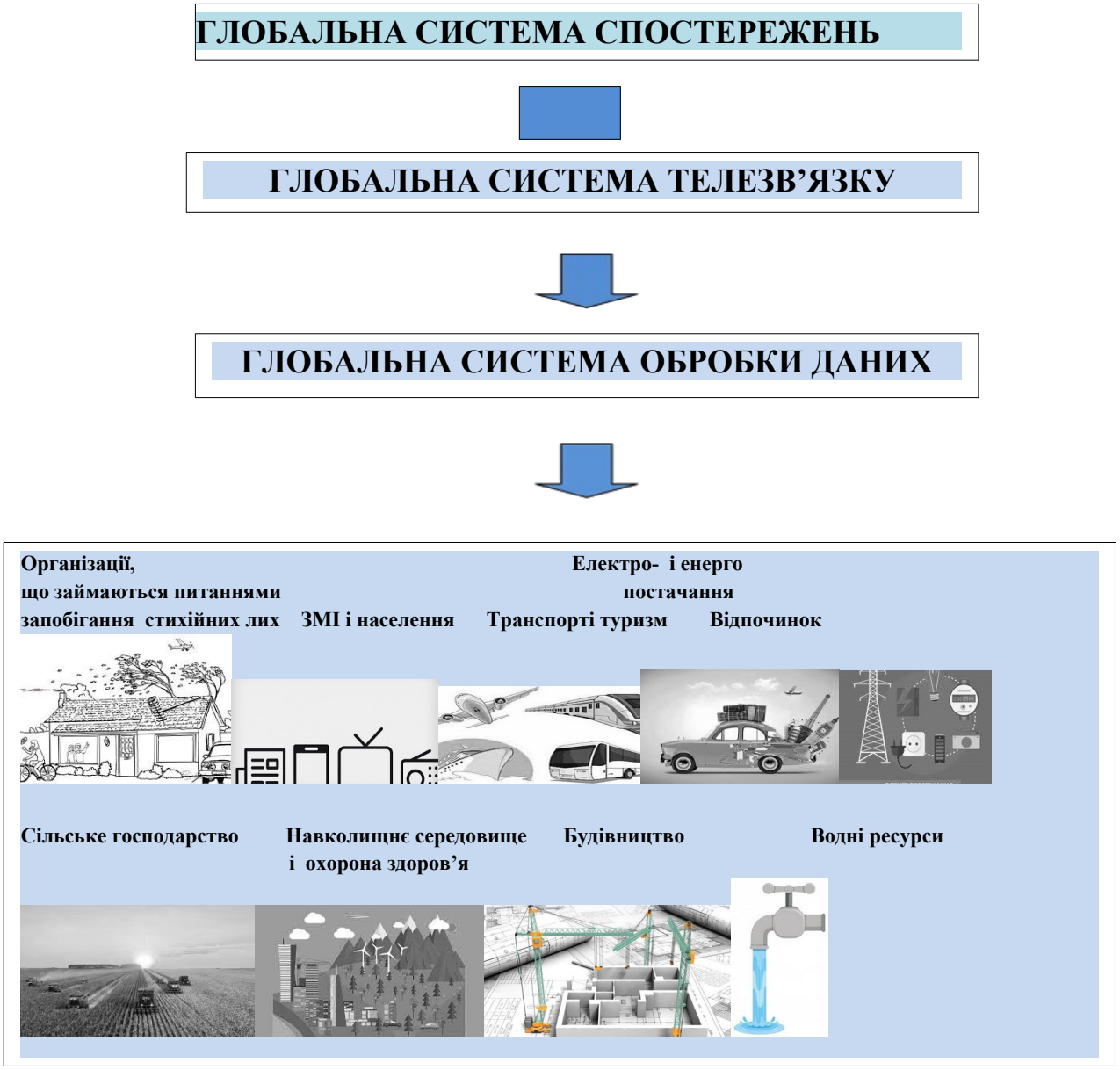


Рисунок1.1 -Система Всесвітньої служби погоди

Глобальна система спостережень (ДБН) забезпечує високоякісні стандартизовані спостереження за атмосферою і поверхнею океану з усіх частин земної кулі і з космосу.

Глобальна система телезв'язку (ГСТ) забезпечує обмін даними метеорологічних спостережень в режимі реального часу, обробленими

продуктами і пов'язаної з ними інформацією між національними метеорологічними та гідрологічними службами.

Глобальна система обробки даних і прогнозування надає оброблені метеорологічні продукти (аналіз, попередження і прогнози), вироблені мережею світових метеорологічних центрів і спеціалізованих регіональних метеорологічних центрів.

Глобальна система спостережень (ДБН) є основним джерелом технічної інформації про світової атмосфері і являє собою комбіновану систему, що складається з складних методів, способів і засобів для вимірювання метеорологічних і екологічних параметрів. ДБН забезпечує, щоб кожна країна мала доступ до важливої інформації, необхідної для щоденної підготовки аналізів погоди, прогнозів і попереджень. Як показано на рис. 1.2 ДБН складається з станцій спостереження, розташованих на суші, на морі, на повітряних судах і на метеорологічних супутниках.

До найбільш очевидних переваг ДБН відносяться захист життів і власності людей шляхом виявлення, прогнозування та попередження про таких суворих погодних явищах, як шторми, торнадо, урагани, тропічні циклони. ДБН надає, зокрема, дані спостережень для агрометеорології, авіаційної метеорології і кліматологи, в тому числі для досліджень в області кліматичних і глобальних змін.

Дані ДБН використовуються також для повсюдної підтримки програм в галузі навколишнього середовища.

Велику користь прогнози погоди приносять таким різним видам діяльності, як ведення сільського господарства, транспорт, будівництво, надання метеорологічних послуг населенню, а також туризм,причому такі прогнози охоплюють період від кількох днів до кількох тижнів і навіть сезонів.

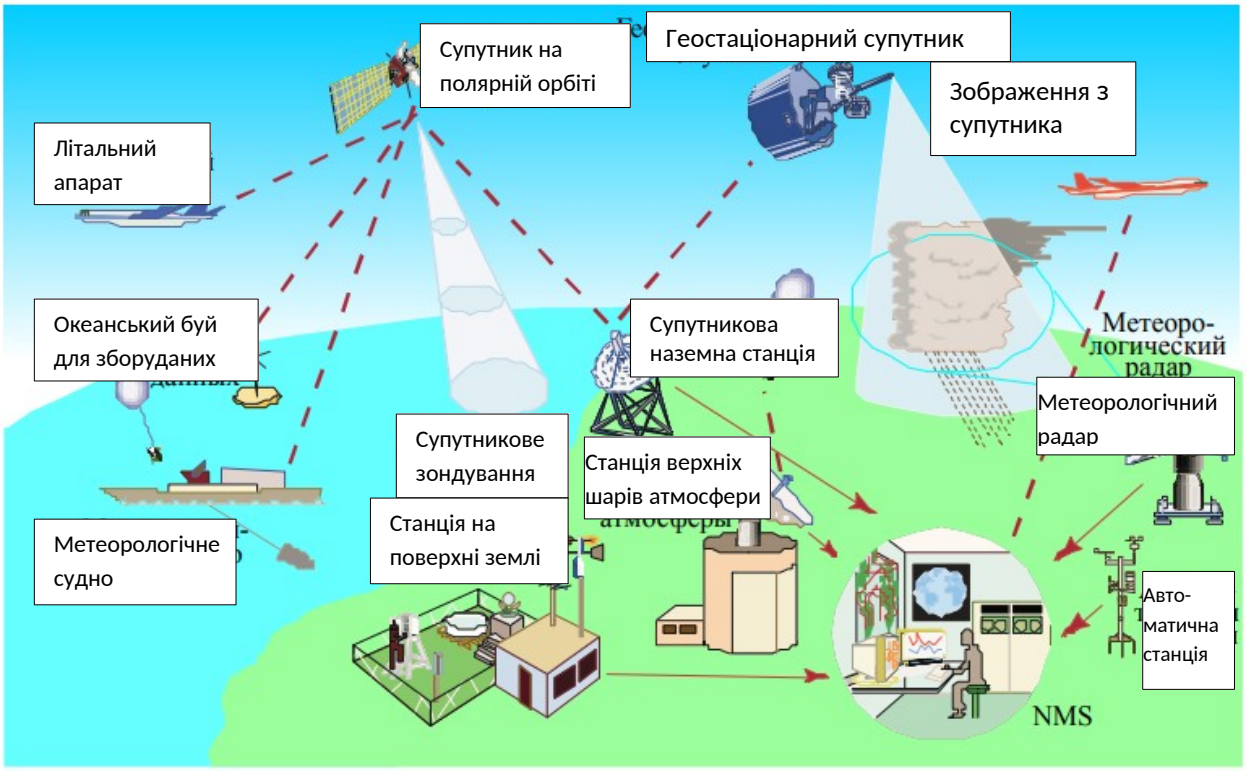


Рисунок1.2-Глобальна система спостережень (ДБН) ВМ

Приземне спостереження.

Основу наземної системи як і раніше становлять приблизно 10 000 наземних станцій, здійснюють спостереження на поверхні Землі або поблизу від неї. Спостереження здійснюються кожні 1-3 години по таким метеорологічним параметрам, як атмосферний тиск, швидкість і напрямок вітру, температура повітря і відносна вологість. Обмін даними цих станцій виробляється на глобальному рівні в режимі реального часу. Підгрупа даних спостереження з цих наземних станцій використовується також в приземної мережі Глобальної системи спостережень за кліматом (ГСНК).

Аерологічної спостереження.

З приблизно 900 аерологічних станцій, наявних у всьому світі і забезпечують приблизно 800 000 щорічних запусків, радіозонди, прикріплені до вільно піднімається кулях, роблять виміри тиску, швидкості вітру, температури і вологості на висоті, починаючи від безпосередній близькості від поверхні і вище, аж до 30 км.

У районах океану, спостереження з використанням радіозондів проводяться 15 судами,обладнаними автоматизованими бортовими засобами аерологічної зондування і курсують, в основному, в районі Північної Атлантики. Підгрупа аерологічних станцій, спеціально обладнаних для моніторингу клімату, включає аерологічну мережу ГСНК.

Радіолокаційні спостереження.

Метеорологічні радіолокатори і радіолокатори вимірювання профілю вітру виявляються досить цінними при наданні даних з високою роздільною здатністю як у просторі, так і в часі, особливо в нижніх шарах атмосфери. Метеорологічні радіолокатори широко використовуються як частина національних і, все частіше, регіональних мереж, головним чином, для короткострокового прогнозування суворих погодних явищ. Метеорологічні радіолокатори особливо корисні для оцінки кількості атмосферних опадів і, коли дозволяє доплеровській радіолокатор, вимірювань вітру. Радіолокатори вимірювання профілю вітру корисні, головним чином, при здійсненні спостережень між зондування з використанням куль і володіють великим потенціалом, будучи частиною інтегрованих мереж спостереження.

Наглядові станції на морі.

В умовах океану ДБН використовує суда, заякоренні і дрейфуючі буї, а також стаціонарні платформи. Спостереження, зроблені з використанням порядку 7000 суден, найнятих в рамках програми судів добровільного спостереження ВМО, дозволяють зібрати ті ж дані, що і наземні станції з важливими додатковими елементами, що стосуються температури поверхні моря, а також висоти та періоду хвиль. Оперативна програма дрейфуючих буїв включає 900 дрейфуючих буїв, щодня надають 12 000 повідомлень з інформацією про температури поверхні моря і атмосферного тиску повітря на поверхні.

Крім того, під егідою МОК ЮНЕСКО і у співпраці з ВМО були створені системи попереджень про цунамі в Тихому та Індійському океанах, що належать державам-членам і експлуатовані ними. Такі ж системи

планується створити і в інших морських районах. ці системи включають мережу датчиків вимірювання в режимі реального часу стану поверхні і великих глибин моря з метою виявлення, моніторингу цунамі і попередження про них.

Спостереження з повітряних суден.

Понад 3000 повітряних суден надають під час польоту дані про атмосферний тиск, вітри і температури повітря. Система передачі метеорологічних даних з літака (АМДАР) дозволяє здійснювати високоякісні спостереження вітрів і температури повітря на крейсерській висоті польоту, а також на обраних висотах при зльоті та посадці.

В останні роки обсяг даних з повітряних суден різко збільшився і становить приблизно 300 000 повідомлень щодня.

Ці системи мають великий потенціал для вимірювань в місцях, де є малоданих з радіозондів або вони взагалі відсутні. Вони стали значним внеском в аерологічний компонент ДБН.

Спостереження з супутників

Космічна складова Глобальної системи спостережень за станом навколишнього середовища і атмосфери включає угруповання супутників.

Перелік функціонуючих в даний час метеорологічних супутників і їх параметрів доступний за адресою:

Геостаціонарні супутники:
http://www.wmo.int/pages/prog/sat/GOSgeo.html.

Супутники на низькій навколоземній орбіті:
http://www.wmo.int/pages/prog/sat/GOSleo.html.

Крім того, цілий ряд науково-дослідних супутників (наприклад Aqua, CBERS, CloudSat, ERS,SPOT, TRMM, Landsat, QuikSCAT і т. д.) Також включають спеціальне метеорологічне або кліматологічне навантаження, яке також вносить вклад в ДБН. Перелік функціонуючих нині науково-дослідних супутників і їх параметрів доступний за адресою:

http://www.wmo.int/pages/prog/sat/GOSresearch.html.

Супутники на полярній орбіті і геостаціонарні супутники зазвичай оснащені формувачами зображення у видимій та інфрачервоній областях спектру, а також зондами з яких можна отримати багато метеорологічних параметри. Деякі з супутників на полярній орбіті оснащені приладами мікрохвильового зондування, які можуть надавати вертикальні профілі температури і вологості повітря в усьому світі. Геостаціонарні супутники також можуть використовуватися для вимірювання швидкості вітру в тропіках, спостерігаючи за хмарами і водяною парою.

Супутникові датчики, засоби зв'язку і методи ідентифікації даних поступово удосконалюються, а великий обсяг додаткових супутникових даних дозволив значно підвищити якість прогнозування, моніторингу погоди і клімату і попереджень про них.

Успіхи в області цифрового моделювання дозволили, зокрема, розробляти все більш досконалі методи отримання інформації про температуру і вологість повітря безпосередньо з випромінювань супутника. Вражаючі успіхи, досягнуті в останні роки в області аналізу і прогнозів погоди і клімату, включаючи попередження про небезпечні погодні явища (проливні дощі, шторми, циклони), які зачіпають все населення і всю економіку, стали можливими в значною мірою завдяки спостереженням з космосу і їх включення в цифрові моделі.

Науково-дослідницькі супутники включають новітнє угруповання в космічної складової ДБН. Науково-дослідні місії надають цінні дані для оперативного використання, а також для численних програм, підтримуваних ВМО.

Прилади науково-дослідницьких місій або надають дані, які, як правило,неможливо отримати від діючих метеорологічних супутників, або дозволяють внести удосконалення в існуючі працюючі системи.

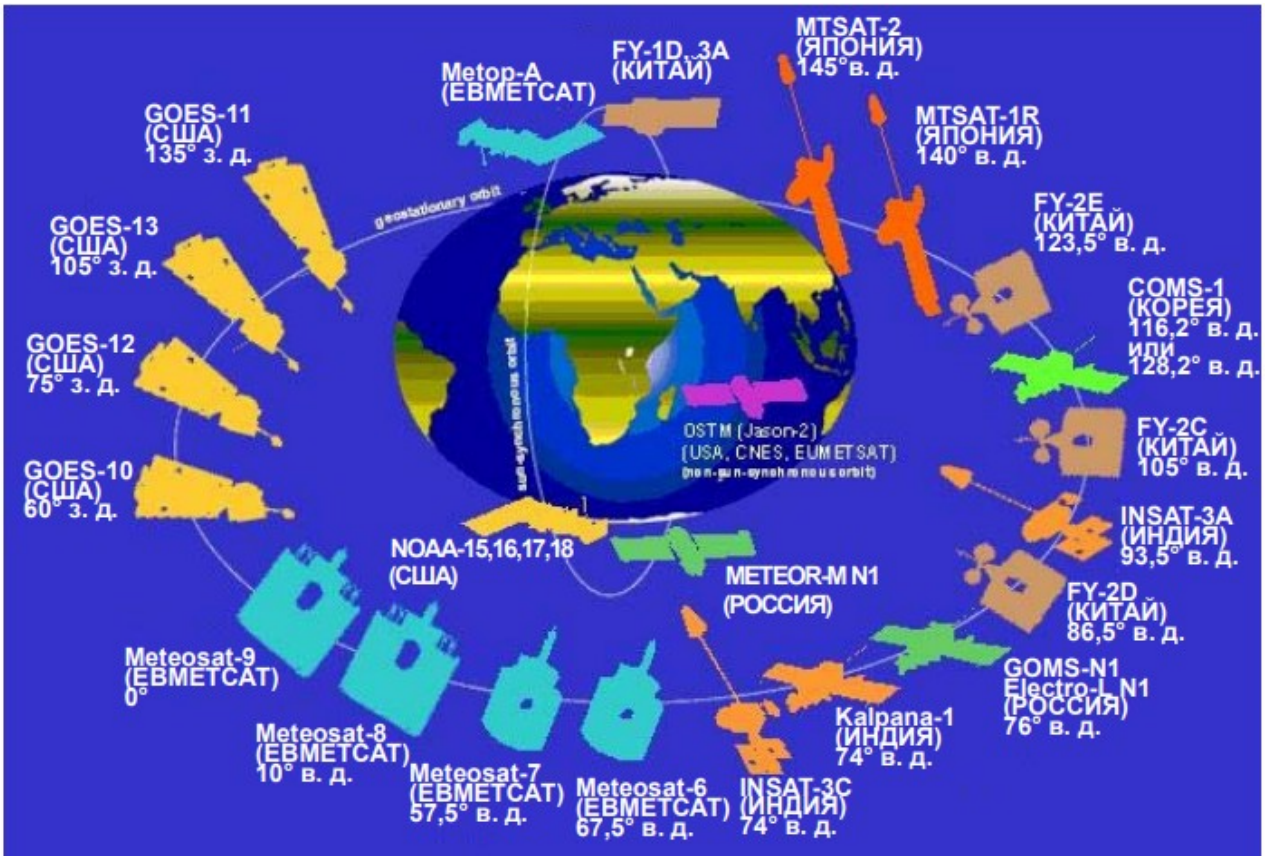


Рисунок1.3- Угруповання метеорологічних супутників Глобальної системи спостережень ВМО (ситуація 2008 року)

1.1.1 Глобальна служба атмосфери ВМО

Глобальна служба атмосфери ВМО (ДСА) включає цілий ряд наукових і пов'язаних з моніторингом видів діяльності ВМО в області навколишнього середовища, в тому числі мережу станцій моніторингу фонового забруднення атмосфери ВМО та Глобальну систему спостережень за озоном ВМО. Вона включає більше 20 обсерваторій і більше 30 регіональних станцій. Основною метою ДСА є надання інформації про хімічний склад і відповідних фізичних характеристиках атмосфери, необхідних для кращого розуміння поведінки атмосфери і її взаємодії з океанами і біосферою. Інші системи спостереження ДСА забезпечують спостереження за сонячною радіацією, виявлення блискавок і мареографічні вимірювання. ДСА є компонентом хімії атмосфери Глобальної системи спостережень за кліматом.

1.1.2 Глобальна система спостережень за кліматом

Глобальна система спостережень за кліматом (ГСНК) призначена для забезпечення комплексних спостережень, необхідних для моніторингу кліматичної системи, для виявлення і пояснення змін клімату, для оцінки впливу нестійкості і мінливості клімату, а також для підтримки наукових досліджень з метою забезпечення кращого розуміння, моделювання та прогнозування кліматичної системи, зокрема, зміни клімату. ГСНК відноситься до всієї кліматичній системі, включаючи фізичні, хімічні та біологічні властивості, а також атмосферні, океанічні, гідрологічні процеси, процеси кріосфери і суші.

1.1.3 Програма по гідрології та водних ресурсів

Ця програма здійснює вимірювання основних гідрологічних елементів на основі мереж гідрологічних і метеорологічних станцій. Ці станції збирають, обробляють, зберігають і використовують гідрологічні дані, в тому числі дані про кількість та якість як поверхневих, так і ґрунтових вод. Програма включає Всесвітню систему спостережень за гідрологічним циклом (ВСНГЦ), що базується на глобальній мережі опорних станцій і передають гідрологічні та метеорологічні дані в режимі близькому до реального. Майбутні плани щодо систем спостережень ВМО: інтегровані глобальні системи спостережень ВМО (ІГСН ВМО).

На своєму Конгресі 2007 року Члени ВМО вирішили працювати в напрямку забезпечення розширеної інтеграції систем спостережень ВМО і систем спостережень, підтримуваних ВМО, таких як Глобальна система спостережень за океаном (ГСНО), Глобальна система спостережень за поверхнею суші (ГСНС) і ГСНК. Ідея створення інтегрованих глобальних систем спостережень ВМО (ІГСН ВМО) полягала в тому, щоб звести воєдино робочі й управлінські функції всіх систем спостереження ВМО та

забезпечити єдиний механізм взаємодії з системами спостереження, підтримуваними ВМО. Така інтеграція повинна привести до підвищення ефективності діяльності і зниження витрат. Основними цілями ІГСН ВМО є:

- підвищення функціональної сумісності між системами, при цьому особлива увага повинна приділятися компонентам цих систем, розташованих в космосі і на місці;

- задоволення потреб атмосферної, гідрологічної, океанічної областей, а також областей кріосфери і суші в функціональних рамках загальної інтегрованоїсистеми;

- забезпечення більш широких рамок управління і вдосконалення керівництва і управління ВМО.

1.2Радіозондування атмосфери

Для розрахунків прогнозів погоди як синоптичними, так і гідродинамічними методами використовуються дані про поточний стан атмосфери і різні прогностичні моделі. Поточний стан атмосфери визначається на основі різних видів спостережень, в тому числі наземних, повітряних, морських і супутникових. При цьому ключову роль відіграють дані радіозондування атмосфери.

Радіозондування представляє найбільш точні результати безпосередніх контактних вимірювань термодинамічних параметрів атмосфери на висотах від рівня землі до 35 ... 40 км.

Ці дані містять інформацію про вертикальні профілі температури, вологості, швидкості і напрямку вітру, а також про тиск повітря на заданих рівнях.

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

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

Випускаються радіозонди одночасно у всьому світі двічі в день в 00.00 і 12.00 світового часу.

Процес радіозондування здійснюється за допомогою інформаційно-вимірювальних систем, заснованих на будь-якому способі визначення просторових координат радіозонда і включають ,крім самого радіозонду, різні пристрої для прийому і обробки інформації.

В даний час в багатьох країнах світу використовуються супутникові навігаційні системи зондування. На аерологічної мережі Росгідромету застосовуються системи радіозондування, засновані на радіолокаційному принципі визначення координат радіозонду.

Перший в світі успішний випуск радіозонду був проведений професором П.А. Молчановим 30 січня 1930 в Павлівській обсерваторії під Ленінградом [1-3]. З цього дня почався бурхливий розвиток радіозондування атмосфери як в нашій країні, так і за кордоном.

Застосування радіозондів дозволило створити оперативну аерологічну мережу, а потім і принципово новий метод тривимірного аналізу атмосферних процесів, який став основою прогнозування погоди і досліджень в галузі фізики атмосфери.

У 1982 р аерологічна мережа СРСР налічувала близько 200 станцій. Поява нової елементної бази (транзистори, мікросхеми) і необхідність підвищення безпеки польотів авіації привели до створення легкого, малогабаритного і економічного радіозонду. У 1982 році було розроблено транзисторний радіозонд Марза і розпочато серійне виробництво. Держстандарт СРСР атестував його як засіб вимірювань. В кінці 1983 року успішно завершено державні випробування модернізованого радіозонду з частковою заміною транзисторів мікросхемами МРЗ, розробленого

Уральським політехнічним інститутом на замовлення і за участю Центральної аерологічної обсерваторії (ЦАО).

Використовувана в цьому радіозонді система зондування "АВК-МРЗ" виробляє автономну автоматичну обробку результатів. У конструкцію комплексу закладено багато нових технічних рішень, що сприяють підвищенню експлуатаційних характеристик системи [3].

В останні роки комплекс модернізується шляхом заміни спеціалізованої ЕОМ на сучасні універсальні ПЕОМ із застосуванням напівпровідникових приймально-передавальних пристроїв і блоків живлення.

У 1998-2001 рр. почалося серійне виробництво нової радіолокаційної станції (РЛС) Марл, заснованої на сучасній елементній базі і принципах обробки сигналів. Станція Марл (рис. 1.4) виконана у вигляді одноблокової конструкції. З виробничого циклу виключені роботи з виготовлення точної механіки для системи супроводу радіозонду. В якості антени використовується активна фазирована антенна решітка (АФАР). Станція Марл автоматично знаходить і супроводжує зонд в польоті, видає його поточні координати, приймає і обробляє метеорологічну інформацію(ри.1.5)

Рисунок1.4-Аерологічний реєстраційно-обчислювальний комплекс МАРЛ

Рисунок 1.5-Аерологічний реєстраційно-обчислювальний комплекс Вектор-М

В кінці 1983 року успішно завершено державні випробування модернізованого радіозонду з частковою заміною транзисторів мікросхемами МРЗ, розробленого Уральським політехнічним інститутом на замовлення і за участю Центральної аерологічної обсерваторії (ЦАО).

Використовувана в цьому радіозонді система зондування "АВК-МРЗ" виробляє автономну автоматичну обробку результатів. У конструкцію комплексу закладено багато нових технічних рішень, що сприяють підвищенню експлуатаційних характеристик системи [3].

В останні роки комплекс модернізується шляхом заміни спеціалізованої ЕОМ на сучасні універсальні ПЕОМ із застосуванням напівпровідникових приймально-передавальних пристроїв і блоків живлення.

З перших днів створення методу радіозондування поряд з розробками з удосконалення техніки і радіозондування почалися дослідження точності радіозондових вимірювань. Першим метрологом, що займається проблемами підвищення точності радіозондування, був його творець П.А. Молчанов. У наступних працях вітчизняних і зарубіжних вчених розвивалися метрологічні основи аерологічних вимірювань і методу радіозондування як специфічного методу вимірювань. Розроблялися і з успіхом використовувалися в практиці, в тому числі і при міжнародних порівняннях радіозондів, різні оригінальні методи визначення випадкових похибок вимірювань, такі як метод потрійного контролю [4], метод спарених випусків і аналізу структурних функцій [5].Розвивалися математичні моделі взаємодії датчиків з навколишнім середовищем. Найбільшу увагу протягом всієї історії розвитку радіозондування приділялося вивченню радіаційних похибок вимірювання температури. В результаті були зроблені оцінки (в основному граничні) випадкових похибок вимірювань при радіозондуванні [3, 6, 7]. Систематичні складові похибки вимірювань температури і похибки вимірювань вологості оцінені досить умовно [4-6]. Паралельно з науковими дослідженнями і розробкою апаратури йшла велика організаційно-методична робота в аерологічній мережі, спочатку в Головній геофізичній обсерваторії, а з 1940-х років в ЦАО.

Таким чином, з кінця XX століття радіозондування на аерологічної мережі Росгідромету проводиться за допомогою приладів, що мають близькі і регламентовані (для умов виробництва) технічні характеристики.

Терміни зондування і правила його виконання, оформлені у вигляді відповідних нормативних документів, єдині для всієї мережі. Радіозонди проходять державні випробування як засоби вимірювань (СІ), результати вимірювань виражаються в узаконених одиницях.

Оцінюються на доступному для свого часу рівні похибки вимірювань. В цілому можна констатувати, що на аерологічної мережі до кінця XX століття досягнуто однаковість виконання вимірювань і створені передумови

для забезпечення їх єдності. Такий рівень метрологічного забезпечення аерологічних вимірювань відповідав стану радіозондування в найбільш розвинених зарубіжних країнах [8-14].

Наземне обладнання аерологічних станцій - аерологічнореєстраційно-обчислювальний комплекс, або більш коротко РЛС, радіотеодоліт або будь-яка навігаційна система - забезпечує супровід радіозонда в польоті, визначення його координат (і тим самим вимір висоти самого зонда і параметрів вітру), прийом і реєстрацію радіотелеметричних сигналів. До складу наземного обладнання входять також пристрої для обробки сигналів радіозонда, підготовки і передачі споживачам аерологічної повідомлення.

Однак для надійного досягнення необхідних висот в 35 ... 40 км і високої якості зондування необхідно забезпечення належного стану сервісного обслуговування. Збільшення потенціалу станцій по дальності, можливо, зажадає їх деякого доопрацювання.

Для подальшого вдосконалення аерологічної спостережної мережі необхідно розвивати й інші (крім радіолокаційного) способи визначення координат радіозонда в польоті, особливо навігаційний з використанням супутникових навігаційних систем типу GPS або ГЛОНАСС.

Типи використовуваних в даний час в аерологічній мережі Росгідромету радіозондів:

Малогабаритний аерологічної радіозонд (рис. 1.6) МРЗ-3А, (1780 МГц);

МРЗ-3АТ (1680 МГц);

Малогабаритний аерологічної радіозонд мережевий (рис. 1.7). АК2-01А, (1780 МГц);

Радіозонд підвищеної точності РФ-95, (1780 МГц).

Рисунок 1.6- Малогабаритний аерологічної радіозонд МРЗ-3А (1780 МГц)

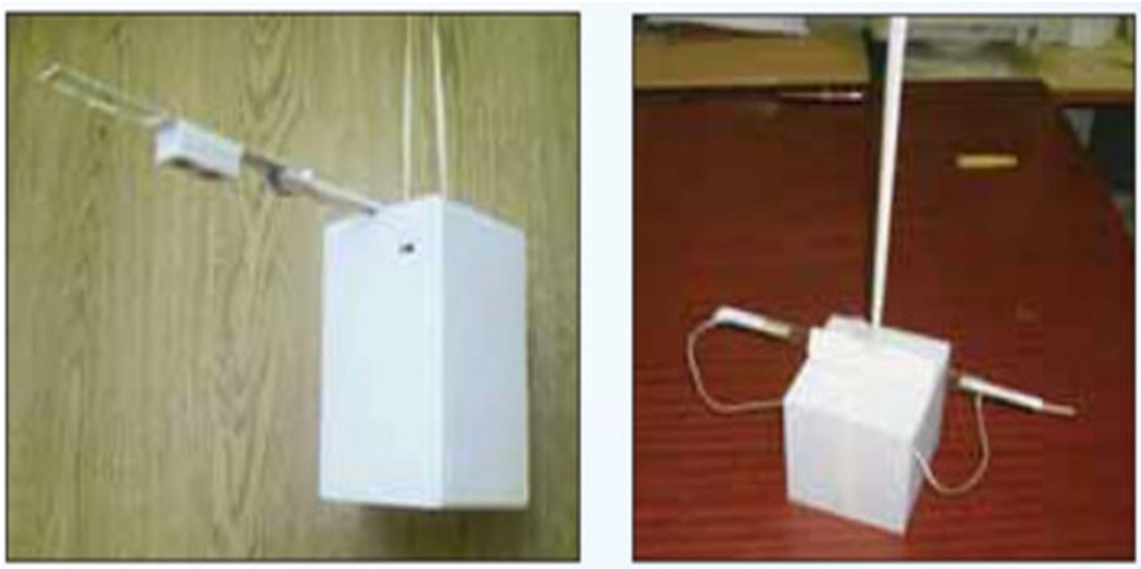


Рисунок 1.7-Малогабаритний аерологічної радіозонд мережевий АК2-01А, (1780 МГц)

За допомогою представлених на рис. 1.6, рис. 1.7 радіозондів вимірюються вертикальні профілі температури і відносної вологості повітря,

а також параметрів вітру від рівня землі до висот 30 ... 35 км. Їх технічні та деякі метрологічні характеристики представлені в табл. 1.1.

Як видно з табл. 2, всі представлені типи вітчизняних радіозондів затверджені Федеральним агентством з технічного регулювання і метрології, як типи СІ з однаковими метрологічними характеристиками (МХ) у всіх мережевих радіозондів і відповідно у обох типів радіозондів підвищеної точності (все для нормальних умов).

Однак якість радіозондів і рівень метрологічного забезпечення їх виробництва підприємствами-виробниками істотно розрізняються. Метрологічний контроль виробництва радіозондів, який раніше здійснювали територіальні органи Держстандарту, в даний час відсутня. Це призводить до великого промислового браку, порушення репрезентативності спостережень, а також не сприяє розвитку і вдосконаленню аерологічної техніки. Для ефективного використання радіозондів підвищеної точності аерологічній мережі необхідно розробити відповідну методику виконання зондування з їх допомогою, а також атестувати радіозонди підвищеної точності в якості зразкових засобів вимірювань.

Таблиця 1.1- Технічні і метрологічні характеристики радіозондів

МРЗ-3А	МРЗ-3А*	АК2-01	АК2-02 (підвищеної точності)	РФ_-95

Характеристика	МРЗ-3А	МРЗ-3А*	АК2-01 сетевой	АК2-02 (повышенной точности)	РФ-95
Наявність сертифіката	+	+	+	+	+
Тип датчика температури	ММТ-1	ММТ-1	ММТ-1	СТ8103С5-3435	
Основна похибка, ° С	1,8	1,8	1,8	1,0	1,0
Альбедо покриття	0,80	0,88	0,88	0,88	
Постійна часу датчика температури,с, на висоті 0...30	8...36	8...36	8...36	2...16	
Тип датчика вологості	СДД	НІН-4000	НІН-4000	Н1Н-4000	Хьюмикап
Основна похибка датчика	15	7	7	7	7
Постійна часу датчикавологості,с, на висоті					
0...2 км	3			6	
3...5 км	60			25	
6...8 км	100			60	
9...10 км	180			95	
11...12 км	300				

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

1. Точність вимірювань і якість даних аерологічного зондування поки відстає від лідируючих позицій і перспективних вимог ВМО.

Необхідно впроваджувати нові сучасні датчики температури і вологості, а також переробити ПО обробки даних радіозондування на основі врахування метрологічних характеристик радіозондів і конкретних умов проведення вимірювань.

2. Організувати сервісне обслуговування аерологічної техніки.

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

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

5. Привести у відповідність з сучасними суспільними вимогами умови праці на аерологічних станціях. Як мінімум слід замінити газогенератори АВГ-45 для добування водню на сучасні електролізні установки.

6. Необхідно розвивати як в технічному, так і в методичному плані систему оперативного моніторингу якості радіозондування, а також домагатися єдиного рівня метрологічного забезпечення виробництва радіозондів відповідно до Положення про метрологічне забезпечення радіозондування, затвердженим Росгідрометом.

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

2 ВИМІРЮВАННЯ МЕТЕОВЕЛИЧИН СИСТЕМАМИ ЗОНДУВАННЯ АТМОСФЕРИ

2.1 Особливості вимірювань метеорологічних величин у вільній атмосфері

Аерологічні вимірювання відносяться до класу метеорологічних і їх мета - вимір метеорологічних величин вільної атмосфери. Особливістю аерологічних вимірювань є те, що вони проводяться не в одній точці, як це робиться при наземних метеорологічних вимірах, а при русі вимірювального приладу по вертикалі і горизонталі.

Діапазон зміни значень різних фізичних величин по вертикалі у вільній атмосфері набагато більше, ніж у земної поверхні. Так, добові коливання температури повітря біля поверхні землі в помірних широтах більшу частину року в середньому не перевищують 5-10°С (в пустелі вони досягають 30°С), тоді як при підйомі зонда від поверхні землі до стратосфери температура може змінитися на 90-100°С (наприклад, від + 30°С у землі до -70°С в стратосфері). Вологість повітря також може змінюватися від 100 до кількох відсотків. Тиск повітря змінюється в 20 разів і більше. Підлягають виміру метеорологічні параметри вільної атмосфери мають великий часової і просторової мінливістю, що призводить до необхідності мати в вимірювальних приладах значний динамічний діапазон. Ці умови визначають одне з основних вимог до аерологічними приладів - їх малу інерційність, т. Е. 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 призначене для проведення дистанційних

вимірювань. При таких вимірах прилад знаходиться в точці, віддаленій відмісця його випуску, і результати вимірювань повинні доставлятися на пункт збору або передаватися по радіоканалу.

В процесі аерологічних вимірювань вимірювальні прилади працюють в умовах швидко мінливих температур, що призводить до помилок вимірювань, зумовлених впливом температури навколишнього середовища на параметри приладів і їх окремих вузлів. Зокрема, зміна температури атмосфери, що має місце при підйомі вимірювальних приладів на кулях-зондах, аеростатах і літаках, істотно впливає на результати вимірювання тиску за допомогою мембранних коробок, так як при зміні температури навколишнього середовища змінюється модуль пружності матеріалу коробки і укладеного в ній газу . При проведенні вимірювань на великих висотах на первинні вимірювальні перетворювачі робить істотний вплив пряма сонячна радіація, наслідком чого є поява радіаційних похибок. Істотний вплив сонячна радіація надає на первинні вимірювальні перетворювачі температури. Боротьбі з радіаційним перегрівом первинних вимірювальних перетворювачів аерологічних приладів приділяється велика увага (для цього застосовуються цілі комплекси технічних заходів).

Для доставки вимірювальних приладів в точки вимірювань застосовуються спеціальні засоби: кулі-зонди, аеростати. Основні метеорологічні елементи вільної атмосфери (температура, вологість, тиск) зазвичай змінюються в часі і по горизонталі набагато повільніше, ніж по висоті. Тому результати вимірювань, отримані в процесі проведення вимірювань для різних висот, відносять до одного і того ж моменту часу (як правило, початку підйому) і до однієї вертикалі, що проходить над пунктом вимірювань.

2.2 Вимірювальні перетворювачі температури в системах радіозондування

Особливістю температурних вимірювань у вільній атмосфері є наявність ряду чинників, які деформують результати вимірювань. До них відносяться: 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, істотний вплив на результати вимірювань надають характер руху носія вимірювального приладу, від якого залежить тимчасова мінливість вимірюваної температури щодо термочутливого тіла перетворювача, і характер його обтікання набігаючи повітряним потоком.

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

В сучасних аерологічних системах зондування атмосфери найбільшого поширення набули резистори (металеві, напівпровідникові), перетворювачі.

Термометри опору (резисторнітермодатчики). Принцип дії заснований на використанні залежності електричного опору від температури. Залежно від матеріалу резистора розрізняють металеві, напівпровідникові, електролітичні перетворювачі. Металеві перетворювачі використовуються в літакової, аеростатної, ракетної вимірювальної апаратури, напівпровідникові і електролітичні - в радіозондах.

Напівпровідникові термометри опору. В якості вимірювальних перетворювачів температури використовують напівпровідникові терморезистори. Напівпровідникові перетворювачі виготовляються з титану, міді, кобальту, нікелю, магнію і їх домішок. Як правило, напівпровідникові терморезистори виконуються у вигляді стрижнів (ММТ-1, -6) і намистин (СТЗ-18, -25), циліндрів або пластинок. Технологія їх виготовлення складається в пресуванні форм з напівпровідникових порошкоподібних матеріалів з подальшим обпаленням при високій температурі.

Напівпровідникові терморезистори в порівнянні з іншими перетворювачами мають ряд переваг, обумовлених їх високою температурною чутливістю, малими габаритами і масою, а також великими 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 експоненційною залежністю

$$R(T) = Ae^{-\frac{B}{T}}, \tag{2.1}$$

де Т - вимірювана температура за шкалою Кельвіна;

А і В - постійні коефіцієнти, що залежать від фізичних властивостей напівпровідникового матеріалу.

В даний час з'явилися чисті напівпровідникові матеріали - германій, кремній. Їх властивості різняться в залежності від їх кристалічної структури, яка визначається за цією технологією кристалізації. Вони володіють високим питомим опором, і їх розмір може бути мікроскопічним. Термоопір з чистих напівпровідникових матеріалів малоінерційні, високостабільні і мають необмежений термін використання.

2.3 Методи вимірювання та перетворювачі вологості в системах зондування атмосфери

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

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

Плівкові датчики. Досвід застосування волоса в якості перетворювача вологості показав, якою структурою повинні володіти сорбоційні перетворювачі вологості: вони повинні мати пористу або волокнисту поверхню. Сильно розвинену волокнисту поверхню має тваринна плівка. Зразки плівки товщиною 10-20 км піддаються штучному старінню в пересиченому вологому повітрі протягом декількох днів, в процесі якого плівка збільшується в розмірах і змінює свою структуру. Спочатку гладка і прозора плівка стає білуватою і крихкою. Після цього плівку масажують за допомогою зміною вологості від 5 до 100%. Після того як в результаті масування первинне подовження плівки скоротиться наполовину, її використовують в перетворювачі.[15-18]

Перетворювачі вологості на основі тваринної плівки, що застосовуються в аерологічних приладах, виконуються у вигляді металевого кільця, на яке натягнута плівка. У центрі кола до плівки приклеюється металева шайба з отвором для закріплення натяжного пружини. Пружина,

відтягуючи центр плівки, утримує її завжди в натягнутому стані незалежно від вологості навколишнього повітря. Оптимальне натяг становить 2-3 г на 1 мм ширини плівки. При зміні вологості повітря з'являється збільшення розмірів плівки, яке вибирається натяжна пружиною, в результаті чого плівка набуває конусоподібну форму. Подовження плівки не залежить від температури і досягає 48-50% при зміні вологості від 0 до 100%. З рухомим центром плівкового кола (точкою закріплення натяжного пружини) пов'язана стрілка (якщо вимірюється вологість перетворюється в кут відхилення стрілки) або рухливий контакт потенціометра (якщо вимірюється вологість перетворюється в напругу). Перетворювачі вологості на основі тваринної плівки в 2-3 рази дошкульніше волосним перетворювачів, крім того, вони не змінюють чутливості при проколи датчика. Одним із суттєвих недоліків перетворювачів вологості на основі тваринної плівки є швидке збільшення коефіцієнта інерції при зменшенні температури[2,4].

3 АНАЛІЗ ПЕРВИННИХ ДАНИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ. ПОБУДОВА АЕРОЛОГІЧНИХ ДІАГРАМ

3.1 Зчитування вихідних первинних даних радіозондування за даними ГМЧАМ

На підставі первинних даних (табл. 3.1) метеорологічної інформації отриманих з телеметричної інформації системи радіозондування "Радіотеодоліт-ВУЛ" і "ПАЗА-12" Гідрометцентру Чорного та Азовського морів м. Одеса сформований багатовимірний масив даних у вигляді текстового файлу, як вхідні дані програмної моделі в системі Матлаб. Первинні дані метеорологічної інформації мають вигляд:

Таблиця 3.1 - Надання первинних даних у файлі txt

Час польоту	Азимут, горизонтальний кут	Кут місця, вертикальний кут	Дальність	Температура	Відносна вологість	Висота
Хвилин	Одинкутоміра РЛС	Один кутоміраРЛС	Метр	°C	%	Метр
0.50	2684	429	385	27.3	33	210
1.00	2743	509	660	26.2	31	378
1.50	2820	562	906	24.9	33	545
2.00	2918	532	1265	23.8	34	713
2.50	2939	567	1496	22.2	36	880
3.00	2989	617	1608	20.6	38	1026
BL(:,1)	BL(:,2)	BL(:,3)	BL(:,4)	BL(:,5)	BL(:,6)	BL(:,7)

Читання первинних даних з txt файлу.

BL=load('E:\АСМОС\2017-2018\Гідрометеорологічні вимірювальнісистеми\МЗЗА_студентам\Курсовой\Первич данные_2.txt').

3.2 Зв'язок сферичних і прямокутних координат

Поняття про координати цілі. Положення цілі в просторі визначається координатами. Як відомо, при визначенні місця розташування будь-якої точки в просторі можна користуватися різними системами координат. У радіолокації найбільш зручною є сферична система координат. Початок координат поєднане з точкою розташування РЛС (точка О). Через цю точку проходить лінія відліку ON, що лежить в горизонтальній площині. Лінія ON зазвичай поєднується з меридіаном, що проходить через РЛС (рис. 3.1).

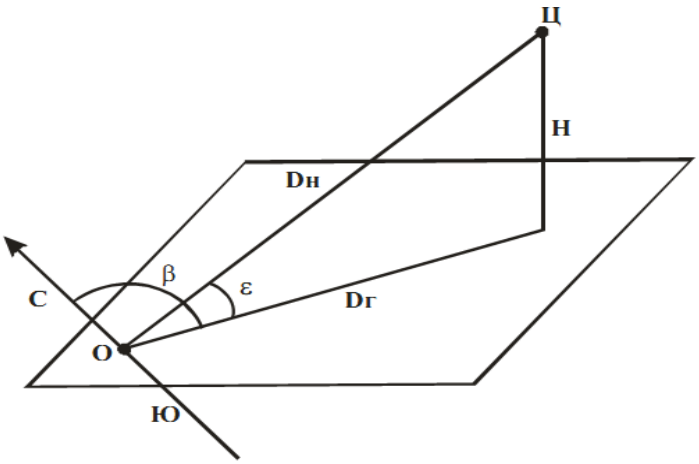


Рисунок3.1 - Координати цілі

Положення об'єкта (радіозонда), що знаходиться в точці Ц, однозначно визначається наступними трьома координатами:

- похилій дальністю D*н*, тобто відстанню між станцією і об'єктом по прямій;

- азимутом β, тобто кутом між лінією відліку ON і напрямком на об'єкт в горизонтальній площині (азимут називається істинним, якщо відлік проводиться за годинниковою стрілкою від північного меридіана);

- кутом місця ε, тобто кутом між напрямком на об'єкт і проекцією цього напрямку на горизонтальну площину.

Поняття похилої дальності введено для того, щоб розрізняти відстань між станцією (РЛС) і об'єктом по прямій лінії і відстань уздовж поверхні землі, яке з цієї ж причини називається горизонтальною дальністю.

Відлік азимута виробляються від лінії ON за годинниковою стрілкою в межах від 0° до 360° або в двох напрямках - за годинниковою стрілкою і проти неї. Кути, відлічувані за годинниковою стрілкою, вважаються позитивними, проти годинникової стрілки - негативними.

Кут місця відраховується від горизонтальної площини вгору і вниз, його значення можуть лежати в межах від 0° до ± 90°. За позитивний напрямок відліку кута місця прийнято напрямок вгору від горизонтальної площини, за негативне - вниз. Метеорологічні і аерологічні РЛС завжди встановлюються на деякій висоті над поверхнею землі, тому вони можуть працювати і при негативних значеннях кута місця.

Похила дальність, азимут і кут місця визначаються РЛС безпосередньо, без будь-яких додаткових перерахунків. У цьому полягає головна перевага сферичної системи координат[3,5].

Висота H - найкоротша відстань від об'єкта до горизонтальної площини, що проходить через РЛС, визначається за відомим з тригонометрії співвідношенню

$$H = D_н \times \sin(\varepsilon). \qquad (3.1)$$

В окремихвипадкахважливо знати значеннягоризонтальноїдальності

$$D_г = D_н \times \cos(\varepsilon) . \qquad (3.2)$$

При значнихвідстанях до ціліземнуповерхню не можнавважати горизонтальною площиною. Тому наведеніформули, що не враховують кривизну Землі, справедливітільки для невеликих значеньдальностіDн. Уже при Dнблизько 50 км помилка у визначеннівисоти при обчисленні за цими

формулами досягає 200 м. Практично для обчисленнявисоти за данимиDн і є користуються формулою, яка враховує кривизну Землі:

$$\sin\varepsilon = \frac{H}{D_н} - \frac{D_н}{2R_З}, \tag{3.3}$$

де R3 - радіус Землі, дорівнює 6370 км

$$H = D_H \cdot \sin(\varepsilon) + \frac{D_H^2}{2 \cdot R_з}. \tag{3.4}$$

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

```
beta=BL(:,3)*(0.06*pi/180);  % кут місця, вертикальній кут, рад
beta_g=BL(:,3)*0.06; % кут місця, вертикальній кут, грд
ho=43; % висота над рівнем моря метр м. Одеса.
```

Визначення висоти підйому радіозонда, використовуючи кут місця (beta) і дальність (BL (:, 2)) в масиві первинних даних (BL).

```
H=(BL(:,4).*sin(beta))+ho;
Rz=6370000;  %радіус Землі, метр
Dn=BL(:,4); %дальность
 %Визначеньвисоти з урахуваннямкривизниЗемлі
H_z=(BL(:,4).*sin(beta))+ho+(Dn.^2)/(2*Rz).
```

3.3 Вертикальна швидкість підйому кулі-пілота

Швидкість переміщення кулі-пілота по вертикалі w, обумовлена його вільної підйомної силою. Може бути виражена формулою:

$$W_n = \frac{h_n - h_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} . (3.5)$$

Знайдені таким чином значення вертикальної швидкості характеризують середню швидкість в шарі, який визначається висотами кулі на початку і кінці проміжок часу. Тому умовно прийнято отримані дані відносити до висоти, яка відповідає середньому значенню висоти шару.

Для оцінки рівномірності (сталість) швидкості підйому кулі-пілота відобразимо вертикального тимчасового профілю підйому радіозонда(рис. 3.2).

figure, plot(BL(:,1),H), gridon, title(вертикально-часовий профіль підйому радіозонда ') ,
xlabel('часхв') ,ylabel('висота метр ').

Вертикальна швидкістьпідйомурадіозондаобчислюється з точністю 1м/хв в шарах за 10-хвилинні інтервали часу шляхом діленнярізницівисот в метрах на різницю часу в хвилинах (рис. 3.3).[19-23]

%=Обчисленнявертикальноїшвидкостіпідйомурадіозонда
V=(H(4:end)- H(2:end-2))/1; %різницявисот за час
%1 хвилина = вертикальна швидкість
V_men=smooth(V,11); % Ковзнеусереднення з вікномрозміру
11-%пікселів відповідає ≈10 хвилинам
figure, plot(H(4:end-2),V_men(1:end-2)), gridon, title('вертикальної швидкості підйому радіозонд') ,
xlabel('висотаметр') ,ylabel(' швидкість метр/хвилин '),
V_men1=[0;0;smooth(V,11);0;0].

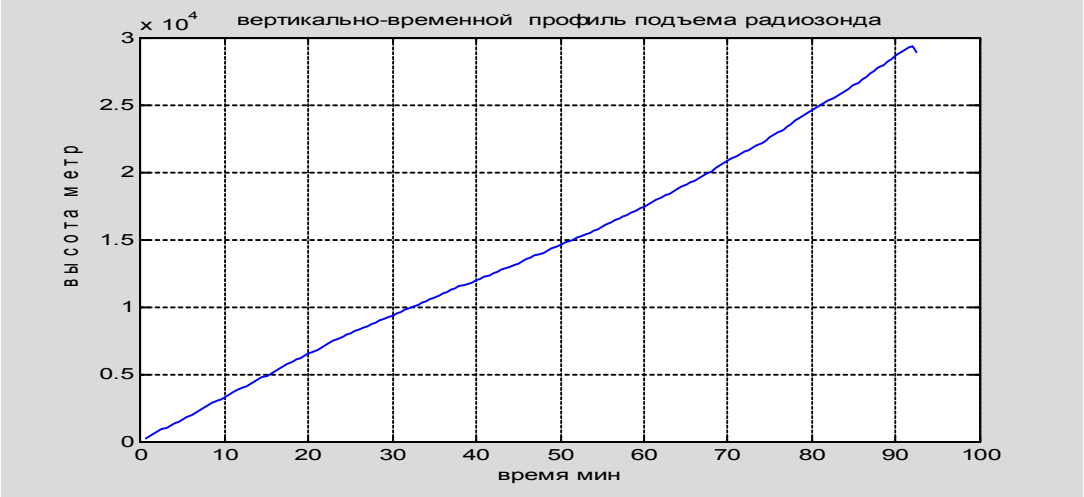


Рисунок 3.2 - Графік вертикально-часовогопрофілюпідйому радіозонда

Рисунок 3.3 – Графік вертикальної швидкості підйому радіозонда

3.4Відображеннятемператури і відносної вологості результатів радіозондування

Додаємо значення присадкуватою області в масив первинних даних телеметрії радіозонда.

```
Po=1010.9;
PV(1)=Po;   % тиск і температура у Землі
H1=[ho;H];
tco=23;
TC=[tco;BL(:,5)];
uo=48;
U=[uo;BL(:,6)];
```

Розподіл температури °С і вологості в залежності від висоти і часу польоту.Відображення результату на графіку з двома осямиY(рис. 3.4, рис. 3.5).

```
figure,
AX=plotyy(H1,TC,H1,U,'plot'); gridon,
set(get(AX(1),'Ylabel'),'String','температура °C'),
set(get(AX(2),'Ylabel'),'String','вологість %'),
xlabel('висота метр')  ,title('Розподілтемператури ° С і вологості% по висоті');

figure,
AX1=plotyy(BL(:,1),BL(:,5),BL(:,1),BL(:,6),'plot'); grid on,
set(get(AX1(1),'Ylabel'),'String','температура °C'),
set(get(AX1(2),'Ylabel'),'String','вологість %'),
xlabel('час польоту, хвилин') ,title('Розподілтемператури° С і вологості % за часом') (рис. 3.4, рис. 3.5).
```

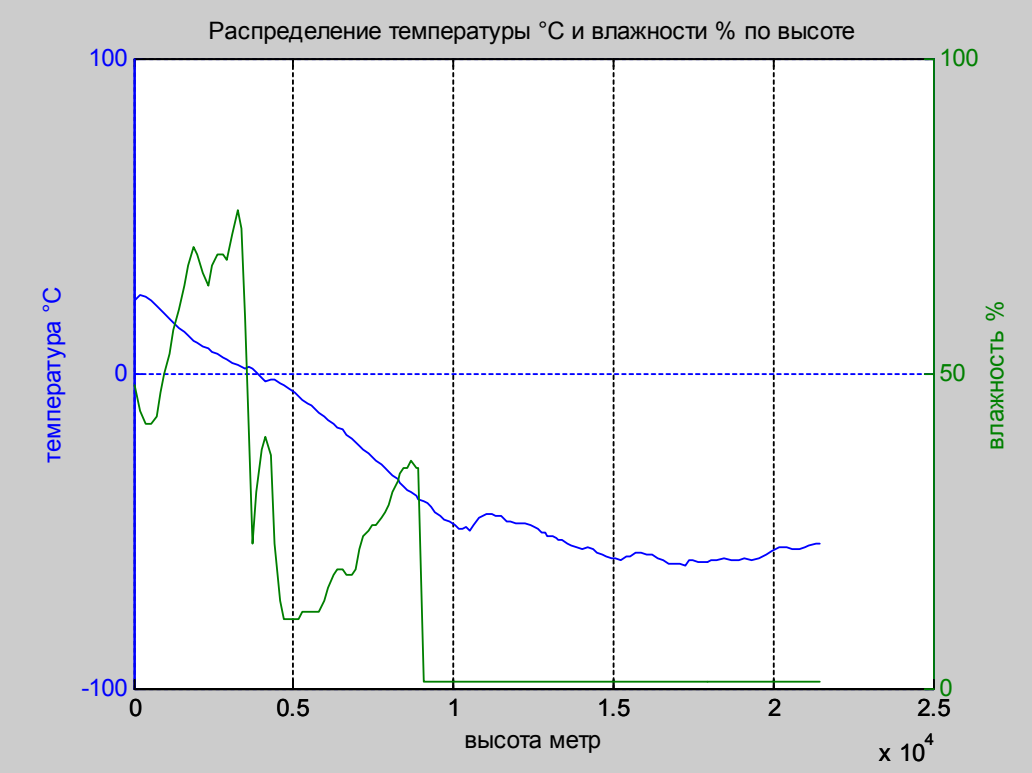


Рисунок 3.4 – Графік розподілу температури та вологості по висоті

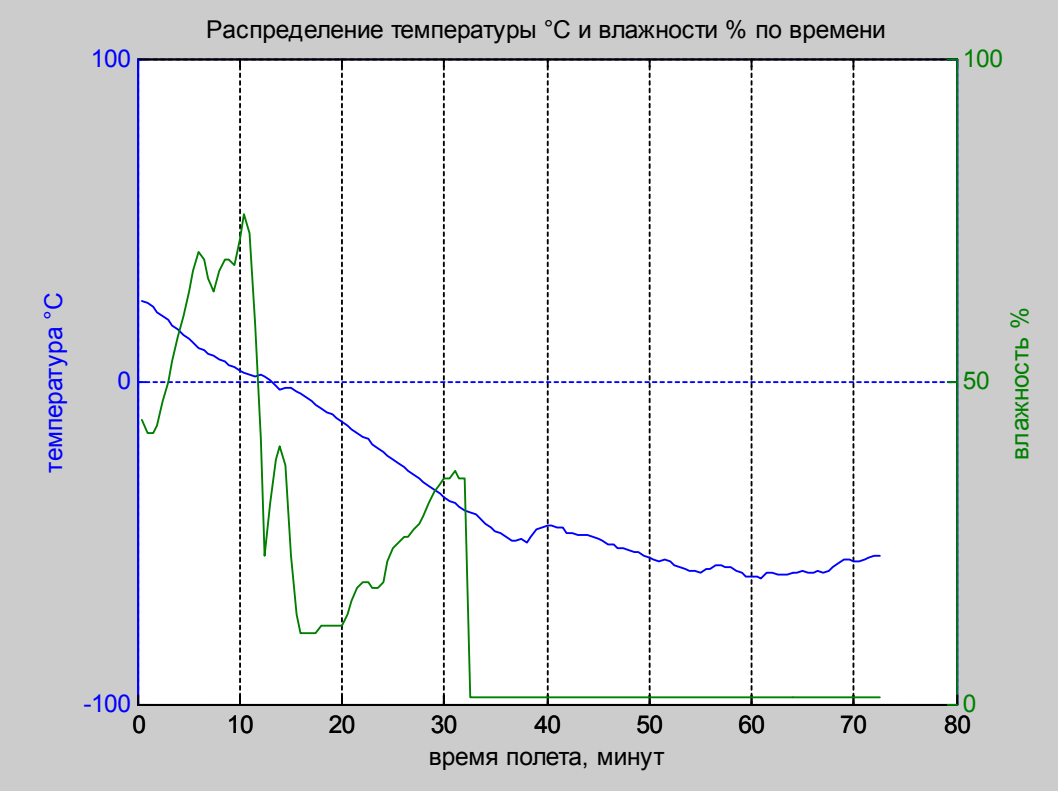


Рисунок 3.5 – Графік розподілу температури та вологості за часом

3.5 Оцінка градієнтатемператури по висоті. Тропопауза

Вертикальний градієнт температури обчислюється з точністю до 0.01°С/100 м шляхом ділення різниці температур на кордонах шару на різницю висот, що виражається в сотнях метрах. Якщо температура з висотою знижується, то градієнт позитивний, при підвищенні температури з висотою градієнт негативний (рис. 3.6).

```
%Обчислення градієнта температури з висотою шляхом
% ділення різниці температур
% на різницю висотвиражених в сотнях метрів°С/100м
% межа Тропопауза на якій вертикальний градієнт температури падає до 0,2°С/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),gridon,title('Розподілвертикальногоградієнтатемператури °С/100мповисоті'),
xlabel('высота метр')  ,ylabel('градієнта температури °С/100м'),
%Ковзаючеусереднення результату обчислення вертикального градієнта %температури
% Алгоритм фільтрації за допомогою змінного середнього реалізований в
% функціїsmooth(input,window),
%window–розмірвікнаусереднення, непарне.
SM_G=smooth(Gr,21);
figure, plot(H(2:end),SM_G),  gridon,title('усереднений вертикальний градієнт температури °С/100м'),
xlabel('висота метр')  ,ylabel('градієнта температури °С/100м').
```

Тропопауза визначається як перехідний шар між тропосферою і стратосферой, розташований не нижче ізобаричної поверхні 500 гПа між шаром з великими значеннями вертикального градієнта температури у

верхній тропосфері і шаром Ізотерм, інверсії або уповільненої падіння температури з висотою в нижній стратосфері. За нижню межу тропопауза приймається рівень, вище якого в шарі товщиною не менше 2 км значення вертикального градієнта температури не перевищує 0,2°С/100 м (рис. 3.7).

Рисунок 3.6 – Графік усередненого вертикального градієнта температури

Нижня межа шару тропопауза виділяється на аерологічної діаграмі коричневої горизонтальної прямою лінією довжиною 10-15 см, яка проводиться від кривої стратифікації вправо. На ній проставляється значення температури повітря в градусах Цельсія на нижній межі тропопаузи, а праворуч - розраховане шляхом інтерполяції значення висоти в метрах (рис. 3.8).

```
% Визначення границі Тропопауза
for t=1:length(SM_G);
ifabs(SM_G(t))<=0.2;
```

```
TP(t)=1;
else  TP(t)=0;
end
end
% Ковзне усереднення
TP_m=smooth(TP,11);
%figure, plot(H(2:end),TP_m),  gridon,
% Висновок графіка вертикального градієнта і кордони тропопаузи
figure, plot(H(2:end),SM_G),holdon,plot(H(2:end),TP,'r'),
gridon,title('Вертикального градієнта температури °C/100м і кордони
тропопаузи') ,
xlabel('висотаметр')  ,ylabel('Градієнта температури °C/100м ');
figure,  plot(BL(:,5),H),  gridon,  holdon,plot(BL(2:end,5),TP*3000,'r'),
title('Значення по висоті для температури °C і кордони тропопаузи'),
xlabel('температура °C')  ,ylabel('висота метр ').
```

Рисунок 3.7 – Графік вертикального градієнта температури та межі тропопаузи

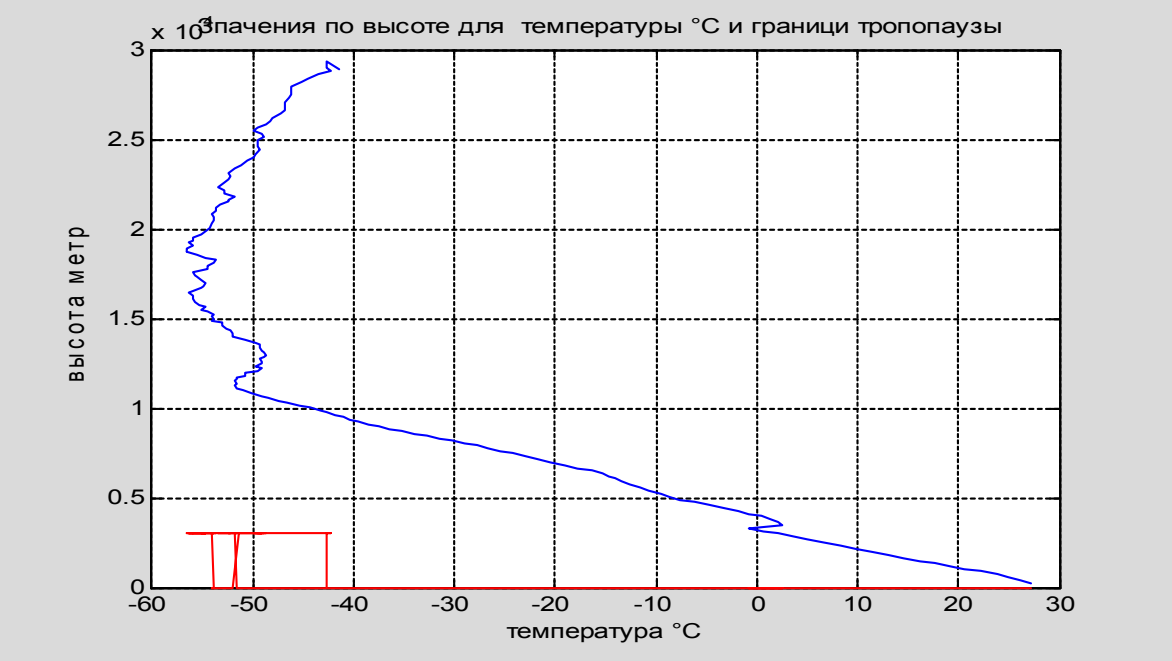


Рисунок 3.8 - Графік значень по висоті для температури та межі тропопаузи

3.6 Визначеннятиску на висоті і зв'язоквисоти і тиску. Барометрична формула

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

Барометрична формула - залежність тиску газу від висоти

$$p_2 = p_1 \cdot \exp \text{¿}), \qquad (3.6)$$

де $p_2 i\, p_1$- тиск (гПа) на нижньомуz_1 і верхньомуz_2 рівні шару висоти (метри);

g - прискорення вільного падіння (9.80665 м/с^2);

R=8.31447 - універсальна газова постійна Дж/(Мол*К);

Mv=0.0289644 – молярна маса повітря кг/Мол;

Tm - середнє значення абсолютної температури між рівнями$z_1 z_2$ (кельвіна).

За допомогою барометричної формули можна вирішувати три завдання:

1) приведення тиску одного рівня до іншого (відомі тиск на одному рівні і перепад висот, середня температура шару, знайти тиск на іншому рівні) (рис. 3.9);

2) барометричний нівелювання (відомі тиск на двох рівнях, середня температура стовпа повітря, знайти перепад висот, знайти геометричну різницю висот між рівнями Δz);

3) визначення середньої температури шару (відомі тиск на двох рівнях і перепад висот, знайти середню температуру шару).

```
% Барометрична формула обчислення тиску по вертикальних верствам, між двома значеннями вимірювань температури по висоті - первинні дані.
% Рекурсивна формула по крокові обчислення по верствам
%((TC(i)+TC(i-1))/2 -середня температура стовпаповітряміжсусіднімирівнямивисот.
% K=273.15 – постійнаКельвіна для переходу до абсолютноїтемператури.
fori=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,title('Розподілтискуповисоті'),
xlabel('висотаметр')  ,ylabel('тискПа ').
```

Побудова графіка розподілу висоти і тиску при зміні температури для складання аерологічної діаграми (рис. 3.9, рис.3.10).

```
figure,
AX1=plotyy(TC,H1,TC,PV,'plot'); grid on,
set(get(AX1(1),'Ylabel'),'String','висотаметр'),
set(get(AX1(2),'Ylabel'),'String','тиск Па'),
%set(get(AX1(2)),'YDir','reverse'),
```

%set(gca, 'YDir','reverse'), %get(gca, 'YDir')

set(AX1(2),'YDir','reverse'), %Напрямокдругоїосі Y зворотне-'reverse'

xlabel(' температура °C') ,title('Значеннявисоти і тиску для температури ° C').

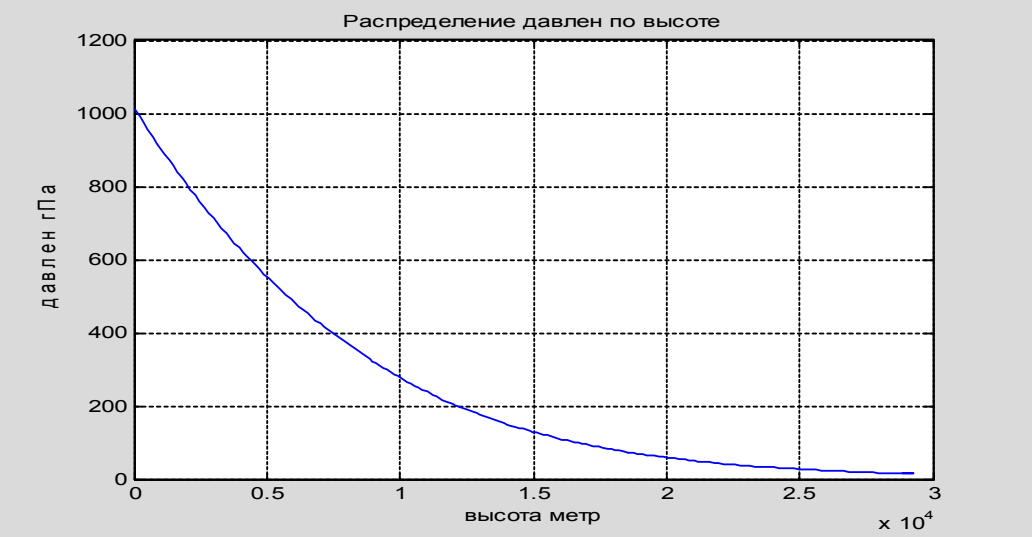


Рисунок 3.9 – Графік розподілу тиску по висоті

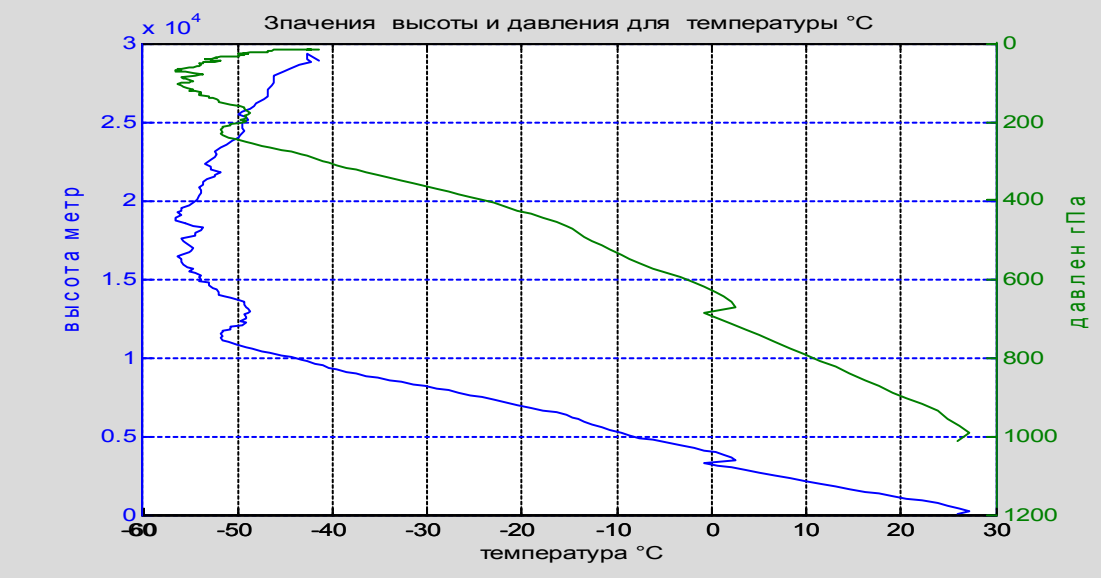


Рисунок 3.10 – Графік значень висоти і тиску для температури

%Додаємо до розміткиосі Y відповідністьтиск = висота

figure, plot(TC,PV),gridon,title('Значеннявисоти і тиску для температури ° C'),

```
xlabel(' температура °C')  ,ylabel('тискгПа '),
set(gca, 'YDir','reverse'),
%get(gca, 'YTick'), %Координатирозмітки осі Y, вектор з координатами розмітки,
% [0     5000     10000    15000    20000    25000    30000]
% Розміткаосі Y, з додаванням до значеньвисотивідповіднихзначеньтиску (барометрична формула)
% Відповідно вектором з координатами розмітки,
set(gca, 'YTickLabel', {'0 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'}).
```

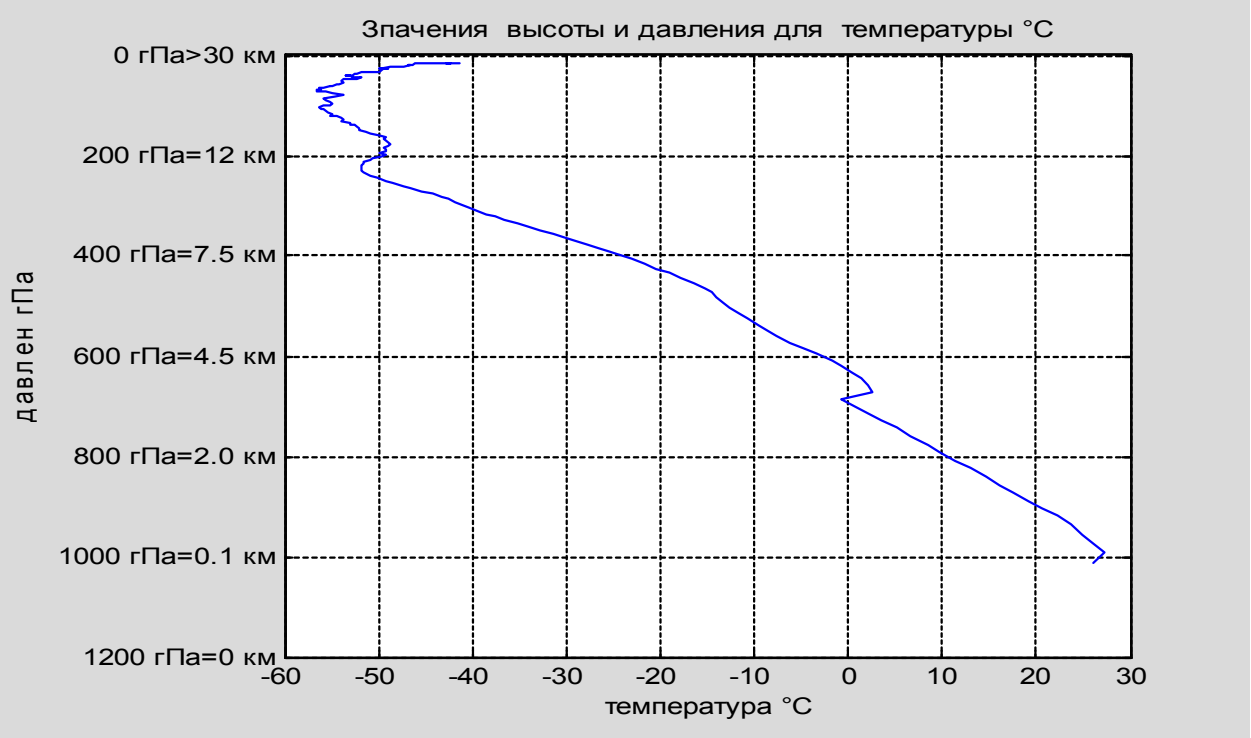


Рисунок 3.11 – Графік значень висоти і тиску для температури з приведенням висоти та тиску

3.7 Барометричний нівелювання. Визначення метеорологічних параметрів на ізобаричних поверхнях

Атмосферний тиск являє собою силу, діючу на одиницю поверхні. Воно є найважливішою характеристикою фізичного стану атмосфери. Відмінності тиску в просторі є причиною руху повітря, а зміни в часі свідчать про проходження атмосферних фронтів і антициклонів, про зміну повітряних мас[23-25].

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

На висоті двох кілометрів повітря більш розріджене і 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 полі тяжіння. На цьому явищі побудований метод барометричного нівелювання. Вимірювання атмосферного тиску є основою барометричного нівелювання.

Барометричне нівелювання - методу визначення різниці висот між двома точками по вимірюваній в цих точках атмосферному тиску. Так як атмосферний тиск, крім висоти над рівнем моря також залежить від погоди, наприклад, від змісту в повітрі водяної пари, то метод застосовується, якщо є можливість провести вимірювання в точках з якомога більш меншим інтервалом між вимірами, а самі точки розташовані не дуже далеко один від одного.

Перевищення між двома точками визначається за формулою Бабині:

$$h = \frac{16000\left(P_1 - P_2\right)}{P_1 + P_2}\left(1 + \alpha\, t\right), \tag{3.7}$$

%=Ізобаричні поверхні, тиск гПа

P_iz=[1000;850;700;500;400;300;250;200;150;100;70;50;30;20;10;5];

```
% вимірюванняатмосферноготиску є основою барометрического нівелювання.
% перевищеннявисотиміждвома точками визначається за формулою Бабині,
%де h перевищенняміждвома точками, м; P1 і P2 тиск на нижньому і верхньомурівнях, гПа;
%alfa-коефіцієнт температурного розширеннягазів, щодорівнює 0,00366; t_срсередня температура шару міжрівнями, °C.
alfa=0.003665;
H_iz=[]; TC_iz=[];U_iz=[];
Fori=1:length(P_iz);
ks=find(PV>P_iz(i));%Визначенняіндексівприякихзначеннябільше
ifks(end)<length(PV);
%барометричної ступені (різницівисот)
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; % Висотаізобаричноїповерхні
%лінійнаінтерполяціятемператури для ізобаричногорівня по найближчихзначеньтемператури і 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
H_iz=H_iz';
```

TC_iz=TC_iz';

U_iz=U_iz';

Алгоритм обчислення висоти ізобаричних поверхонь, складається:обчислення барометричного ступеня (різниці висот) між стандартною барометричною поверхнеюPz_nі найближчим значеннямPm обчисленого тиску, на висотах первинних даних$Pm \in [P_0 \ldots . P¿¿k], ¿$за допомогоюбарометричноїформули, де $Pm > Pz_n$,

$$\Delta hz_n = 8000 \cdot \frac{2 \cdot (Pm - Pz_n)}{(Pm + Pz_n)} \cdot (1 + \alpha \cdot ts), \quad (3.8)$$

де $ts = \frac{t_{k-1} + t_k}{2}$- середня температура °С шару,міжрівнямиобчисленоготиску $Pz_n \in (P¿¿k-1 u P_k); ¿$

Pz_nналежить шару в якомуобчислюєтьсясередня температура.

Висота на ізобарических рівняхвизначається:

$$H_n = H_{n-1} + \Delta hz_n \text{ , } (3.9)$$

де H_0, P_0, t_0–значеннявисоти, тиску і температуриприземленноюобласті.

Температура і вологість на ізобаричномурівнізнаходиться з використаннямлінійноїінтерполяції.

Лінійнаінтерполяціяпередбачаєобчисленняпроміжногозначенняфункції за двома точками (умовнопровівшипрямуміж ними). Наприклад, якщовідомізначенняфункції-температури (ТС) в двох точках висоти (h), ТС (h1) і ТС (h2), то розумноприпустити, щозачитування в третійточцітемператури, щознаходитьсяміж першим і другим значеннямвисоти, можназнайтиграфічно , вона лежить на відрізку, щоз'єднує ТС (h1) і ТС (h2).

$$TC(h)=TC(h1)+\frac{(h-h1)\cdot(TC(h2)-TC(h1))}{h2-h1},(3.10)$$

де $h\in[h1....h2]$знаходитьсявсерединіінтервалувисоти$[h1....h2]$.

Аналогічним чином знаходять значення вологості на ізобаричних рівнях.

Створення графіка значень висоти і тиску для температури атмосфери з двома осями Y, для ізобаричних поверхонь (рис. 3.12).

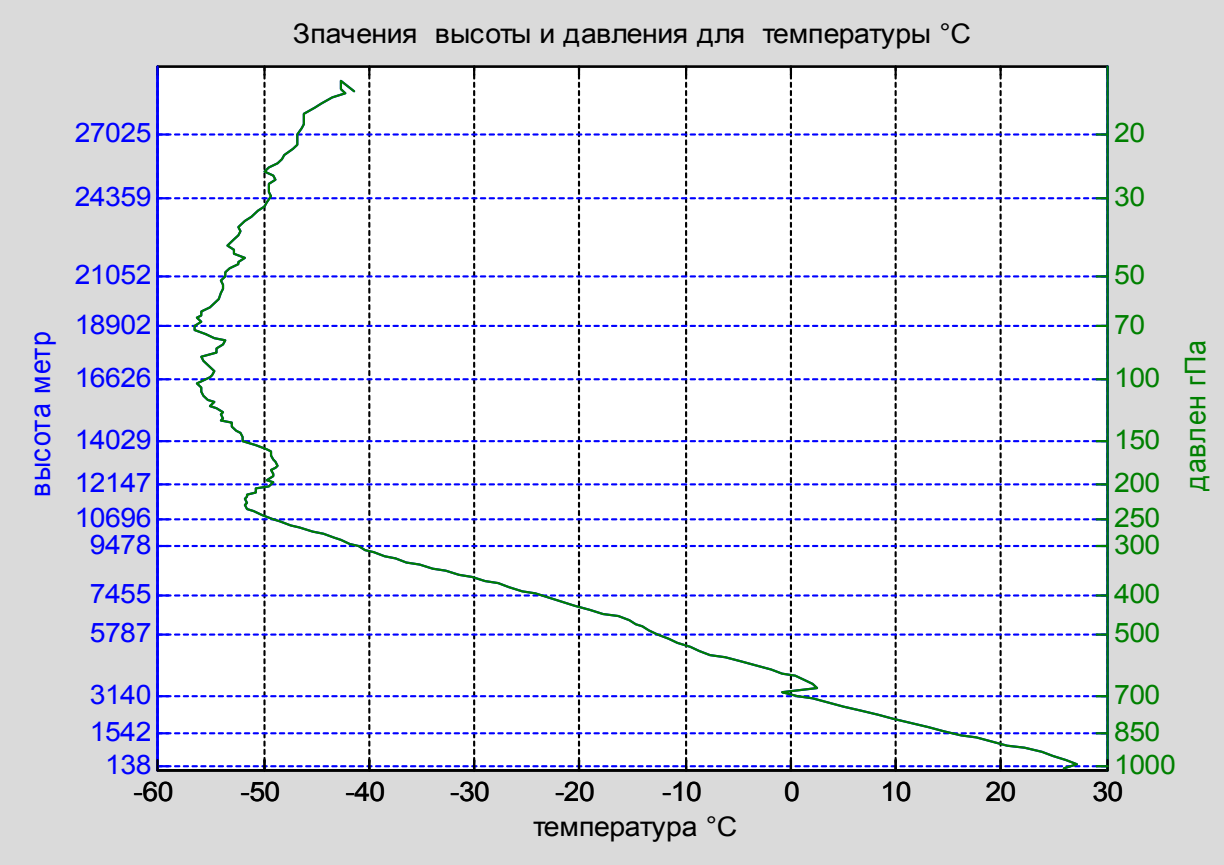


Рисунок 3.12 – Графік значень висоти і тиску для ізобаричних поверхонь температури

Аерологічна діаграма призначена для наочного розрахунково-графічного аналізу і прогнозу аерометеорологічних умов польотів за даними комплексного радіозондування атмосфери. Результати температурно-вітрового радіозондування атмосфери радіозондом заносяться в таблицю

ТАЭ-3 (табл. 3.2). Для представлення результату радіозондування атмосфери створимо текстовий файл результатів розрахунку параметрів радіозондування [6].

```
% Запись в текстовый файл результатов расчета радиозондирования таблица ТАЭ-3
% Создание массива данных для  текстового файла результатов расчета радиозондирования
  % H1 -вектор данных высоты
% PV -вектор данных давления
% TC -вектор данных температуры
Dat_R=cat(2,H1,PV,TC,U,[SM_G(1);SM_G(1);SM_G], V_men1);
st='Lab_5.txt'; %имя файла записи
fid=fopen(st,'w');%Открать файл для записи или перезаписи
fprintf(fid,'  ЛАБ-5  ТАБЛИЦА ТАЭ-3 РЕЗУЛЬТАТОВ РАДИОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ  \n');%Записать строку символов
fprintf(fid,'  \n');
fprintf(fid,'| высота,м  | давление, гПа | температура, °С | влажность, %% | градиент, °С/100м | вертикальная скорость,м/мин|  \n');%Записать строку символов
fprintf(fid,'
----------\n');%Записать строку символов
fprintf(fid,' %8.1f  % 7.1f  %5.1f  %5.1f  %8.4f  %7.1f \n',Dat_R');%
fclose(fid);
```

Таблиця3.2 – ТАЕ-3 результати радіометеорологічних спостережень

Висота,м	Тиск, гПа	Температура, °С	Вологість, %	Градієнт, °С/100м	Вертикальна швидкість,м/хв
43.0	1010.9	26.0	38.0	0.6541	0.0
210.2	991.8	27.3	33.0	0.6541	0.0
378.4	973.0	26.2	31.0	0.6541	333.5
546.0	954.5	24.9	33.0	0.6976	322.3
711.8	936.5	23.8	34.0	0.8528	312.4
880.0	918.5	22.2	36.0	0.8842	314.5
1011.2	904.7	20.6	38.0	0.8936	318.2
1163.4	888.7	19.1	41.0	0.9079	319.5
1323.0	872.3	17.6	45.0	0.9099	319.9
1479.3	856.4	16.2	49.0	0.9147	321.2
1646.4	839.6	14.6	53.0	0.9087	325.9
1812.6	823.1	13.0	57.0	0.9146	331.7
1975.6	807.2	11.4	62.0	0.7425	332.4
2137.6	791.6	9.8	66.0	0.7372	331.1
2301.5	776.1	8.4	69.0	0.7264	330.8
2475.1	759.9	6.7	73.0	0.7300	330.6
2650.3	743.7	5.1	79.0	0.7145	330.5

ВИСНОВКИ

Погода була і буде важлива для людства в будь-які часи. Без знання фактичного значення, наприклад температури повітря і її прогностичного значення, важко собі уявити життя і господарську діяльність сучасного суспільства, коли метеорологічний параметр або його прогноз різної завчасності не враховувався б в тій чи іншій мірі. Це і комунальні служби, і прогностичні підрозділу гідрометеослужби, і будівництво, і енергетика, і багато інших видів господарської діяльності.

Метеорологічне забезпечення господарської діяльності базується на аналізі і прогнозі погоди. Для аналізу метеорологічної ситуації використовуються результати вимірювань, які виконуються за допомогою різних вимірювальних систем наземного і космічного базування. В даний час ефективність метеорологічного забезпечення багато в чому залежить від ступеня оснащення сучасним метеорологічним обладнанням і засобами автоматизації. На сучасному етапі ми переживаємо вибуховий наростання обсягу даних, одержуваних від метеорологічних інформаційно-вимірювальних систем різного призначення і базування: автоматичних метеорологічних станцій загального і спеціального призначення, систем дистанційного зондування наземного (доплеровские метеорологічні радіолокаційні станції, профайлери і т.д.) і космічного (метеорологічні супутники Землі) базування. Всі ці системи в процесі свого функціонування створюють тимчасові ряди, що мають найрізноманітнішу структуру. Причому всі ці системи постійно удосконалюються і розширюються, збільшується їх кількість і вдосконалюється якість одержуваної метеорологічної інформації.

Вимірювальні системи наземного базування зазвичай концентруються на різного роду метеорологічних станціях і постах. На метеорологічних станціях і постах, не обладнаних сучасними автоматизованими

вимірювальними системами, вимірювання проходять в стандартні терміни (з дискретністю 3 ч), однак для деяких галузей - це занадто великий термін. Тому виникла необхідність розвивати та вдосконалювати як обладнання, так і сам принцип роботи наземних метеорологічних станцій.

У зазначеному переліку інформаційно-вимірювальних систем особливе місце займають автоматичні метеорологічні станції (АМС), які вдало поєднують в своєму складі апаратуру для проведення контактних і дистанційних вимірювань. АМС призначені для збору, форматування і передачі інформації про метеорологічні параметри повітряного середовища в центри збору даних по різних каналах зв'язку [26].

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Павлов Н.Ф. Аерологія, радіометеорологія і техніка безпеки / СПб .: Ленінградська друкарня №8, 1980. 434 с.

2. Кисельов В.М., Кузнєцов А.Д. Методи зондування навколишнього середовища / СПб .: Малоохтінскій ін., 98, 1998. 428 с.

3. Зайцева Н.А. Аерологія. – Л.: Гідроміздат, 1990. 325 с.

4. Повчання гідрометеорологічним станціям і постам. Л.: Гидрометеоиздат, вип. IV, ч. III, 2003. 311 с.

5. Перелігін Б.В., Велика О.І. Методидістанційного грунта конусу навколишньогосередовища: Конспект лекцій. Одеса: Екологія, 2012. 179 с.

6. Половко А.М., Бутусов П.М. МАТЛАБ для студентів. СПб .: БХВ-Петербург. 2005. 320 с.

7. Ситов В. Н., Вельміскін Д. І., Лавриненко Ю. В, Лимонов А. С., Перелигін Б. В., Пустовіт Т. М. Аналізсистемиотримання і обробкирезультатів радиозондирования і обгрунтуванняшляхівїїрозвитку // ВісникОдеськогодекржавногоекологічногоуніверситету. 2006. Вип. 16. С. 232-236.

8. Вельміскін Д. І. Удосконаленняметодівпобудовасистеми, щобере та обробкавимірювальної информации з метою моніторингунавколишньогосередовища. НДР №0113 U000164, Розділ 3, 2013. 386 с.

9. Вельміскін Д. І., Лавриненко Ю. В, Лимонов А. С., Перелигін Б. В., Пустовіт Т. М. Розробказагальноїструктуристстеми радіозондуванняатмосфери в Україні. // ВісникОдеськогодекржавногоекологічногоуніверситету. 2016. Вип. 18. С. 12-17.

10. Лазарєв Ю. Моделюванняпроцесів і систем в MATLAB. Навчальний курс. Київ, 2005.512 с

11. Кисельов В.М. Методизондуваннянавколишньогосередовища (атмосфери) / В.М. Кисельов, А.Д. Кузнєцов. СПб .: РГГМУ, 2004. 429 с.

12. Толмачова Н.І. Методи і засобигідрометеорологічнихвимірювань (дляметеорологів) / Н.І. Толмачова / Перм. унт. Перм, 2011. 223 с.

13. Толмачова, Н.І. Аерологія (методизондуванняатмосфери): підручник / Н.І. Толмачова, Н.А. Калінін; Перм. держ. нац. дослідні. ун-т. Перм, 2011.336 с.

14. Гольцман М.І. Основи методики аерофізіческіх вимірювань. М. Л.: ГТТІ, 1950. 300 с.

15. Молчанов П.А. Про точність зондування атмосфери методом радіозондов // Метеорологія та гідрологія. 1936. № 2. С. 30-41.

16. Іванов В. Е., Фрідзон М.Б., Ессяк С.П. Радиозондирование атмосфери. Технічні і метрологічні аспекти розробки та використання радіозондових вимірювальних засобів. Єкатеринбург: Изд-воУрО РАН, 2004. 596 с.

17. Зайчиків П.Ф. Метод "потрійного контролю" і його застосування для дослідження точності радіозондов // Праці ЦАО. Вип. 16. М., 1956. С. 10-15.

18. Решетов В.Д. Мінливість метеорологічних елементів в атмосфері. Л .: Гидрометеоиздат, 1973. 215 с.

19. Марфенко О.В. Оцінка точності результатів радиозондирования на аерологічної мережі Радянського Союзу // Метеорологія та гідрологія. 1969. № 3. С. 14-21.

20. Фрідзон М.Б. Оцінка похибки вимірювань температури і вологості при радиозондирования на аерологічної мережі СРСР // Метеорологія та гідрологія. 1989. № 5.С.25-32

21. FinalreportofCommisionforinstrandmethodsofobservation (CIMO) on 2 sessionoftheworkinggrouponupper-airtechnologybasictouserneeds. DeBilt, Netherlands, 17-21 Sept, 1984.

22. Guidetometeorologicalinstrumentandobservingpractices // WMO. 1984. № 6. 600 p.

23.. Hinzpeter-Max F.E. Thereferenceradiosondeas a toolforimprovingmeteorologicaldatafromconventionalradiosondes. - IEEE Trans. Geosci. Electron., 1973. V. 11. № 2. P. 110-123.

24.. Lenhard R.W. A ravishedassessmentofradiosondeaccuracy // Bull. Amer. Meteorol. Soc. - 1973. - V. 54. - № 7. - P. 691-694.

25. Lenhard R.W. Accuracyofradiosondetemperatureandpressureheightdetermination // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1979. V. 61. № 9. P. 842-846.

26. Richner H., Phillips P.D. Reproducibilityof VIZ radiosondedataandsamesourcesoferror // J. Appl. Meteorol. 1981. V. 20. № 8. P. 954-982.

Додаток А

Графічна частина магістерської роботи

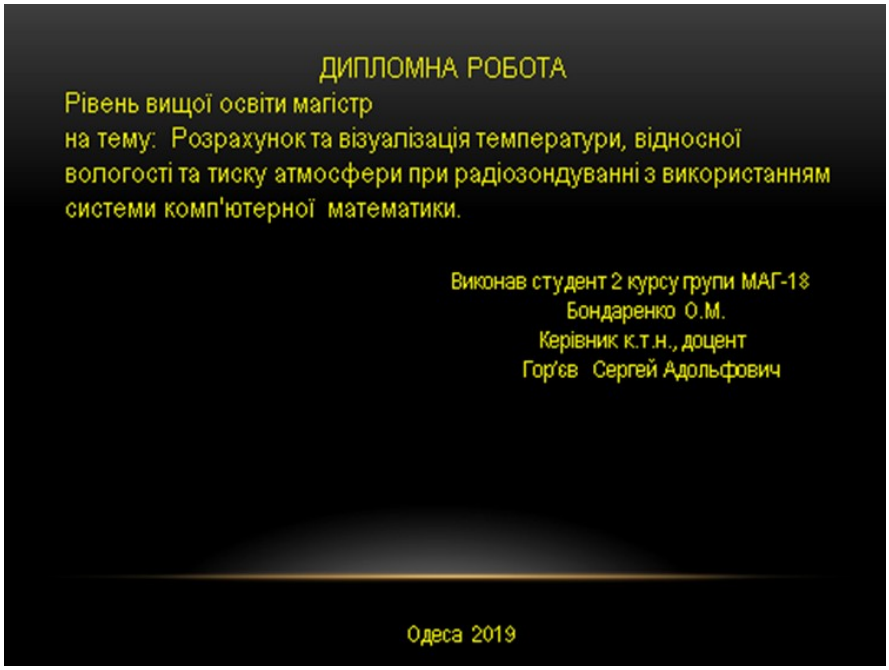


Рисунок А.1 -Розрахунок та візуалізація температури, відносної вологості та тиску атмосфери при радіозондуванні з використанням системи комп'ютерної математики

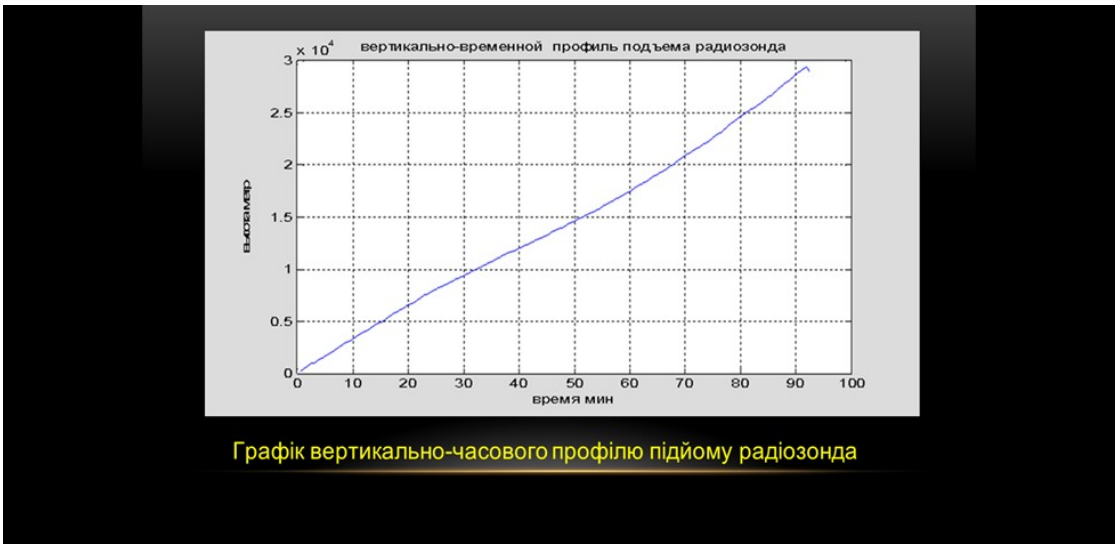


Рисунок А.2- Графік вертикально-часового профілю підйому радіозонда

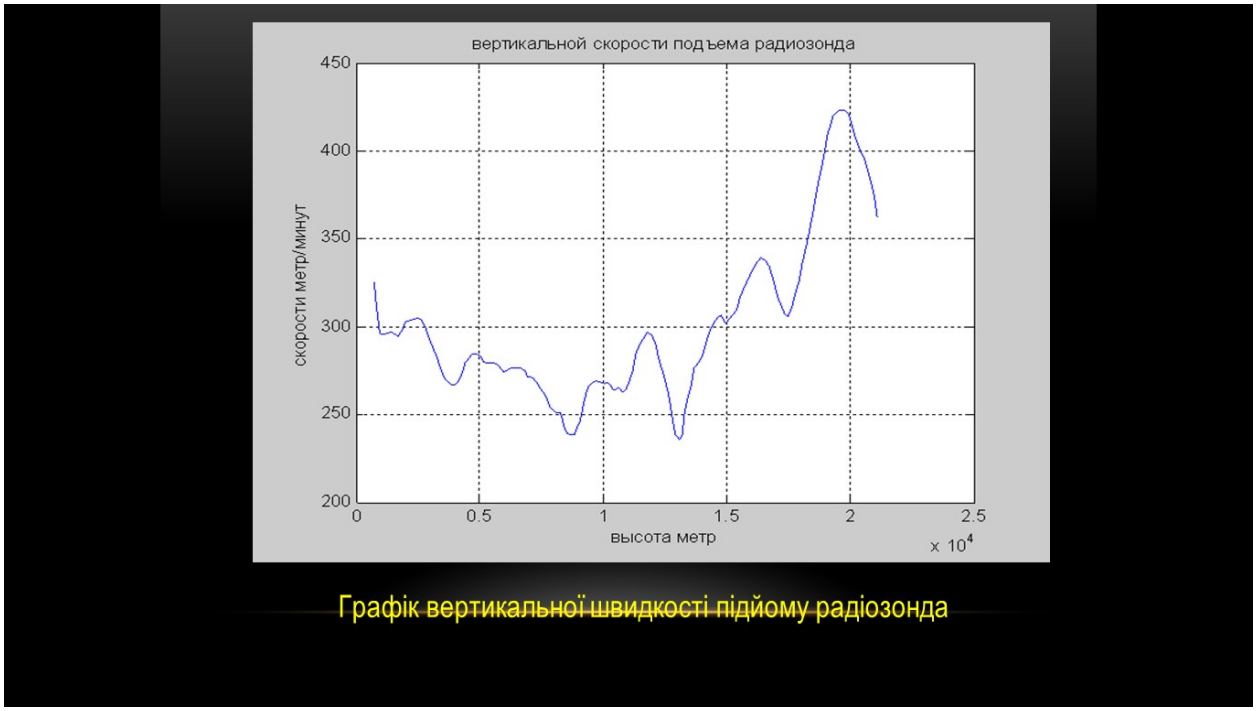


Рисунок А.3 - Графік вертикальної швидкості підйому радіозонда

Рисунок А.4 - Графік розподілу температури та вологості по висоті

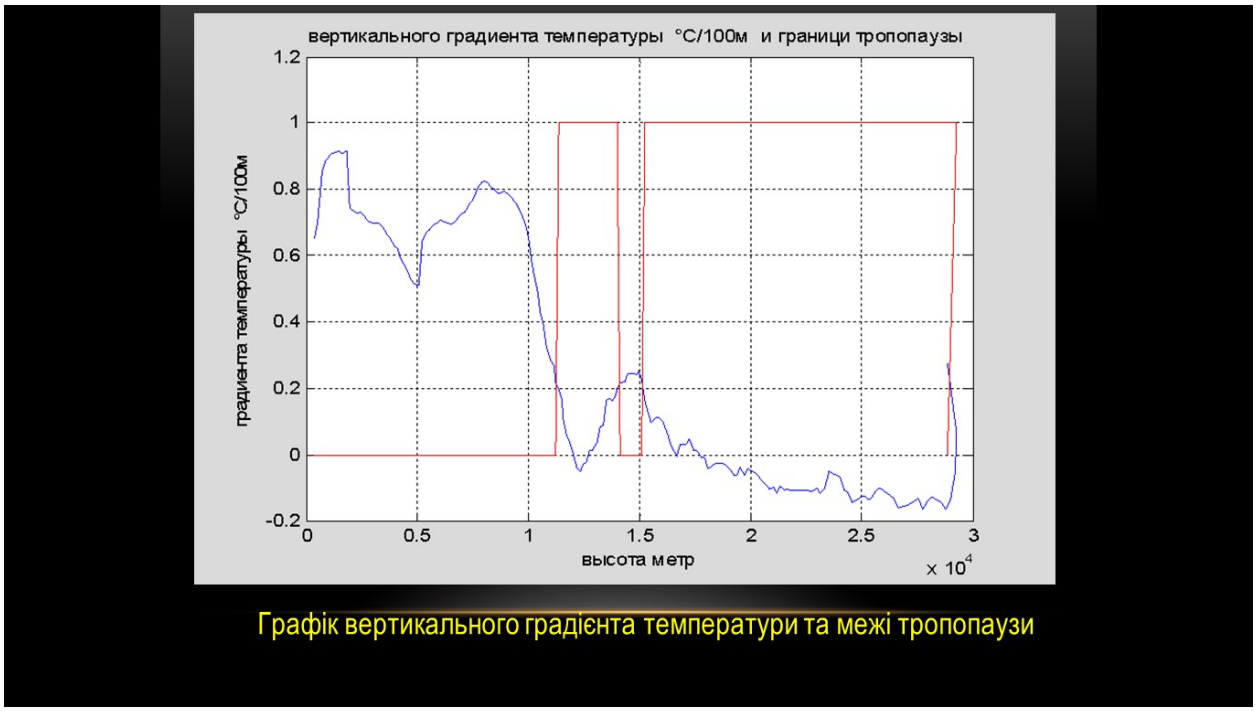


Рисунок А.5 - Графік вертикального градієнта температури та межі тропопаузи

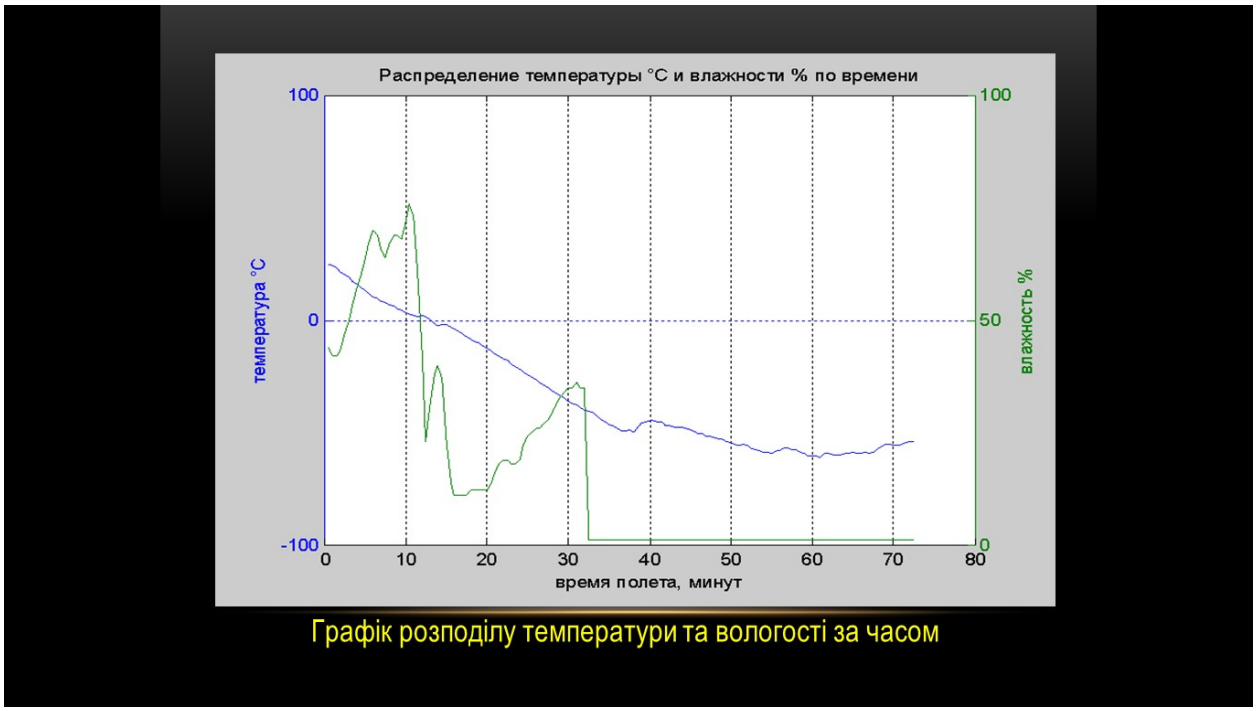
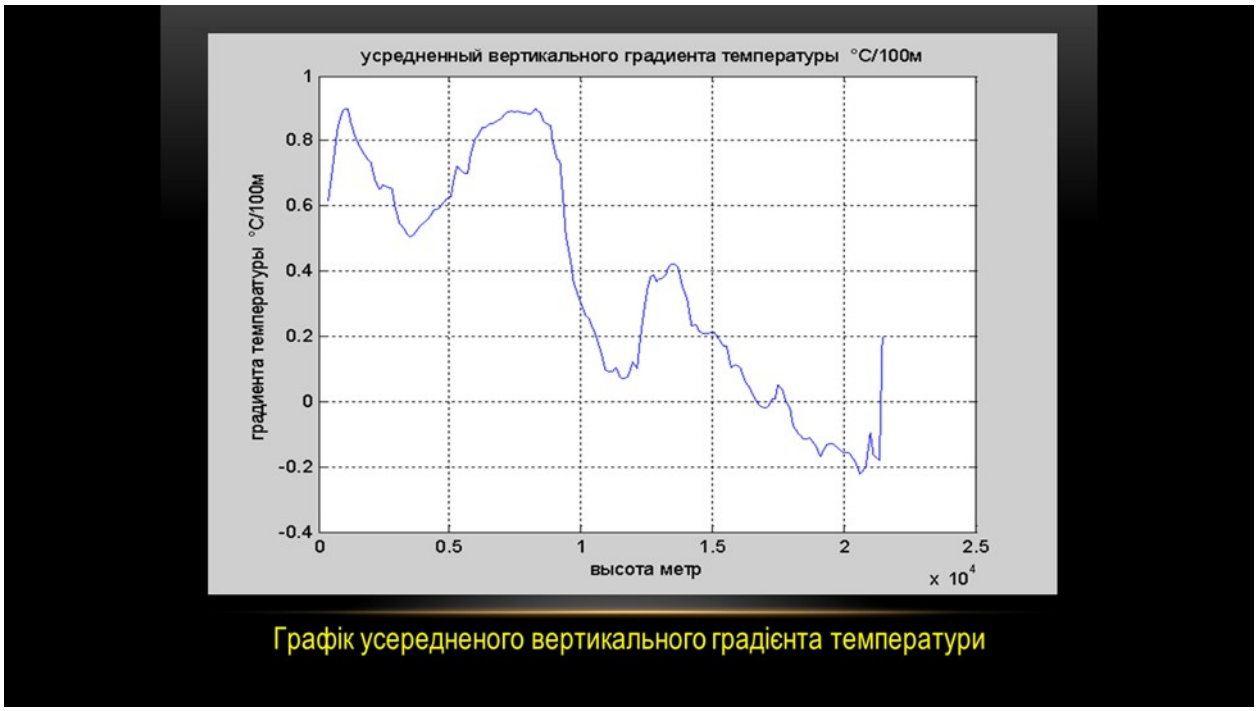
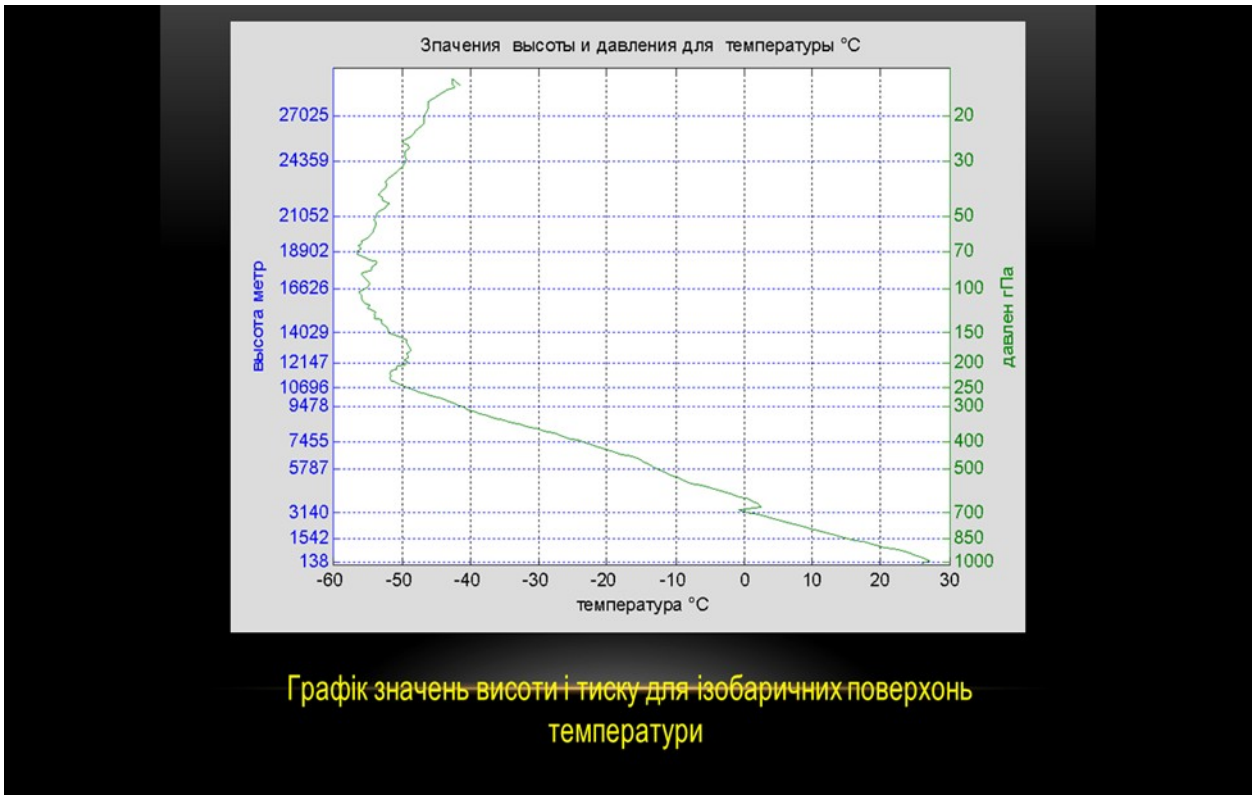


Рисунок А.6 - Графік розподілу температури та вологості за часом



Графік усередненого вертикального градієнта температури

Рисунок А.7 - Графік усередненого вертикального градієнта температури



Графік значень висоти і тиску для ізобаричних поверхонь температури

Рисунок А.8 - Графік значень висоти і тиску для ізобаричних поверхонь температури