

СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОВТ

УДК 551.501.822

В.І. Грабчак¹, П.І. Ванкевич¹, Є.Г. Іваник¹, В.Д. Смичок²

¹Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

²Львівський регіональний центр з гідрометеорології ДСНС, Львів

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИВЧЕННЯ ЗОН З ОСОБЛИВИМИ АЕРОДИНАМІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ У ВЕРХНІХ ШАРАХ АТМОСФЕРИ ДЛЯ УТОЧНЕННЯ БАЛІСТИЧНИХ ПОПРАВОК

Виконано огляд систем зондування атмосфери, виділено кращі світові зразки цих систем, їх технічні характеристики, основну увагу акцентовано на системах цивільного та мілітарного призначення. Проведено дослідження вітрових характеристик атмосфери у вертикальному розрізі на висотах до 30 км. Відзначена важливість врахування наявних у вільній атмосфері зон з особливими аеродинамічними характеристиками та подані рекомендації щодо використання даної інформації при формуванні балістичних поправок ведення артилерійських стрільб.

Ключові слова: атмосфера, аеродинамічні параметри, вітер, висота, зондування, політ, балістичні поправки, швидкість.

Вступ

Роль метеорологічних поправок при проведенні стрільб, пуску ракет, десантуванні тощо можна трактувати як складову тактико-оперативних дій при виконанні певних бойових завдань. Як правило, наземні метеорологічні станції, наприклад ДРМК (десантний розвідувальний метеорологічний комплекс), та інші подібні переносні і стаціонарні метеостанції у більшості випадків не задовольняють вимогам коректного внесення балістичних поправок, оскільки всі необхідні вимірювання виконуються безпосередньо на рівні земної поверхні. У випадку застосування усіх видів артилерійського озброєння або виконання завдань, пов'язаних з використанням літальних пристроїв, однією із основних поправок, від яких залежить успішність виконання задачі, є метеорологічні поправки.

Похибка, яка становить суттєву частину метеорологічних поправок, як правило виникає за умов відсутності інформації про стан атмосфери на різних висотах, зокрема на траєкторії польоту, або у зоні виконання задач. Особливістю похибки є те, що вона зростає зі зміною погодних умов, є непередбачуваною, важко прогнозованою, а найважливіше, що за деяких обставин може бути шкідливою та впливати на остаточний результат виконання бойових завдань. Однією із основних метеорологічних складових є напрям і швидкість вітру на висотах у вертикальному розрізі атмосфери.

Огляд сучасних систем урахування балістичних поправок та аналіз досліджень і публікацій. У процесі внесення балістичних поправок (як метеорологічну складову) при проведенні стрільб, пуску ракет та інше, як правило, використовують інформацію отриману за допомогою метеорологічних радіозондів [1–6]. Аналіз літературних джерел [7–9] вказує, що суттєвого покращення систем зондування атмосфери можна досягнути шляхом використання нових підходів та методик вимірювань в сполученні з розробкою програмних комплексів, адаптованих до середовищ відповідних обчислювальних пакетів, заснованих на математичному моделюванні процесів руху літальних об'єктів в атмосфері.

Систему інформаційних каналів спостережень верхніх шарів атмосфери і метрологічне забезпечення можна розділити на два класи:

1. Канал телеметричної інформації, яким дані частот в цифровому форматі характеристик атмосфери під час польоту зонда передаються на наземне обладнання, декодуються в метеорологічні величини (температура, відносна вологість, атмосферний тиск).
2. Ключовим елементом у проведенні температурно-вітрових та спеціальних вимірювань атмосфери є аерологічний радіолокатор або радіотеодоліт. Інформація про напрямок і швидкість вітру вираховується з положення радіозонда в просторі, обробляється, використовуючи дані траєкторії руху повітряної кулі. Наземне обладнання служить для вираховування

швидкості і напрямку вітру, при цьому використовуються диференційні пристрої «універсальної системи». В основному всі методи засновані на принципі зондування атмосфери за допомогою радіозондів. Розглянемо основні типи систем одержання аерологічної інформації про стан верхніх шарів атмосфери.

Радіотеодоліт є мобільною рухомою установкою, яка повністю відповідає польовим оперативним вимогам. Система складається з модулів, які можуть бути перевезені у вантажному автопричепі. Максимальний рівень автоматизації зменшує кількість обслуговуючих операторів до двох чоловік.

Антенна конічної розгортки використовує приймальну антену, яка генерує сигнал помилки. Для точного вимірювання фізичної і електричної центральної осі антени використовується електронно-механічний спосіб.

Антенна на базі фазованої решітки працює наступним чином: радіохвиля, що приходить від радіозонда до антени приймача з певного напрямку, опрацьовується методом порівняння фаз. Цей метод заснований на використанні простих і точних математичних складових і не залежить від амплітуди сигналу або частоти трансляції. Радіозонд супроводжується до межі зони дії антенно-фазової решітки. Фазовий метод пеленгації дає високу точність автосупроводу без кутових сервомоторів. Синхронні кодери з «нульовою» похилою лінією точно вимірюють механічний напрямок антени. Комбінація механічних і електронних вимірювань дає істинний робочий кут підйому антени (рис. 1).

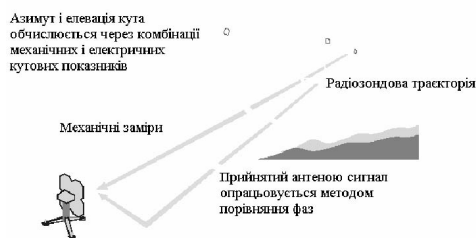


Рис. 1. Схема розміщення і принцип роботи пристрою передачі телеметричної інформації

Радіолокаційний метод зондування з активним автовідповідачем, розміщеним на радіозонді, відображено на рис. 2.

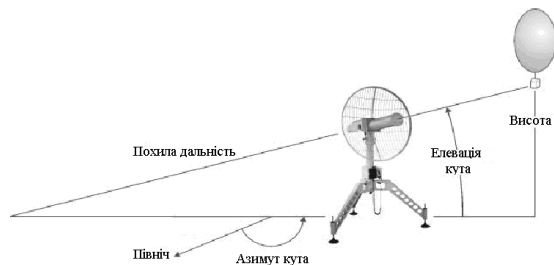


Рис. 2. Радіолокаційний метод зондування

Вимірювання місцеположення радіозонду в просторі під час польоту здійснюється з використанням кутових координат антени, азимута і елевации кута

похилої дальності. Похила дальність від опромінювача антени до радіозонда вимірюється таким чином: радіолокаційна станція (РЛС) періодично передає імпульс запиту в напрямку радіозонда, передавач (відповідач) на радіозонді працює в регенеративному режимі, який дозволяє транслувати дані телеметричного каналу і в момент прийому імпульсу-запиту від РЛС формує імпульс відповіді.

Запропонований метод автосупроводу фазовою антенною решіткою діє строго в межах механічного автосупроводу сервомоторів. Такий метод підвищує швидкість пеленгації, збільшує надійність і зменшує витрати енергії на приведення в дію рухомих механічних вузлів. Він призначений для точного вирахування поля вітру (при зондуванні з літака або ракетному зондуванні) через функцію траєкторії польоту метеорологічного зонда.

Радіозонди – компактні прилади одноразового застосування, що дозволяють використовувати аеростати-оболонки. Система розроблена для оперативного розгортання та використання в польових умовах (рис. 3).



Рис. 3. Радіотеодоліт Vaisala RT20A

Набір вимірюваних даних складається з багатьох параметрів, що можуть кодуватися в окремі формати повідомлень. Це дає змогу економити як засоби вимірювань, так і засоби радіопередачі інформації та канали зв'язку апаратурою опрацювання даних комплексом MARWIN Sounding System MW32 (рис. 4).



Рис. 4. Система опрацювання даних MARWIN Sounding System MW32

Одна стандартна система є багатофункціональною і використовується для:

- балістичних поправок;
- урахування поправки на кривизну Землі та рефракцію радіохвиль;

- акустичного попередження;
- метеорологічних попереджень;
- підтримки тестового ряду;
- екологічного захисту;
- визначення точних даних приземного вітру навіть при складних погодних умовах і в ситуаціях низького підняття зонда над Землею.

Унікальний проект антенної колонки малих розмірів дає хороші результати вимірювань та достовірність опрацювання даних. Блоки антени складаються з чотирьох розбірних модулів. Такі модулі використовуються в якості інтерферометра. За їх допомогою виконуються електронні вимірювання положення азимуту і кута місця антени відносно геометричної осі антени. Конструктивно модулі виконані на основі напівпровідникових елементів. Кожен з чотирьох модулів антенного пристрою має просту і твердотільну конструкцію, завдяки якій впливу зовнішнього середовища піддаються тільки деякі окремі елементи системи.

На сьогодні відомі такі системи навігації, які використовують для супроводу радіозондів при вимірюванні характеристик верхніх шарів атмосфери, тропосфери, стратосфери і нижньої мезосфери:

– Система DigiCORA. Спроектвана для тривалої експлуатації в польових умовах. При розробці її конструкції особливу увагу було приділено її ремонтпридатності, засобам самодіагностики і доступності до елементів.

– Системи зондування атмосфери АВК, Титан. Системи використовуються в Україні і деяких країнах Східної Європи та Азії, розроблені в 1990-2000 роках у різних модифікаціях. Особливістю характеристики даних системи є дальність дії до 200 км та чутливість приймальної системи.

– Наступний варіант – система ЕОЛ системи зондування атмосфери «Метеорит». Була розроблена на стаціонарній основі, монтаж виконано в приміщенні аерологічної станції. Бортова ЕОМ забезпечує обробку даних радіозондування до подачі телеграми; ЕОМ передбачає програму автоматичного самотестування при ввімкненні.

– Система зондування LORAN-C (навігація великої дальності) – наземна система, яка використовує довгий діапазон радіохвиль. Радіопередавачі, які використовують інтервал часу між радіосигналами, отриманими від трьох або більше станцій, щоб визначити позицію судна або авіаційного об'єкта. Поточна версія LORAN працює сукупно з використанням LORAN-C, який діє в низькочастотному діапазоні спектра FM. Багато країн є користувачами системи, у тому числі Сполучені Штати і декілька країн ЄС.

– Системи навігації «Чайка», «Глонас», «Navstar» – радянського і більш пізні модифікації російського

виробництва, використовують точну наземну систему навігації, які працюють в різних діапазонах радіохвиль.

– Система зондування наддовгих хвиль (ULF). Використовується, починаючи з початку 1980 р. для метеорологічних цілей і дослідження. Проте оператори цієї мережі вказали, що мережа припинить функціонувати в межах декількох років. Через це тільки обмежене коло країн використовують цю мережу. Мережа використовує дуже низькочастотну систему радіонавігації, у тому числі станції спостереження. Системна мережа складається з восьми трансляторів сигналів керованих атомним годинником і діють в наднизькочастотному діапазоні.

– Глобальна система (GPS). Має дуже точне розташування і навігаційну систему, що використовує телецентри ретрансляції Американським Департаментом захисту вимірювання інформації і позицій у всьому світі, 24 години на добу. Основою системи є 24 супутники ретрансляції «Navstar» (телецентрів GPS), які транслюють час і передають інформацію безперервно. Супутники виведені на орбіту 20200 км над Землею. Телецентри ретрансляції GPS облітають Землю двічі на добу по надточній орбіті і передають сигнальну інформацію в напрямку Землі. Приймачі GPS беруть цю інформацію і використовують принцип розбиття на трикутники, щоб обчислити точне розташування користувача. По суті, приймач GPS порівнює час, коли сигнал передавав телецентр ретрансляції з часом, коли це було отримане. Різниця часу вказує приймачу GPS, як далеко він знаходиться від телецентру ретрансляції в даний час. З вимірами відстані від декількох ретрансляторів приймач може визначити позицію користувача.

– Локальна антена GPS (наземна). Робота локальної GPS-антени засновано на отриманні сигналів телецентрів ретрансляції GPS в зоні їх дії. Інформація телецентрів ретрансляції має бути підтверджена. Ця інформація використовується для обчислення даних вітру. Для того, щоб вичислити систему процесів потрібно взяти як мінімум чотири або більше різних сигналів ретрансляторів.

Метою статті визначимо методику урахування зон вільної атмосфери з особливими аеродинамічними параметрами для внесення корекції стрільб артилерійських систем та формування відповідного комплексу метеорологічного забезпечення стеження за польотом метеорологічних куль-зондів.

Виклад основного матеріалу

Викладемо деякі теоретичні міркування щодо опрацювання числових даних вітру, для внесення поправок. Розглянемо вплив на траєкторію слабого горизонтального вітру w . Координати x і y снаряда будуть функціями часу t і w . Таким чином

$$x = x(t, w), \quad y = y(t, w). \quad (1)$$

Це отримується тому, що в рівняння руху слід підставляти $\dot{x} - w$ замість \dot{x} . Якщо розкласти вирази (1) для змінних x і y в ряд Маклорена по малій величині w і обмежитись тільки лінійними членами, то отримуємо лінійне наближення

$$\begin{aligned} x &= x(t,0) + \left[\frac{\partial x(t,w)}{\partial w} \right]_{w=0} w, \\ y &= y(t,0) + \left[\frac{\partial y(t,w)}{\partial w} \right]_{w=0} w. \end{aligned} \quad (2)$$

Члени $x(t,0)$ і $y(t,0)$ відносяться до незбуреної траєкторії, яку можна вважати обчисленою згідно із залежностями параболічної траєкторії. Тому для того, щоб використати наближення (2), треба обчислити член

$$\left[\frac{\partial x(t,w)}{\partial w} \right]_{w=0}, \text{ а також аналогічний член } \left[\frac{\partial y(t,w)}{\partial w} \right]_{w=0}.$$

В балістичних задачах особливо не переймаються варіаціями координат x і y вздовж траєкторії, а цікаві лише ці варіації в її кінці, щоб можна було обчислювати варіації дальності і повного часу польоту. Обчислимо в наведеному прикладі варіацію часу польоту T для деякої заданої дальності R . Час T знаходиться з розв'язку трансцендентного рівняння $x(t,k) = R$. Для заданого значення R час T є функцією від k , тобто $T = T(k)$; коли $k = 0$ маємо $T = T_0 = R/v_0$. Диференціюючи по k отримуємо

$$\frac{\partial x}{\partial T} \cdot \frac{dT}{dk} + \frac{\partial x}{\partial k} = 0.$$

Якщо прийняти тут k рівним нулю і позначити

$$\left(\frac{dT}{dk} \right)_{k=0} \text{ через } \delta T, \text{ отримуємо}$$

$$\delta T = -\frac{\delta x}{\dot{x}} = -\frac{-\frac{1}{2}v_0^2 T_0^2}{v_0} = \frac{R^2}{2v_0}$$

і лінійне наближення для T матиме вигляд

$$T = \frac{R}{v_0} + \frac{R^2}{2v_0} k.$$

Лінійні поправки до балістичних траєкторій, обумовлені вітром та іншими відхиленнями від нормальних умов, можна знайти аналогічним способом. У цьому випадку диференціальні рівняння руху звичайно більш складніші, але вони мають дуже суттєву перевагу: вони лінійні. Коефіцієнти цих рівнянь залежать від незбуреної траєкторії, яка припускається відомою.

В деяких випадках такого роду поправки можна отримати безпосередньо з балістичних таблиць без залучення розв'язку відповідних диференціальних рівнянь (у тому числі нелінійних). Поправка на сталий вітер стосується саме таких випадків. Якщо використати рухомі разом з повітрям осі координат, то диференціальні рівняння траєкторії в них будуть такими ж, як в нерухомій системі координат за відсутності вітру. Звичайно тут має місце зміна початкових умов; якщо \dot{x}_0 і \dot{y}_0 є проєкціями початкової швидкості снаряда в нерухомих осях, то в рухомих вони будуть $\dot{x}_0 - w$ і \dot{y}_0 . Дальність R і час польоту T можна отримати з балістичних таблиць; однак це буде дальність відносно повітря, істинна дальність з урахуванням впливу вітру буде $R + wT$. Іншим прикладом такого типу є випадок відхилення густини ρ від її значення для нормальної атмосфери. Якщо ρ , яка визначається рівністю $\rho_0 e^{-hy}$, відрізняється від цього значення сталим множником k , тобто має місце рівність $\rho = k\rho_0 e^{-hy}$, то вплив цієї зміни на рівняння руху можна компенсувати відповідною зміною балістичного коефіцієнта. Справді, множення густини на множник k викликає такий же ефект, як множення балістичного коефіцієнта на величину $1/k$.

Розглянемо урахування впливу вітру зі зміною по висоті. Нехай швидкість вітру рівна 3 м/с у шарі 300 м, 6 м/с – 600 м, – 12 м/с – ще через 300 м і т.д. Використовуючи викладений метод поправок можна знайти вплив вітру, швидкість якого дорівнює 0,3 м/с на перших 300 м висоти і нулю на всіх інших висотах. Позначимо цей вплив через e_1 . Подібним чином вплив вітру зі швидкістю, що дорівнює 0,3 м/с на висоті 600 м і нулю на інших висотах позначимо через e_2 і т.д. Тоді повний вплив вітру визначається залежністю

$$10e_1 + 17e_2 - 35e_3.$$

На практиці для пришвидшення і спрощення обчислень дані такого роду, як числа e_i , що є коефіцієнтами ваги, з якими вітер на різних висотах впливає на загальний ефект, зазвичай представлено в графічній формі [5], а крива, яка отримується, називається кривою коефіцієнтів ваги. Використання цієї кривої дозволяє швидко обчислити сталий вітер, який виявляє такий же ефект, як і заданий змінний вітер. Зазначимо, що в деяких випадках вітри біля поверхні землі і на великих висотах можуть відрізнятися більш ніж на 120 км/г.

Стандартна телеграма результатів зондування атмосфери «Слой» (за 27.01.2015 року строк 00.00

за UTC, 01.30 за Київським часом, аерологічна станція Львів) має вигляд:

СЛОЙ 33393 01000 11401 22304 32408 42610=

де:

СЛОЙ – тип даних;

33393 – код станції зондування (в даному випадку Львів);

01000 – цифри за порядком 01 – дата зондування,

000 – час по Гринвічу;

11401 – 1 – висота усереднення Земля – 1500 м, 14 – напрямок вітру 140 град., 01 – швидкість вітру 1,0 м/с;

22304 – 2 – висота усереднення Земля – 3000 м, 23 – напрямок вітру 230 град.;

04 – швидкість вітру 4.0 м/с;

32408 – 3 – висота усереднення Земля – 6000 м, 24 – напрямок вітру 240 град.;

08 – швидкість вітру 8.0 м/с;

42610 – 4 – висота усереднення Земля – 12000 м,

26 – напрямок вітру 260 град.;

10 – швидкість вітру 10.0 м/с.

Аерологічні станції по Україні зосереджено в таких пунктах: Київ, Кривий Ріг, Львів, Білогірськ, Харків, Одеса, Чернівці, Шепетівка.

На рис. 5 показано графік 3D траєкторії польоту радіозонда в часі (секунди від початку доби). Як бачимо із наведеного, під час польоту радіозонда напрямок і швидкість вітру змінюються з висотою підйому.

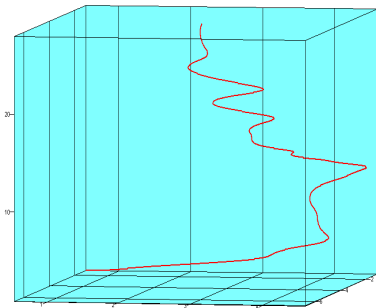


Рис. 5. Графік-3D траєкторії польоту в часі

Основними характеристиками метеорологічних факторів, які суттєво впливають на виконання стрільб можна вважати: температура повітря (базове значення – 15 °С); атмосферний тиск повітря 750 мм ртутного стовпчика (100 КПа) на висоті 110 м над рівнем моря, причому із збільшенням висоти над рівнем моря на кожні 100 метрів тиск падає на 8-9 мм ртутного стовпчика; відносна вологість повітря 50%; вітер вважається відсутнім. Практика ведення бойових стрільб свідчить про те, що дальність польоту збільшується або зменшується залежно від опору повітря. Густина повітря суттєво залежить від температури, атмосферного тиску і вологості; чим вища температура повітря – тим менше його густина, а значить менша сила опору повітря. Відповідно для

дальності у 3000 м відхилення температури на 10 °С для міни 120 мм міномета спричиняє зміну дальності польоту на 21 м. Далі щодо тиску, то на кожні 10 мм зміни атмосферного тиску міна змінює дальність польоту на 5 м, а при зміні тиску на 100 мм дальність стрільби зміниться на 50 м. Табличні поправки на поздовжній вітер із швидкістю 10 м/с складають: для 82 мм мін на другому заряді близько 60-80 м, на третьому заряді – від 84 до 120 м; для 120 мм міномета на зарядах п'ятому і шостому 100 і більше метрів.

На рис. 6 відображено криві трьох телеметричних каналів частот, які несуть інформацію про температуру, вологість та опорну частоту контролю роботи радіозонда.

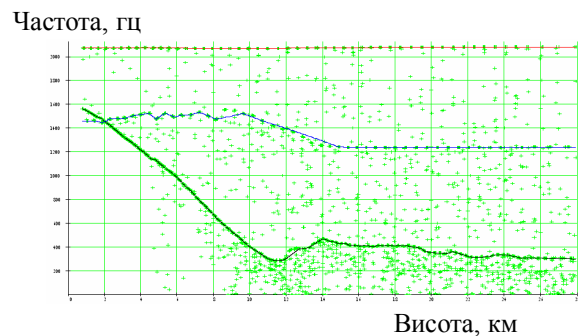


Рис. 6. Первинні дані зареєстрованих частот телеметричного каналу радіозонда

На графіках температури та вологості (рис. 7) позначені особливі точки в атмосфері, що характеризують із заданою наперед похибкою зміну даних параметрів в процесі польоту (зміна з висотою).

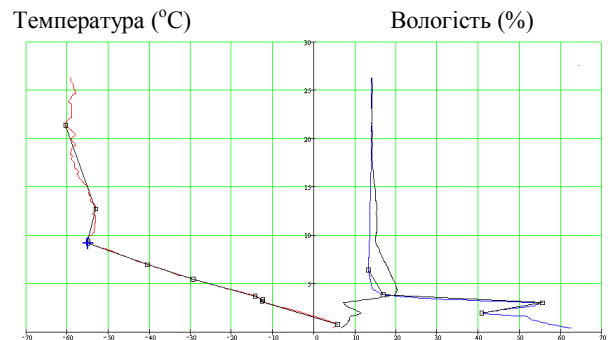


Рис. 7. Особливості температурного та вологісного режиму, який супроводжує політ радіозонда

Перехід від частотних параметрів телеметричного каналу до даних метеорологічних характеристик відбувається за певним розробленим алгоритмом, який передбачає наявність функції фільтрації недостовірних або спотворених даних.

Проте найсуттєвішим з усіх метеорологічних факторів, які впливають на політ снарядів, мін, куль та інше, є наявність бокового вітру.

Графіками на рис. 8 та рис. 9 відображено в процесі підймання зонду зі зміною висоти вертикальну та горизонтальну складові за наявності вітрового чинника.

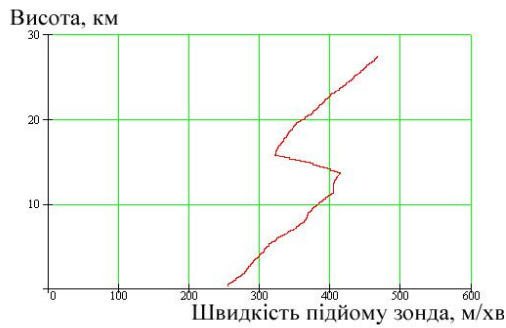


Рис. 8. Вертикальна швидкість підйому зонда в часі – показник вертикальної складової вітру

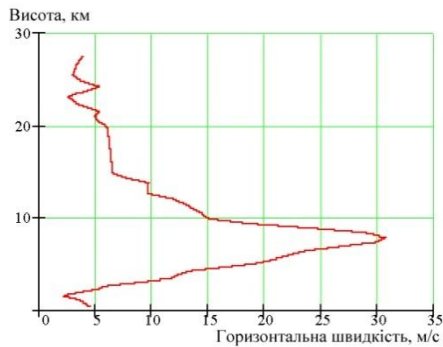


Рис. 9. Горизонтальна складова швидкості підйому зонда в часі

Графічне відображення інформації про переміщення повітряних мас показано на рис. 10.

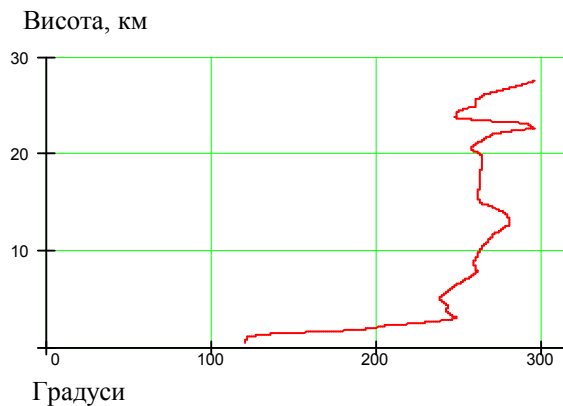


Рис. 10. Напрямок вітру на висотах до 30 км

Математична модель для знаходження горизонтальної та вертикальної складових швидкості вітру, адаптована до пакета MathCAD, складається з процедури, яка розбиває пару векторів «час-координата» на субматриці, для кожної з яких проводять лінійну інтерполяцію та знаходять коефіцієнт пропорційності, який і є середнім значенням похідної на вибраному відрізку в часі.

Коректний вибір зон з особливими аеродинамічними характеристиками у вертикальному профілі атмосфери (назвемо їх «особливі точки»), в нашому випадку «особливі точки» зміни напрямку вітру (рис. 11) та «особливі точки» швидкості вітру (рис. 12), є важливою складовою обробки метеорологічної інформації,

оскільки вони безумовно впливають на результати розрахунку вітрових поправок.

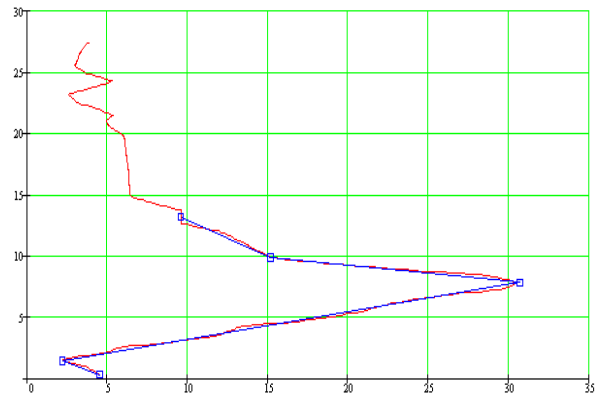


Рис. 11. «Особливі точки» в профілі розподілу швидкості вітру

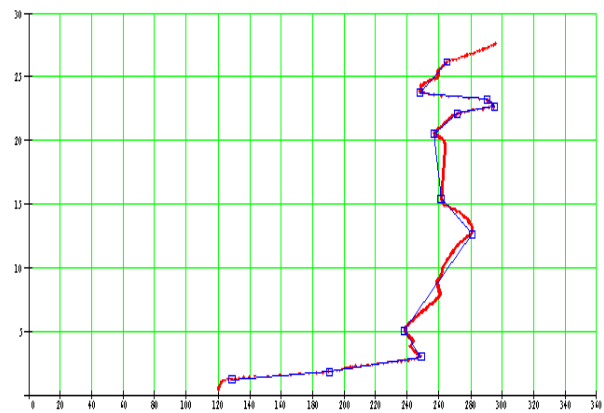


Рис. 12. «Особливі точки» в напрямку вітру

На рис. 13 відображено «особливі точки» напрямку вітру при вітровому зондуванні перед відправкою в канал зв'язку.

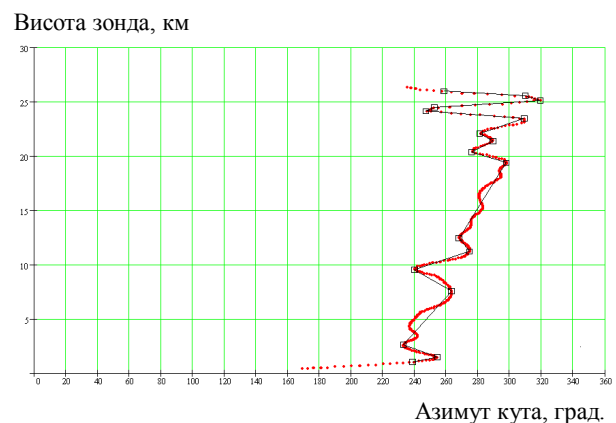


Рис. 13. Аналогове відображення переміщення повітряних мас з відміченими особливими точками

Дослідження горизонтальної швидкості вітру залежно від ступеня розбиття вертикального профілю на вагові шари (різниця в 2 рази) відображено у вигляді графіка на рис. 14.



Рис. 14. Графік, що ілюструє дискретність розвитку вимірювальних параметрів при зміні висоти

На основі отриманих первинних радіолокаційних даних положення зонда в просторі і даних телеметричного каналу розроблено методику ідентифікації відповідних ділянок атмосфери, тобто створено алгоритм пошуку відзначених зон, який задовольняє вимогам поправок і підвищує точність виконання завдання.

Насамперед для коректного виконання алгоритму необхідно мати повний масив даних. З нього для початку обирають усі точки, що претендують на роль «локального» екстремуму, тобто більші або менші від своїх сусідів справа та зліва одночасно. При достатньо «зашумлених» даних теоретично можна припустити, що локальними екстремумами будуть усі точки, якщо крива іде зигзагом [7]. Для розрахунків використовується потужний та прозорий для розуміння апарат векторного представлення даних пакета MathCAD [8]. Функція представлена у вигляді двох векторів однакової розмірності («час-значення функції» або «номер змінної – значення функції»). Особливі точки також заносяться у два вектори, для початку процедури для цих векторів виберемо розмірності 2 – це відповідає початковому та кінцевому значенню відповідної кривої. Процедура формує матрицю особливих точок, що складається з двох векторів. Відповідним чином організований цикл розшукує усі локальні екстремуми, що уможливує прискорення розрахунків, з тим, щоб у цілому не перевіряти усі наявні точки.

Остаточо алгоритм пошуку зон з особливими характеристиками у верхніх шарах атмосфери складається з таких кроків:

- векторизована функція знаходить величину відхилення (вектор R) реальної кривої від усіх точок ламаної, проведеної шляхом лінійної інтерполяції між наявними (поки що двома) особливими точками;
- максимум, знайдений шляхом аналізу значень вектора R , характеризує максимальне відхилення ламаної від кривої;
- якщо відхилення перевищує допустиме стандартом для даного параметра, виконується пошук місця цього найбільшого відхилення, після чого формується масив з двох векторів-претендентів, сортований по зростанню абсцис.

Наступний блок команд, реалізований в пакеті MathCAD, виконує повторний прохід по вже фільтрованому масиву точок претендентів на значення особливої точки: O_s – матриця особливих точок; H – висота; OOS – масив з двох векторів-претендентів; E_f – діапазон значень параметрів циклу.

Відповідним чином організовані процедури розбивають пару векторів «час-координата» на субматриці, для кожної з яких проводять лінійну інтерполяцію та знаходять коефіцієнт пропорційності, який і є середнім значенням похідної на вибраному відрізку в часі.

```

while MR > d
  k ← k + 1
  for l ∈ 0 .. rows ( AH ) - 1
    if R_l = MR
      Int ← l
      break
  Os_{k,0} ← AH_{Int} + rnd ( 0.0001 )
  Os_{k,1} ← Ef_{Int}
  Os ← csort ( Os , 0 )
  R ← | ( Ef - linterp ( Os_{(0)}, Os_{(1)}, AH ) ) |
  MR ← max ( R )
OOS ← ( Os_{0,0} Os_{0,1} )

```

На завершення висловимо деякі міркування стосовно одного з найважливіших застосувань методу малих поправок – приведення результатів експерименту до нормальних умов [9–12]. Візьмемо для прикладу експериментальні стрільби з визначення дальності. Якщо під час стрільби був попутний вітер w , снаряд буде мати дальність більшу, ніж очікувана. Якщо на вітер w не буде внесено поправки, то таблиці стрільби, засновані на цьому експерименті, будуть зміщені, і снаряди при різних напрямках вітру (роза вітрів) в середньому будуть лягати ближче, ніж передписано таблицями стрільби. Таким чином значно важливіше виключити вплив вітру з результатів, отриманих під час експериментальних стрільб, ніж враховувати його в умовах реального ведення бойових стрільб.

Висновки

Проведено аналіз існуючих методів метеорологічних (вітрових) поправок для удосконалення «таблиць стрільб» і «таблиць пуску ракет». Розроблено алгоритм пошуку зон в атмосфері з особливими аеродинамічними температурно-вітровими характеристиками та запропоновано методику внесення відповідних поправок з урахуванням наявних ділянок, яка полягає в тому, що при внесенні поправок доцільно використовувати інформацію про наявні особливості в напрямку і швидкості вітру у вертикальному профілі атмосфери; враховувати час польоту спостережуваного літального об'єкта у шарі атмосфери, який володіє певними особливостями щодо аеродинамічних характеристик.

Список літератури

1. Інструкція з оцінювання якості гідрометеорологічних спостережень і робіт. – К.: Державна гідрометеорологічна служба, 2009. – 184 с.
2. Лозинський А. Розв'язування задач з електро-механіки в середовищах пакетів MathCAD і MATLAB / А. Лозинський, В. Мороз, Я. Паранчук – Вид-во Державного університету «Львівська політехніка». Львів, 2000. – 166 с.
3. Проблеми числового диференціювання зашумлених даних аерологічних радіолокаційних вимірювань / В. Смичок, О. Бурнаєв // Серія фізична. Львівський національний університет імені Івана Франка. – Вип. 36. – С. 206–219.
4. Прогнозування гроzoneбезпечних явищ на основі ймовірнісних моделей процесу пасивної реєстрації та пеленгації блискавок / В. Смичок, В. Данилович // Теоретична електротехніка. – Вип. 60. – 2009. – С. 78–83.
5. Савкин Л.С. Метеорология и стрельба артиллерии / Л.С. Савкин, Б.Д. Лебедев. – М.: Воениздат, 1974. – 144 с.
6. Винниченко Н.К. Турбулентность в свободной атмосфере / Н.К. Винниченко, Н.З. Пинус, С.М. Шметер, Г.Я. Щур. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 336 с.
7. Автоматична система реального часу для візуалізації і прогнозування куль-зондів / В.Д. Смичок, В.І. Чигінь, В.П. Данилович, О.М. Бурнаєв // Перспективи розвитку озброєння і військової техніки. – Вип. 1 (4). – 2011. – С. 38–42.

8. Грабчак В.І. Апроксимація функції аеродинамічних коефіцієнтів сили опору повітря методом найменших квадратів / В.І. Грабчак // Військово-технічний збірник. – № 2(7). – 2012. – С. 20-24.

9. Дьяконов В. MathCAD 2000: учебный курс / В. Дьяконов. – СПб.: Питер, 2000. – 592 с.

10. Грабчак В.І. Проблемні питання створення і формування стрільби артилерійських систем / В.І. Грабчак, П.І. Ванкевич, Є.Г. Іваник // Збірка доповідей (тез доповідей) науково-технічного семінару 27-28 березня 2013 р. «Перспективи розвитку ракетних військ і артилерії сухопутних військ», Львів. – 2013. – С. 120–122.

11. Розрахунок дериваційного відхилення літальних апаратів, що обертаються / [В.І. Макеев, В.І. Грабчак, П.Є. Трофименко, Ю.І. Пушкарєв] // Системи управління, навігації та зв'язку. – Вип. 3(7). – 2008. – С. 116-119.

12. Обоснование рациональной системы поправок при стрельбе активно-реактивными снарядами (минами) / [В.И. Грабчак, В.И. Макеев, П.Е. Трофименко, Ю.И. Пушкарєв] // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – № 4. – 2009. – С. 3-9.

Рецензент: д.т.н., доц. Фединець В.О., Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів.

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗУЧЕНИЯ ЗОН С ОСОБЕННЫМИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ В ВЕРХНИХ СЛОЯХ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ПОПРАВОК

В.И. Грабчак, П.И. Ванкевич, Е.Г. Иваник, В.Д. Смичок

Выполнен обзор систем зондирования атмосферы, выделены лучшие мировые образцы этих систем, их технические характеристики, и основное внимание акцентировано на системах гражданского и военного назначения. Проведено исследование ветровых характеристик атмосферы в вертикальном разрезе на высотах до 30 км. Отмечена важность учета имеющихся в свободной атмосфере зон с особенными аэродинамическими параметрами и даны рекомендации использования данной информации при уточнении баллистических поправок ведения стрельбы артиллерийскими системами.

Ключевые слова: атмосфера, аэродинамические параметры, ветер, высота, зондирование, полет, баллистические поправки, скорость.

METROLOGICAL PROVIDING OF INVESTIGATION OF THE ZONES WITH UNUSUAL AERODINAMICAL PARAMETERS IN THE UPPER ATMOSPHERE LAYERS FOR BALLISTIC CORRECTIONS

V.I. Grabchak, P.I. Vankevych, E.G. Ivanyk, V.D. Smychok

Is made of a review of sensing the atmosphere, thus isolated world's best examples of these systems, their specifications, and focus paid to systems and military dual purpose. A study of wind characteristics in the vertical section of the atmosphere at altitudes up to 30 km. Proved the relevance consideration available in the free atmosphere zones with unusual characteristics and recommended the use of this information in ballistic corrections.

Key words: atmosphere, aerodynamic parameters, wind, altitude, sound, flying, ballistic corrections, speed.