

УДК 551.508.822+621.396.67

<sup>1</sup>В.І. Чигінь, д.ф.-м.н., проф.<sup>2</sup>О.П. Красюк, к.військ.н.<sup>3</sup>В.Д. Смичок, к.т.н., доц.**СИСТЕМА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТРАЄКТОРІЇ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ КУЛЬ-ЗОНДІВ**<sup>1,2</sup>Академія сухопутних військ ім. Петра Сагайдачного<sup>3</sup>Львівський обласний центр з гідрометеорології МНС України

E-mail: vchygyn@gmail.com

*Розглянуто створену і випробувану систему тривимірної візуалізації траєкторії польоту метеорологічних куль-радіозондів у реальному часі для підвищення безпеки польотів військової та цивільної авіації. Зазначено, що основою системи тривимірної візуалізації є модернізація радіолокаційної станції з використанням комп'ютерних технологій.*

**Ключові слова:** безпека польоту, метеорологічний радіозонд, траєкторія польоту.

**Постановка проблеми**

Аерологічні куль-зонди є об'єктами підвищеної небезпеки для військової авіації, оскільки наповнені воднем, кількість якого в тротиловому еквіваленті становить 1,5 кг. Діаметр оболонки у верхніх шарах атмосфери сягає 6–8 м. Крім того, для швидкісних літальних апаратів небезпечною є навіть маса зонда, яка дорівнює 1000 г. Висота підйому зонда може сягати 30 км, а час польоту – до 2 год.

Куля-зонд піднімається зі змінною швидкістю, яку неможливо прогнозувати наперед, оскільки вона залежить від стану латексної оболонки та погодних умов на різних висотах в атмосфері. Напрямок руху на різних висотах непередбачуваний і може змінюватися згідно з метеостатистикою до 80° на 100 м підйому.

У разі наявної зростаючої частоти польотів та знаходження зондів у повітрі двічі на добу протягом 1–1,5 год (у нештатних випадках можливе «зависання» зонда і тривалий дрейф добами на невизначеній висоті) імовірність зіткнення зростає. Проте куля-зонд є невидимою для радіолокаційних станцій системи ППО і служб авіааруху через використання органічних матеріалів та малого вмісту металів.

**Аналіз досліджень і публікацій**

Для уникнення зіткнень за чинними нормативними актами проводяться такі процедури [1]:

1) затвердження розкладу проведення запусків метеорологічних радіозондів на 6 міс. з погодженням зацікавленими державними органами:

- Повітряними силами Збройних сил України;
- Украерорухом;
- Районним авіадиспетчерським центром;

- Державною прикордонною службою;
- Штабом цивільної оборони Міністерства надзвичайних ситуацій;

2) оперативне одержання дозволу на зондування за 1 год та за 10 хв до графіка;

3) передача телефонним каналом авіаційній диспетчерській службі напрямку старту зонда від землі (на 100-метровій висоті вітер може поміняти напрямок до 80°), а також середніх напрямків і швидкостей вітру в метеошарах;

4) нормативна процедура складання прогнозу зміщення радіозонда, яку виконує авіаційна метеорологічна служба.

Незважаючи на проведення таких об'ємних заходів контролю методи попередження зіткнення некерованих аерологічних куль-зондів із літальними апаратами на території України не відповідають необхідному рівню безпеки.

Основним недоліком є відсутність контролю за польотом куль-зонда в реальному часі. Існуючі засоби обробки аерологічної інформації не дають можливості в оперативному режимі отримати положення зонда та напрямку його руху.

Нормативна процедура складання прогнозу зміщення радіозонда використовує дані зондування атмосфери, що проводяться один раз на добу. Підрахунок прогнозованих параметрів польоту зонда виконується вручну. Траєкторія зонда наноситься на карту у двовимірному просторі. Тому можна стверджувати про низьку достовірність прогнозування місцезнаходження кулі і зниження цієї достовірності з часом, особливо при різких змінах погодних умов [2].

**Мета роботи** – створення системи тривимірної візуалізації (СТВ) траєкторії польоту метеорологічних куль-радіозондів, яка в реальному

часі може надати можливість авіадиспетчерській службі достовірно контролювати знаходження кулі-зонда і отримувати безперервний коротко-терміновий прогноз її зміщення в повітряному просторі.

Додаткова інформація про параметри повітря особливих точках шарів атмосфери дозволять вносити корекції при стрільбах. Така система створюється вперше на основі модернізації ряду блоків існуючої радіолокаційної станції (РЛС), виготовлення принципово нових блоків приймання телеметричної інформації та оцифровки аналогових сигналів і написання відповідного комп'ютерного програмного забезпечення. При цьому використовується цифрова система реєстрації та реальні дані вітру на висотах.

### Принцип роботи системи тривимірної візуалізації

Блок-схема СТВ траєкторії польоту метеорологічного зонда включає:

- радіозондову латексну оболонку;
- метеорологічний радіозонд;
- приймальну РЛС;
- блок спряження (рис. 1);
- комп'ютер зі спеціалізованим програмним забезпеченням;
- пристрій виводу даних.

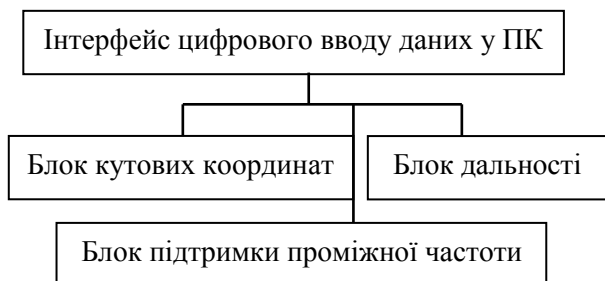


Рис. 1. Структурна схема блока спряження

Параболічна антена модернізована з використанням РЛС типу «Метеор». Її діаметр становить 180 см, коефіцієнт підсилення – 400, елевация за азимутом –  $0...360^\circ$ , за кутом місця –  $12...90^\circ$ .

Інтерфейс цифрового вводу даних в ПК призначений для перетворення аналогових сигналів у цифрові.

Блок кутових координат підключений до сільських кутів точного відліку блоку МТ-62 РЛС. Блок каналу дальності з'єднаний із сільськими грубого і точного супроводу цілі за

дальністю в блоці МТ-51 РЛС. Ці два блоки вводять дані в ПК через порт COM-1 або USB.

Блок підсилувача проміжної частоти 30 МГц з'єднаний із каналом телеметричної інформації і служить для передачі даних у блок оцифрування, який вставлено у слот комп'ютера.

Усі блоки мають гальванічну розв'язку від РЛС для захисту від високих напруг та електромагнітних впливів. Такий захист виконано на основі оптопарі інфрачервоного зв'язку ПК.

Уведення блоку спряження дало можливість комп'ютерного контролю та автоматичного опрацювання даних вимірювання в реальному часі польоту зонда.

Система тривимірної візуалізації працює у такому порядку.

Куля, наповнена воднем, з прив'язаним до неї радіозондом у визначений час пускається у вільну атмосферу.

Сигнали від радіозонда передають у певній послідовності циклічно дані про виміряні параметри температури, вологості і атмосферного тиску.

Антенна система в режимі автосупроводу проводить відлік напрямку польоту, кута місця і дальності до радіозонда.

Прийняті аналогові сигнали передаються у створений блок.

Перетворені блоком сигнали у цифрову форму в реальному режимі часу передаються у ПК.

На дисплеї ПК висвітлюються всі параметри траєкторії польоту і метеодані.

У момент пуску оператор натисканням клавіші на клавіатурі ПК включає запис даних зондування.

Час польоту записується на вінчестер ПК.

Файл запису автоматично створюється програмою в момент пуску.

Як приклад, частина файлу, в якому у першій колонці внесено час від початку доби  $t$ , наведено в таблиці.

Файл запису параметрів польоту

t, с	Alfa	Beta	D	F, Гц
7793	5929	868	575	1655
7794	5931	871	576	1653
7795	5935	871	577	1652

Alfa і Beta – кутові сферичні координати в кількостях імпульсів ( $90^\circ$  відповідає 10 000 імпульсів), D – віддаль до зонда в імпульсах (1 м

відповідає 1 імпульсу),  $F$  – частота телеметричного каналу.

Після завершення реєстрації цей файл зчитується програмою обчислення аерологічних параметрів.

### Програмне забезпечення системи

Для опрацювання даних вимірювань СТВ використано фізико-математичні залежності від висоти тиску, температури і вологості атмосфери, а також алгоритм штучного інтелекту для отримання параметрів атмосфери в особливих точках [3].

Для підтримки працездатності СТВ створено оригінальне програмне забезпечення, яке включає:

- програму реєстрації параметрів польоту зонда і телеметрії реального часу (Паскаль, MS-ДОС 6);

- комплект прикладних програм обробки температурно-вітрового зондування (MathCad під WinXP та вищих версій).

У цей комплект входять блоки:

- підготовки даних (занесення і контроль сертифікату зонда, параметрів приземної погоди);

- обробки вітрового зондування;

- обробки метеорологічних характеристик з висотою;

- вибору особливих точок;

- формування звіту;

- виводу результатів (ТАЕ-3, графіки і телеграма) на принтер.

Усі блоки мають автоматичний контроль даних і результатів (додатково до візуального контролю аеролога).

### Методика проведення випробувальних зондувань атмосфери

Система тривимірної візуалізації випробувалася на аерологічних станціях Львова та Одеси. Достовірність отриманих даних перевірялась їх порівнянням з аналоговим поданням результатів опрацювання даних РЛС «Метеор», а також порівнянням траєкторії польоту зонда, отриманої комплексом і РЛС Львівського районного диспетчерського центру та військової частини Збройних сил України. В останньому випадку застосовувалися засоби візуалізації кулі для сторонніх РЛС. Вимірювання проводилися протягом року при різних погодних умовах (туман, дощ, сніг, град, антициклон).

Експериментальні і теоретичні дослідження за допомогою СТВ та існуючої РЛС залежностей параметрів польоту радіозонда у вільній атмосфері від вертикального розподілу параметрів атмосфери проводили в широких діапазонах.

Так, вертикальна і горизонтальна складові швидкості піднімання змінювались у межах 0...400 м/хв, вертикальна кутова складова напрямку руху – 0...90°, горизонтальна – 0...360°. При цьому тиск атмосфери змінювався від приземного 1014 до 1 ГПа на висоті 32 км, температура повітря від +31 до -75 °С, відносна вологість від 5 до 100 %, напрямок вітру від 0 до 360°, швидкість вітру від 0 до 68 м/с.

### Аналіз отриманих результатів

Тривимірну траєкторію польоту радіозонда, отриману за допомогою модернізованої системи, показано на рис. 2.

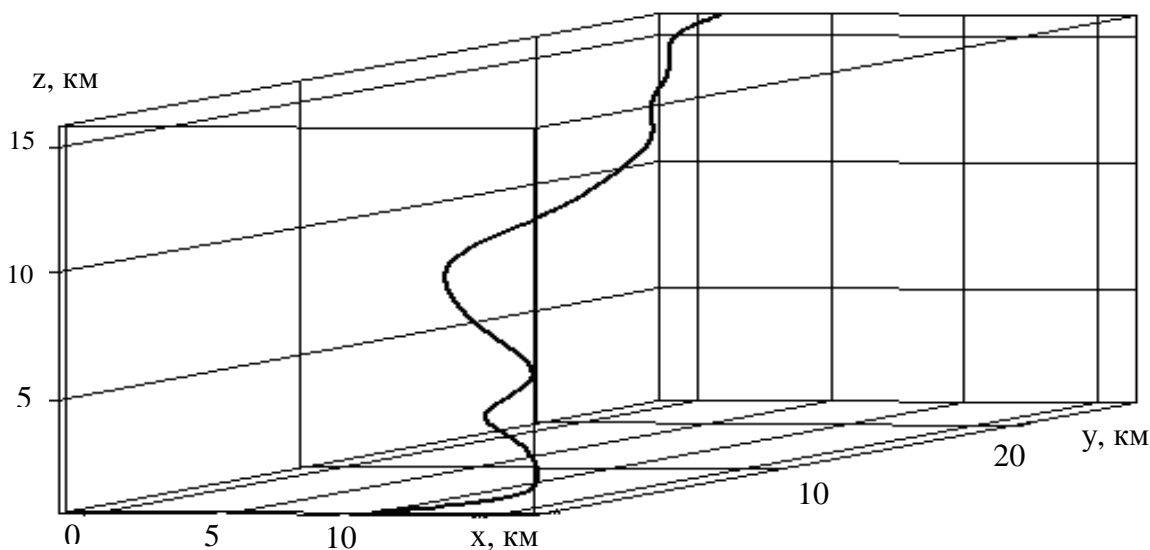


Рис. 2. Траєкторія польоту радіозонда у тривимірному просторі на терміналі авіадиспетчера

Лінія траєкторії достатньо наглядно і з високою роздільною здатністю дозволяє бачити положення зонда у кожній точці вільного польоту.

Кількісні дані про траєкторію польоту висвітлюються при підводі курсора мишки до відповідної точки на траєкторії.

Отримані залежності надають додаткову інформацію про знаходження радіозонда на різних висотах атмосфери і використовуються авіадиспетчером під час керування польотами літаків.

Результати вимірювань дозволили встановити, що роздільна здатність вимірювання висоти кулі-зонда за допомогою СТВ становить 6 м, тоді як метеорологічні РЛС забезпечують 160 м.

Система тривимірної візуалізації дозволяє встановити відстань до кулі-зонда з точністю до 10 м на дистанції до 300 км. Дані в СТВ знімаються через кожну секунду на відміну від 30 с у РЛС «Метеор».

### Висновки

Створена СТВ дозволяє провести модернізацію існуючих аерологічних станцій, залишаючи базове обладнання без змін, замінюючи аналогово-механічну систему реєстрації даних на комп'ютерну реєстрацію та опрацювання даних у відповідних стандартах.

До переваг комплексу слід віднести:

- суттєве підвищення точності і швидкості опрацювання даних;
- можливість виконання всіх операцій одним техніком замість трьох;
- скорочення часу підготовки радіозонда до випуску, часу обчислення і критичного контролю результатів до отримання телеграми від 4 год до 15 хв;
- спрощення проведення обчислень при вертикальних кутах переходу антени через зеніт, що становить проблему при ручній обробці;
- спрощення адаптації до роботи з новими типами зондів, що полягає в зміні програмного забезпечення без змін матеріальної частини.

Пропонується модернізація найбільш застарілих блоків електромеханічного реєстратора, лічильників і подільників частоти існуючих РЛС, в той час, як найдорожчі частини антенно-фідерного обладнання (виконані для військових замовлень і є зносостійкими, точними і надійними), залишаються без змін. При цьому немає потреби в атестації, оскільки СТВ складається зі стандартних комп'ютерних блоків і програм відомих світових виробників.

При додатковій модернізації СТВ можна контролювати польоти снарядів-зондів, відображаючи їх тривимірні траєкторії і важливі параметри польотів. Інформація про параметри «особливих точок» у метеосферах атмосфери дозволить вносити корекції при стрільбах. Пропонується ввести таблицю густини шарів атмосфери з дискретністю, необхідною для обчислення поправок для стрільб, та за допомогою СТВ досліджувати характеристики траєкторій снарядів і військових літальних апаратів за різноманітних балістичних і метеорологічних умов. Тривимірна система динамічного контролю над картою місцевості дозволить отримати корекції стрільб і польотів апаратів та проводити їх спрощений аналіз на ПК.

### Література

1. *Про затвердження Положення про використання повітряного простору України: Постанова КМ від 29.03.2002 № 401.* – Режим доступу: <http://zakon.rada.go.ua/401-2002-p>
2. *Данилович В.* Прогнозування грозонебезпечних явищ на основі імовірнісних моделей процесу пасивної реєстрації та пеленгації блискавок / В. Данилович, В. Смичок // Теоретична електротехніка: зб. наук. пр. – Л.: Львівський національний університет імені Івана Франка, 2009. – Вип. 60. – С. 78–83.
3. *Смичок В.Д.* Комплекс исследовательского оборудования для аэрологического зондирования атмосферы / В.Д. Смичок, О.М. Бурнаев // Научный вестник Украинского государственного университета в Москве. – М., 2003. – Т. 4. – С. 494–507.

Стаття надійшла до редакції 24.05.2012.