

Узгодження траєкторних вимірювань вільно падаючих тіл за інформацією декількох засобів реєстрації

Coordination of trajectory measurements of freely falling bodies according to the information of several registration means

Аліна Засядько ^A

д.т.н. професор, науковий співробітник, e-mail: sagitta@bigmir.net, ORCID: 0000-0002-1640-7580

Віталій Стригун ^A

старший науковий співробітник – старший інженер-випробувач, e-mail strigun.v@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2683-7525

Олег Білоус ^A

науковий співробітник – інженер-випробувач, e-mail: oleg8kp@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3103-732X

Владлен Кузнецов ^A

начальник науково-технічного комплексу вимірювань, e-mail: vladlen0156@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3156-2159

Павло Опенько ^B

* **Corresponding author:** к.т.н., ст. дослідник, докторант, e-mail: pavel.openko@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7777-5101

Alina Zaszjadko ^A

Doctor of Engineering Science, Professor, Researcher, e-mail: sagitta@bigmir.net, ORCID: 0000-0002-1640-7580

Vitalii Stryhun ^A

Senior Researcher – Senior Test Engineer, e-mail strigun.v@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2683-7525

Oleh Bilous ^A

Researcher – Test Engineer, e-mail: oleg8kp@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3103-732X

Vladlen Kuznetsov ^A

Head of scientific and technical Complex of measurements, e-mail: vladlen0156@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3156-2159

Pavlo Open'ko ^B

* **Corresponding author:** Ph.D.in Technical Science, Senior Researcher, Doctoral Student, e-mail: pavel.openko@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7777-5101

^A Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси, Україна

^B Національний університет оборони України, м. Київ, Україна

^A State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Cherkasy, Ukraine

^B National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: June 3, 2023 | Revised: June 26, 2023 | Accepted: June 30, 2023

DOI: 10.33445/sds.2023.13.3.4

Мета роботи: оптимізувати процес обчислення параметрів руху вільно падаючих тіл за результатами траєкторних вимірювань різними приладами.

Метод дослідження: системного аналізу, математичної статистики.

Результати дослідження: запропоновані пропозиції щодо удосконалення обробки координатної інформації вільно падаючих тіл. Проаналізовані особливості вимірювання траєкторної інформації вільно падаючих тіл за допомогою радіолокаційного каналу радарної системи. Це дозволяє оптимізувати обробку даних на етапі ідентифікації координатної інформації про параметри руху об'єктів, виконавши узгодження обробки вимірювань за інформацією декількох засобів реєстрації.

Теоретична цінність дослідження: в роботі представлений спосіб обчислення параметрів руху вільно падаючих тіл, на прикладі обчислення вертикальної швидкості зниження вільно падаючого тіла по результатам траєкторних вимірювань декількох засобів реєстрації. Така попередня обробка дозволяє істотно скоротити час обробки інформації і підвищити точність результатів вимірювань.

Тип статті: науково-практична.

Purpose: to optimize the process of calculating the parameters of the movement of freely falling bodies based on the results of trajectory measurements by various devices.

Method: system analysis, mathematical statistics.

Findings: there are offered proposals for improving the processing of coordinate information of freely falling bodies. The features of measuring the trajectory information of freely falling bodies using the radar channel of the radar system are analyzed. This makes it possible to optimize data processing at the stage of identifying coordinate information about the movement parameters of objects, by coordinating the processing of measurements based on the information of several means of registration.

Theoretical implications (if applicable): the paper presents a method of calculating the parameters of the movement of freely falling bodies, using the example of calculating the vertical velocity of the fall of a freely falling body based on the results of trajectory measurements of several means of registration. Such pre-processing allows to significantly reduce the time of information processing and increase the accuracy of measurement results.

Paper type: scientific and practical.

Ключові слова: радіолокаційна система, тест-об'єкти, координація вимірювань, точність вимірювань, вільно падаюче тіло.

Key words: radar system, test objects, coordination of measurements, accuracy of measurements, freely falling body.

1. Вступ

При проведенні та аналізі результатів траєкторних вимірювань часто доводиться порівнювати серії експериментів, покази двох або декількох приладів, аналізувати результати роботи однотипних приладів, порівнювати результати досліджень, отриманих різними методиками і т.д. При цьому у багатьох практичних завданнях вплив деяких величин на вимірювальну величину об'єкта неможливо оцінити кількісно. Треба визначити, в якій мірі на вимірювальну величину (спотворену шумами, випадковими величинами, завадами, похибками різного характеру) впливають дані якісні фактори. Наприклад, необхідно порівняти покази декількох приладів, що вимірюють одну і ту ж величину. Інша задача: коли цими засобами вимірювань отримано декілька рядів спостережень даної величини. Або треба визначити, чи отримано однакову точність вимірювання одного і того ж параметра різними приладами.

Крім того, реалізація спільної обробки сигналів різними засобами спостереження повинна забезпечувати отримання найбільшої вигоди, насамперед у підвищенні відношення сигнал/шум, без збільшення тривалості роботи радарної системи на випромінювання (що є небажаним в умовах ведення військових дій), що є сприятливою умовою для вирішення проблем підвищення точності отримання траєкторної інформації, підвищення перешкодозахисту систем обробки траєкторної інформації.

2. Теоретичні основи дослідження

Запропоновані алгоритми спільної обробки сигналів в роботі [5] забезпечують поліпшення точності виміру координат з одночасним підвищенням імовірності (дальності виявлення) об'єкта стеження в трасових радіолокаційних системах без збільшення часу роботи ведучого засобу стеження на випромінювання, що при збереженні тієї ж імовірності виявлення об'єкта еквівалентно скороченню довжини маршруту.

При спільному огляді простору за об'єктом стеження виникають проблеми з узгодженості результатів траєкторної інформації. Ці проблеми пов'язані з необхідністю обліку таких факторів [1, 5]: різний час прийому відбитих сигналів, обумовлений розташуванням об'єктів спостереження; можливі відмінності у величині областей огляду простору для кожного об'єкту спостереження; можливі відмінності у швидкості огляду простору за дальністю й кутовими координатами окремими об'єктами спостереження; можливі відмінності в параметрах прийнятих сигналів.

Очевидно, що алгоритми об'єднання інформації повинні бути сумісні з алгоритмами просторово-часової синхронізації й функціонувати на базі критеріїв початку зав'язки трас для об'єктів спостереження [1–4].

Під час проведення випробувань вільно падаючих тіл також виникає проблема проведення достатньої кількості випробувань, оскільки відомо, що для отримання результату з достовірністю, приблизно рівною 0,9 необхідно обробити 50 реалізацій [3, С. 331].

3. Постановка проблеми

При проведенні випробувань випробувальними бригадами ДНДІ ВС ОВТ остаточні параметри руху вільно падаючих тіл розраховуються на основі траєкторної інформації, що отримана за допомогою радіолокаційного каналу MFTR-2100/40 [2, 3]. Проте наявність інших джерел траєкторної інформації, і, відповідно, вищевказаних методик, дозволяють скоригувати остаточний результат вимірювальної вертикальної швидкості зниження вільно падаючого тіла. Наразі немає можливості ефективно вирішувати задачу узгодження траєкторних вимірювань вільно падаючих тіл за інформацією декількох засобів реєстрації.

4. Результати

Випробування вільно падаючих тіл випробувальними бригадами ДНДІ ВС ОВТ здійснюється за допомогою:

- методики визначення параметрів руху вільно падаючих тіл за допомогою радіолокаційного каналу радарної системи MFTR-2100/40;
- методики визначення параметрів руху вільно падаючих тіл з використанням цифрових засобів відеозйомки;
- методики визначення вертикальної швидкості зниження парашутиста (манекена) за допомогою компактного самозаписуючого реєстратора даних Human Activity Monitor (HAM).

Відповідність характеристик парашута вимогам, що надаються, визначається за результатами порівняння характеристик, отриманих в процесі випробувань та характеристик, заявлених виробником.

Коротко зупинимось на особливостях використаних методик для визначення параметрів руху.

1. Методика визначення параметрів руху вільно падаючих тіл з використанням цифрових засобів відеозйомки ґрунтується на дешифруванні знімків, що полягає у виявленні і розпізнаванні знятих об'єктів, встановленні їх якісних і кількісних характеристик, а також реєстрації результатів в графічній, цифровій і текстовій формах. Дана методика регламентує порядок вибору засобів відеореєстрації, вимоги до проведення відеозйомки, розрахунок вертикальної швидкості зниження та швидкості горизонтального пересування на приземній ділянці траєкторії при проведенні стрибків (скидань) з парашутистами з використанням цифрових засобів відеозйомки.

Обробка матеріалів відеозйомки розподіляється на первинну та вторинну. Первинна обробка матеріалів відеозйомки включає: оцифрування; розкадрування; визначення розмірностей. До вторинної обробки відноситься безпосередній розрахунок параметрів руху та статистичний аналіз результатів випробувань.

Визначення розрахункових параметрів проводиться за допомогою спеціалізованих програмних засобів "Парашут відео" та "Kinovea-0.8.27" відповідно до документації на ці програмні засоби.

2. Методика визначення вертикальної швидкості зниження парашутиста (манекена) за допомогою компактного самозаписуючого реєстратора даних HAM враховує особливості роботи датчиків реєстратора під час проведення випробувань парашутних систем. Ці особливості полягають у наступному. Під час десантування парашутиста (манекену) до розкриття парашутної системи та наповнення куполу виникають короточасні перевантаження, величина яких може досягати 20 g, тривалістю 0,01-0,04 секунди. Такі короточасні значення перевантажень частіше виникають при приземленні (момент удару парашутиста (манекену) по поверхні майданчику для приземлення). Для точного визначення значень необхідно проводити додатковий аналіз в зоні виникнення великих перевантажень. В залежності від розміщення приладу на парашутисті (манекені) та його хаотичного обертання при скиданні з повітряного судна до моменту повного розкриття парашутної системи, на нього діє динамічна складова повітряного потоку, яка створює повітряні потоки з різним тиском, що в свою чергу спотворює значення висоти. Після наповнення купола парашута та сталого зниження парашутиста (манекена) реєстратор реєструє коректні дані про зміну висоти.

Після обробки спеціалізованим програмним засобом Euler Converter отримуються наступні дані з можливістю їх візуалізації у вигляді графіків залежності: час від початку реєстрації, перевантаження по вісям (n_x , n_y , n_z) та результуюче (n_{abs}), положення об'єкта в просторі (час, курс, крен, тангаж), атмосферний тиск, висота, вертикальна швидкість зниження об'єкту. Дані з датчика представлені у вигляді необроблених цифрових даних і повинні бути

перетворені в одиниці вимірювання та представлені у вигляді таблиці Excel.

3. Методика визначення параметрів руху парашутиста (манекена) за допомогою радарної системи MFTR-2100/40 визначає наступні траєкторні характеристики параметрів руху парашутиста (манекена): час від початку реєстрації; висота над рівнем землі; вертикальна швидкість зниження; швидкість горизонтального пересування на приземній ділянці траєкторії; прискорення; координати парашутиста (манекена). Первинна зовнішньо-траєкторна інформація, яка отримана MFTR-2100/40, обробляється в програмному забезпеченні WinTrack.

Остаточно параметри руху вільно падаючих тіл розраховуються на основі траєкторної інформації, що отримана за допомогою радіолокаційного каналу MFTR-2100/40. Проте наявність інших джерел траєкторної інформації, і, відповідно, вищевказаних методик, дозволяють скоригувати остаточний результат вимірювальної вертикальної швидкості вільно падаючого тіла (рис. 1). Тут видно, що на приземних ділянках (< 30 м) радіолокаційний канал радарної системи лавиноподібно накопичує методичну похибку, пов'язану з особливостями радарних спостережень (крива 2), тому його результати за остаточний варіант брати не можна. Вони коригуються цифровими засобами відеоспостереження (крива 3). Детальніше розглянемо особливості обробки траєкторної інформації, що отримана за допомогою радіолокаційного каналу.

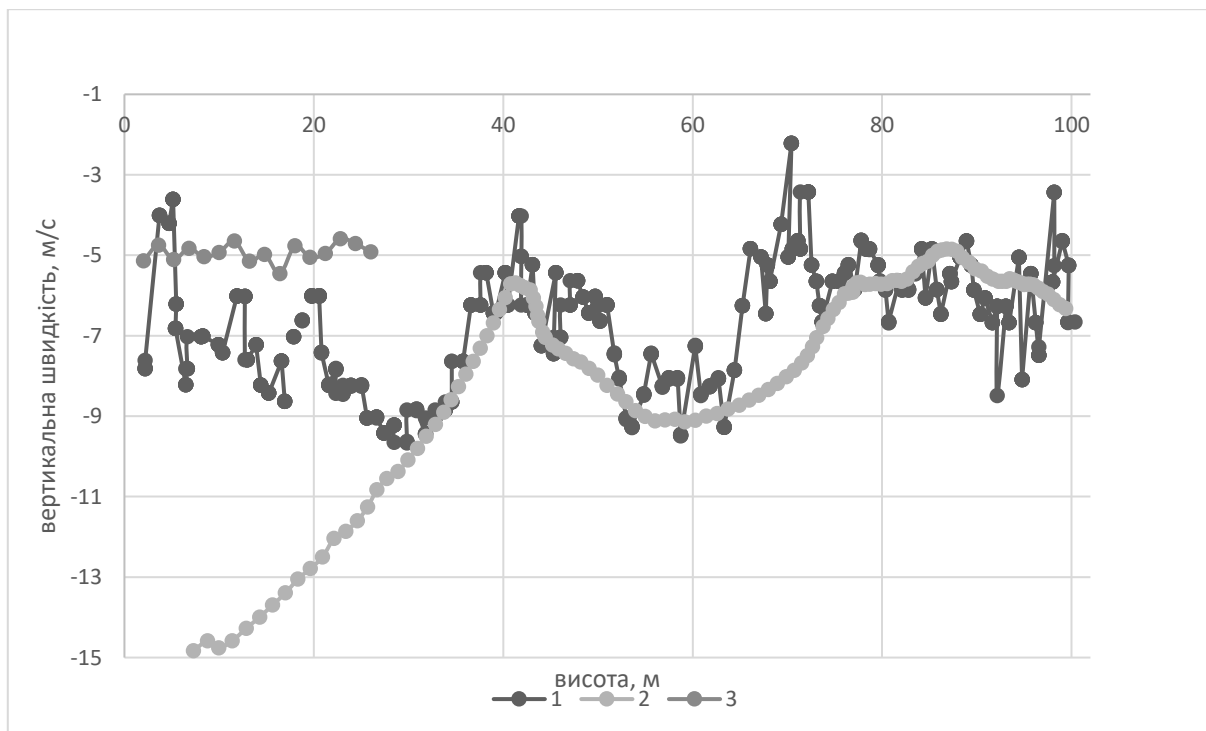


Рисунок 1 – Вертикальна швидкість, отримана трьома різними засобами вимірювань:

- 1 – за допомогою реєстратора даних руху об'єкта Human Activity Monitor (HAM);
- 2 – за допомогою радіолокаційного каналу радарної системи MFTR -2100/40;
- 3 – за допомогою цифрових засобів відеозйомки

Особливості обробки траєкторної інформації, що отримана за допомогою радіолокаційного каналу.

Первинна зовнішньо траєкторна інформація, яка отримана MFTR-2100/40, обробляється в програмному забезпеченні WinTrack та надається у вигляді таблиць та графіків.

Після обробки отримані за допомогою радіолокаційного каналу результати зовнішньо-траекторних вимірювань використовуються для визначення параметрів руху вільно падаючих тіл.

На рис. 2 показана картина вертикальних швидкостей рухомих об'єктів, отримана за допомогою радіолокаційного каналу радарної системи MFTR 2100/40. Очевидно, що область спостереження за вільно падаючим тілом (5), настільки зашумлена роботою лопатей вертольоту, що відокремити момент старту манекена (парашутиста) за допомогою саме радіолокаційного каналу неможливо. В цьому випадку необхідно скористатися іншими каналами спостереження радарної системи, що не є проблемою для довизначення інформації в цих випробуваннях. Проте, якщо потрібно інформація щодо вертикальної швидкості руху манекена в моменти скидання з вертольоту до моменту спрацювання витяжного парашуту (це може бути необхідним для дослідження роботи парашутної системи), необхідно відфільтрувати зайву траекторію (3) з рис. 2, що є окремою задачею дослідження.

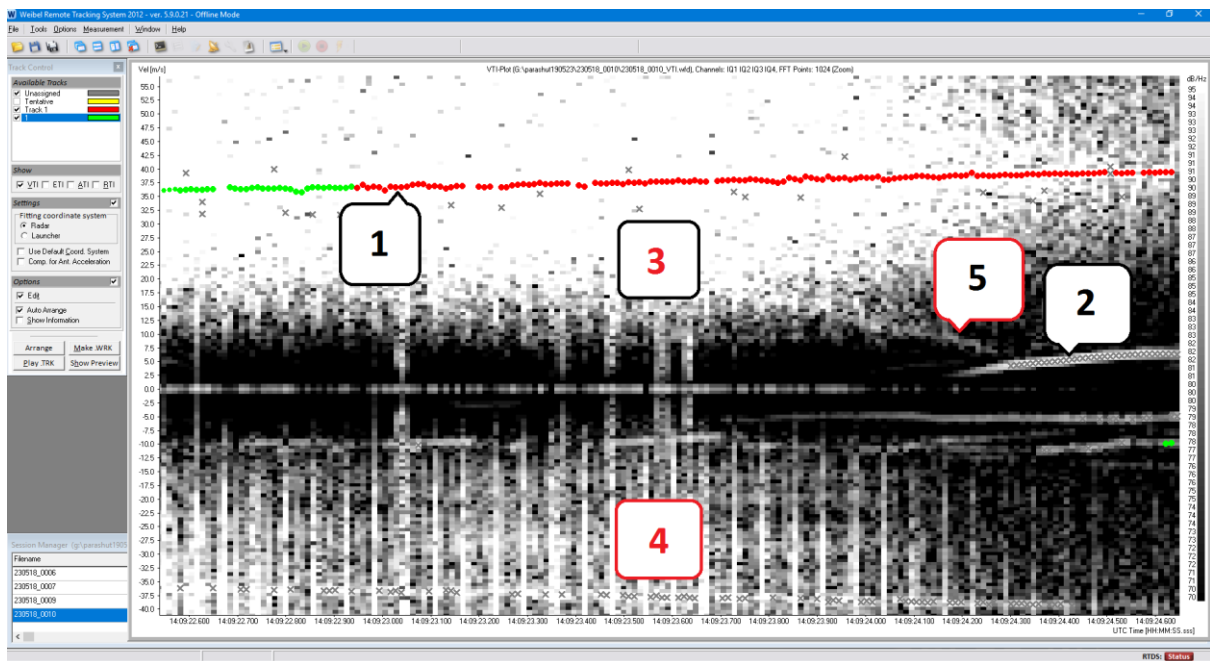


Рисунок 2 – Вертикальні швидкості рухомих об'єктів, отримані за допомогою радіолокаційного каналу радарної системи MFTR -2100/40:

- 1 – траекторія вертольоту; 2 – траекторія витяжного парашуту; 3 – область роботи лопатей вертольоту; 4 – область, дзеркальна до основної області (3);
- 5 – траекторія вільно падаючого тілу (манекену)

Обробка траекторної інформації, отриманої радарною системою, відбувається у програмному забезпеченні WinTrack. Зупинимося на декількох особливостях обробки вимірювань, що розглядаються і частково дозволять вирішити вищевказані проблеми.

В програмному забезпеченні присутня процедура відтинання модуляцій, яка запобігає визначенню хибних сигналів, створених модуляціями обертання, реактивних двигунів і лопатей, як прийнятних сигналів і причин для створення нових трас. Така помилка може навіть призвести до втрати основної траси, що і відображено на рис. 2 (трек 5). Найбільш стійкі результати можна отримати з усіма задіяними процедурами відтинання модуляцій при обробці файлів даних. При виконанні процесу багатоцільового стеження з відключеною процедурою відтинання можуть утворитися хибні траси, якщо об'єкт спостереження має сильні модуляції обертання.

В програмному забезпеченні можливо узгодити час з подією, що відбулася через T секунд після початку стеження за об'єктом вручну, також можна задати параметр UTC time (всесвітній час) нульової точки вісі часу.

Якщо в будь-якій точці набору даних відбувається деяка подія, може виникнути необхідність у виконанні поліноміальної апроксимації до і після даної події. В цій ситуації час вимірювань розбивається на два (чи більше) сегменти, кожний з яких має власний набір характеристик поліномів. Очевидно, що за допомогою налаштувань з різними параметрами поліноміальної або сплайнової апроксимації отримуються абсолютно різні результати, в тому числі і неприйнятні.

Застосування поліномів, апроксимуючих дискретні вимірювання, отримані від різних вимірювальних засобів, дозволяє представляти вимірювання по співпадаючим моментам часу. Досліджуваний процес є монотонною функцією часу, то для його апроксимації доцільно вибрати алгебраїчний поліном або лінійну комбінацію ортогональних поліномів, що також є монотонними функціями.

В дійсності ж залежність вимірюваних функцій параметрів вільно падаючих тіл від часу більш складна і з деяким наближенням може бути прийнята у вигляді поліноміальної. Це призводить до необхідності проведення спеціальних досліджень для вибору порядку апроксимуючого полінома при фіксованому інтервалі згладжування або встановлення інтервалу згладжування при фіксованому порядку полінома.

При обробці траєкторної інформації за допомогою програмного забезпечення WinTrack можуть виникнути проблеми і з використанням фільтрації, що є типовими для такого класу задач. Помилкові параметри фільтру можуть істотно погіршити характеристики стеження, тому необхідно приділяти увагу вибору їх правильних значень. Параметри i , відповідно, характеристики даного фільтру стеження коректні тільки тоді, якщо селекція виконується за допомогою даного конкретного фільтру. Тому необхідно виконувати додаткову обробку подібного вимірювання перед тим, як визначити необхідний набір параметрів.

Як видно з аналізу, цілий ряд помилкових налаштувань в програмному забезпеченні WinTrack (процедура відтинання зайвих модуляцій, узгодження подій у часі, фільтрація, апроксимація тощо) може істотно впливати на якість визначення траєкторної інформації. Саме тому треба приділяти увагу до визначення інформації за допомогою інших джерел стеження за рухомими об'єктами (тепловізійними каналами, засобами візуального стеження, датчиками швидкості і навантажень, розміщеними на рухомих об'єктах тощо).

Статистична обробка результатів розрахунків

Отримана траєкторна інформація вільно падаючого тіла необхідна для висновку про відповідність парашуту, що проходить випробовування. Попередня статистична обробка параметрів руху дозволяє істотно скоротити час і підвищити точність траєкторних вимірювань вільно падаючих тіл. Зокрема, при попередній статистичній обробці можуть бути частково виявлені і виключені аномальні результати вимірювань.

Результати розрахунків та вимірювань обробляються за допомогою методів математичної статистики у наступному порядку [7]:

1. По кожному параметру вписуються значення у вигляді ряду чисел (масив $T [1: n]$) і сортується у порядку зростання.

2. Визначається необхідність перевірки крайніх членів ряду на відсутність промахів. Перевірка проводиться в наступній послідовності:

- обчислення різниць:

а) масиву суміжних членів ряду:

де $i = 1 \div n - 3$, n – кількість експериментів; i – номер експерименту;

б) крайніх членів ряду:

$$DT = |T[n] - T[1]|;$$

- перевірка на відповідність крайніх членів ряду:

а) якщо $DT > dT[i] \cdot 3$, то необхідна перевірка крайніх членів ряду;

б) якщо $DT \leq dT[i] \cdot 3$, то здійснюється розрахунок середнього значення параметра і середньоквадратичного відхилення:

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n T[i]}{n}, \sigma_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T[i] - T_{cp})^2}{n-1}}.$$

3. Перевірка першого (мінімального) члена ряду.

Для перевірки визначаються наступні параметри:

а) середнє значення параметра, що перевіряється, за винятком першого члена ряду:

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=2}^n T[i]}{n-1}$$

де $T[i]$ – значення параметра; n – кількість параметрів;

б) середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^n (T[i] - T_{cp})^2}{n-2}}$$

Виконується перевірка різниці між першим і середнім значенням:

а) якщо $|T[1] - T_{cp}| > T_{min}$, то перше значення відкидається, і йде повернення до пункту 2;

б) якщо $|T[1] - T_{cp}| \leq T_{min}$, то перевіряється останній член ряду.

4. Перевірка останнього (максимального) члена ряду.

Для перевірки визначаються наступні параметри:

а) середнє значення, без останнього параметра:

$$T_{cp\ max} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} T[i]}{n-1},$$

б) середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_{T\ max} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} (T[i] - T_{cp\ max})^2}{n-2}};$$

Виконується перевірка різниці між останнім і середнім значенням:

а) якщо $|T[n] - T_{cp\ max}| > T_{min}$, то останній відкидається і слідує перехід до пункту 3;

б) якщо $|T[n] - T_{cp\ max}| \leq T_{min}$, то за результатами вимірювань, з яких виключені промахи, обчислюються середнє значення параметру і середньоквадратичне відхилення.

Якщо кількість вимірювань дорівнює 10, то дійсне значення параметра може відрізнитися від середнього значення параметра не більш, ніж на величину середньоквадратичного відхилення σ . Відхилення, більші за σ , можливі як виключення, і число яких буде складати приблизно 0,5 відсотка усіх можливих випадків. Якщо кількість вимірювань більше десяти, то максимальне практичне можливе відхилення істинної величини параметра

від середнього значення параметра буде менше σ . Тобто відхилення не буде більше за величину $\frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$, де n – кількість вимірювань.

Об'єднання результатів прямих вимірювань

Отже, трьома різними приладами було виміряно вертикальну швидкість вільно падаючого тіла на деякому проміжку висоти або часу спостережень, проведені статистичні розрахунки згідно [7], наведені вище. Нехай результати вимірювань представлені у вигляді

$$v_1 = 7 \pm 0,2 \text{ м/с}; v_2 = 7,2 \pm 0,4 \text{ м/с}; v_3 = 6,9 \pm 0,3 \text{ м/с}.$$

Необхідно об'єднати ці вимірювання. Skorистаємося формулами для об'єднання результатів вимірювань, наведені в [6].

Знаходимо статистичну вагу (вклад) кожного вимірювання

$$w_1 = \frac{1}{\Delta v_1^2} = \frac{1}{0,2^2} = 25 \frac{c^2}{m^2}; w_2 = \frac{1}{\Delta v_2^2} = \frac{1}{0,4^2} = 6,25 \frac{c^2}{m^2}; w_3 = \frac{1}{\Delta v_3^2} = \frac{1}{0,3^2} = 11,11 \frac{c^2}{m^2}.$$

Знаходимо нову оцінку швидкості

$$\begin{aligned} \langle v \rangle &= \frac{\sum_{m=1}^M w_m \cdot v_m}{\sum_{m=1}^M w_m} = \frac{\langle v_1 \rangle \cdot w_1 + \langle v_2 \rangle \cdot w_2 + \langle v_3 \rangle \cdot w_3}{w_1 + w_2 + w_3} = \\ &= \frac{7 \cdot 25 + 7,2 \cdot 6,25 + 6,9 \cdot 11,11}{25 + 6,25 + 11,11} = 7,00 \frac{m}{c}. \end{aligned}$$

Знаходимо нову оцінку похибки

$$\Delta v = \left(\sum_{m=1}^M w_m \right)^{1/2} = \frac{1}{\sqrt{w_1 + w_2 + w_3}} = \frac{1}{\sqrt{25 + 6,25 + 11,11}} = 0,15 \text{ м/с}.$$

Результат об'єднаної оцінки швидкості

$$v = 7 \pm 0,15 \text{ м/с}.$$

Отже, таким чином можливо об'єднати процес обчислення параметрів руху вільно падаючих тіл за результатами траєкторних вимірювань декількох засобів реєстрації.

5. Висновки

В роботі представлений спосіб обчислення параметрів руху вільно падаючих тіл, на прикладі обчислення вертикальної швидкості зниження вільно падаючого тіла по результатам траєкторних вимірювань декількох засобів реєстрації. Випробування здійснювалося за допомогою радіолокаційного каналу радарної системи MFTR-2100/40, з використанням цифрових засобів відеозйомки, компактного самозаписуючого реєстратора даних Human Activity Monitor. Крім того, проаналізовані особливості вимірювання траєкторної інформації вільно падаючих тіл за допомогою радіолокаційного каналу радарної системи. Була отримана об'єднана оцінка вертикальної швидкості. Це дозволить ефективно вирішувати задачу узгодження траєкторних вимірювань вільно падаючих тіл за інформацією декількох засобів реєстрації.

6. Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

7. Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Павлунько М. Я., Посмітюх О. І., Богатів О. І., Шилан М. В. Алгоритм обробки вимірювальної інформації засобами полігонного вимірювально-обчислювального комплексу. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2022. № 1(43). С. 65–72. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2022-43-1-65-72>.
2. Зозуля В. М., Юла О. В., Ляшенко В. А., Рижков О. В., Стригун В. В. Дослідження можливостей проведення зовнішньотраєкторних вимірювань параметрів вільно падаючих тіл за допомогою доплерівських радарних систем: звіт про науково-дослідну роботу, шифр: — ПАРАМЕТР – 40. Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. Чернігів: ДНДІ ВС ОВТ, 2020. С. 127–161.
3. Жданюк Б. Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений. М.: Сов. радио, 1978. 384 с.
4. Ляшенко В. А., Кузнецов В. О., Кіпріанов О. Л., Єрмоленко Ф. В., Павлюк Т. В. Рекомендації комплексного застосування доплерівських радарних систем зовнішньо-траєкторних вимірювань у складі мобільного полігонного вимірювально-обчислювального комплексу. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*. 2021. Вип. 2(8). С. 72–79. <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.8.2021.08>.
5. Толіупа С. В., Дружинін В. А., Наконечний В. С., Цюпа Н. В., Батрак Є. О. Методи та алгоритми обробки радіолокаційної інформації у багатопозиційних системах зі змінною просторовою конфігурацією. К.: Логос, 2014. 230 с.

References

1. Pavlunko, M. Ya., Posmitiukh, O. I., Bohativ, O. I., Shylan M. V. (2022). Alhorytm obrobky vymiriuvalnoi informatsii zasobamy polihonnoho vymiriuvalno-obchysliuvalnoho kompleksu. *Suchasni informatsiini tekhnolohii u sferi bezpeky ta oborony*, 1(43), 65–72. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2022-43-1-65-72>.
2. Zozulia, V. M., Yula, O. V., Liashenko, V. A., Ryzhkov, O. V., Stryhun, V. V. (2020). Doslidzhennia mozhlyvostei provedennia zovnishnotraiektornykh vymiriuvan parametriv vilno padaiuchykh til za dopomohoiu dopplerivskykh radarnykh system: zvit pro naukovo-doslidnu robotu, shyfr: — PARAMETR – 40. Derzhavnyi naukovo-doslidnyi instytut vyprobuvan i sertyfikatsii ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky. Chernihiv: DNDI VS OVT. 3101, 127–161.
3. Zhdaniuk, B. F. (1978). Osnovu statystycheskoi obrabotky traektornukh yzmerenyi. Moscwa: Sov. radyo, 384.
4. Liashenko, V. A., Kuznetsov, V. O., Kipriianov, O. L., Yermolenko, F. V., Pavliuk, T. V. (2021). Rekomendatsii kompleksnoho zastosuvannia dopplerivskykh radarnykh system zovnishnotraiektornykh vymiriuvan u skladi mobilnoho polihonnoho vymiriuvalno-obchysliuvalnoho kompleksu. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho naukovo-doslidnoho instytutu vyprobuvan i sertyfikatsii ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky*, 2(8). 72–79. <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.8.2021.08>.
5. Toliupa, S. V., Druzhynin, V. A., Nakonechnyi, V. S., Tsopa, N. V., Batrak, Ye. O. (2014). Metody ta alhorytmy obrobky radiolokatsiinoi informatsii u bahatopozytiinykh systemakh zi

6. Гасюк І. М., Кайкан Л. С. Статистичні методи обробки результатів фізичного експерименту: курс лекцій: навч. посібник. Івано-Франківськ: Видавництво Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2011. 159 с.
7. Типові методики державних (спільних) випробувань дослідних зразків систем парашутних рятувальних зі складу засобів непримусового аварійного покидання літальних апаратів, затверджені начальником Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки від 29.09.2022. zminnoiu prostorovoiu konfiguracyi. Kyiv: Lohos, 230.
6. Hasiuk, I. M., Kaikan, L. S. (2011). Statystychni metody obrobky rezultativ fizychnoho eksperymentu: kurs lektzii: navchalnyi posibnyk. Ivano-Frankivsk: Vydavnytstvo Prykarpatskoho natsionalnoho universytetu imeni Vasylia Stefanyka, 159.
7. Typovi metodyky derzhavnykh (spilnykh) vyprobuvan doslidnykh zrazkiv system parashutnykh riatsuvalnykh zi skladu zasobiv neprymusovoho avariinoho pokydannia litalnykh aparativ, zatverdzheni nachalnykom Derzhavnoho naukovo-doslidnoho instytutu vyprobuvan i sertyfikatsii ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky vid 29.09.2022.