

УДК 537.874: 528.27

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ У СУПУТНИКОВІЙ ГЕОДЕЗІЇ ТА ГРАВІМЕТРІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ПАКЕТУ ПРОГРАМ MATHCAD

Дьоміна Н. А.¹, к.т.н.

e-mail: natalia.domina@tsatu.edu.ua

Морозов М. В.¹, к.ф.-м.н.

e-mail: mykola.morozov@tsatu.edu.ua

Рожкова О. П.¹, ст. викл.

e-mail: olena.rozhkova@tsatu.edu.ua

Халанчук Л. В.¹, асистент

e-mail: larysa.khalanchuk@tsatu.edu.ua

¹Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Постановка проблеми. У супутниковій геодезії широко використовують сучасні досягнення наноелектроніки, оптоелектроніки, радіофізики, інформатики для отримання і обробки даних позиціонування приймачів GPS та штучних супутників Землі. Це обумовлено екстремально високими вимогами до маси і розмірів приладів та обладнання, що використовуються у методах супутникової геодезії та діагностики і моніторингу у землеробстві. Крім того, актуальною є розробка методів математичного моделювання доплерівської інтерферометрії для вимірювання швидкості тіла при визначенні прискорення вільного падіння у гравіметрії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботах [1] розглянуто методи радіолокаційної інтерферометрії та доплерівської інтерферометрії для моніторингу поверхні Землі за допомогою штучних супутників. Супутникові системи та відповідні високоточні методи позиціонування представлено в статтях [2-4]. В роботі [5] розглянуто застосування доплерівської інтерферометрії для вимірювання амплітуди коливань шорсткої поверхні. Методи лазерної інтерферометрії та моделювання процесу вимірювання швидкості частинок розчину при електрофорезі з метою розробки та вдосконалення технології очищення стічних вод розглянуто в роботах [6-9]. У статтях [10-13] представлено спосіб та обладнання для визначення прискорення вільного падіння балістичним методом. Для вимірювання швидкості падіння тіла в вакуумі використовується лазерна інтерферометрія. Для автоматизації процесу вимірювання представляє інтерес моделювання доплерівського сигналу та визначення швидкості, якщо відома доплерівська частота. У роботі [14] з метою подальшого вдосконалення балістичного методу визначення прискорення вільного падіння та зменшення похибок вимірювання використовують голографічну дифракційну ґратку. Стаття [15] присвячена розгляду використання супутникової геодезії у точному землеробстві, в першу чергу для визначення площі криволінійної поверхні, наприклад, пагорбу, для складання кадастрів.

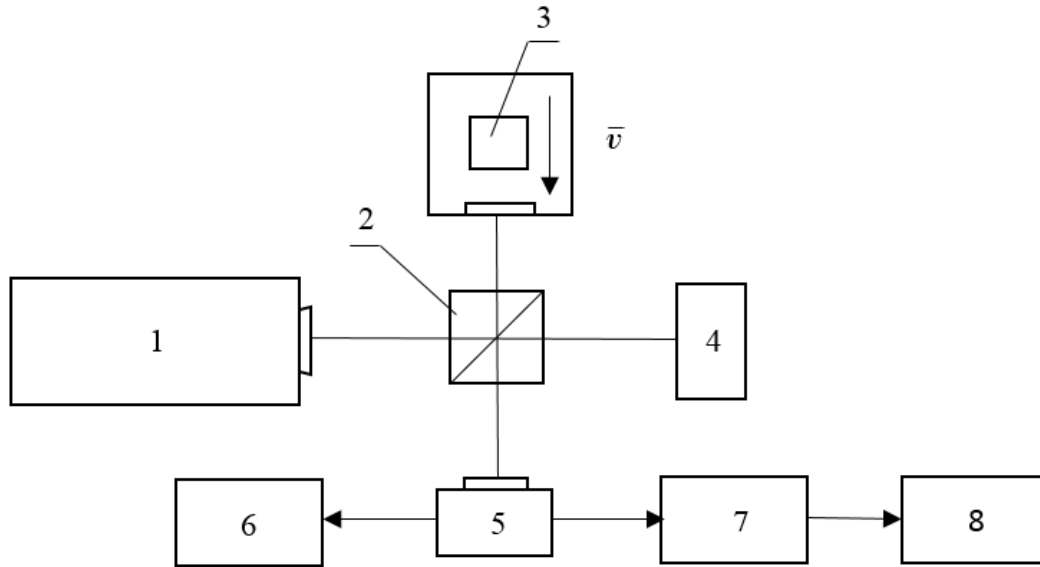
Формулювання цілей статті. Дослідити використання лазерної доплерівської інтерферометрії для вимірювання прискорення вільного падіння балістичним методом.

Провести математичне моделювання процесу вимірювань з метою забезпечення автоматизації та підвищення точності вимірювань в пакеті програм MathCad. Розробити оптичну лазерну схему вимірювань та автоматизації обчислення прискорення вільного падіння.

Виклад основного матеріалу. Одним із методів гравіметрії є балістичний метод вимірювання прискорення вільного падіння. При вільному падінні тіла у вакуумі зі стану спокою швидкість тіла дорівнює:

$$v = gt \quad (1)$$

Для визначення швидкості використовується лазерна інтерферометрія. Оптична схема експериментальної установки приведена на рис. 1. Використовується модифікований лазерний інтерферометр Майкельсона.



1 – джерело когерентного випромінювання (гелій-неоновий лазер); 2 – світлоподільник; 3 – тіло, що вільно падає у вакуумі; 4 – нерухома відбиваюча поверхня; 5 – фотоприймач; 6 – цифровий запам'ятовуючий осцилограф (С9-8); 7 – аналого-цифровий перетворювач (АЦП); 8 – ПК (персональний комп'ютер).

Рис. 1. Схема лазерної вимірювальної установки

У просторі реєстрації фотоприймача 5 утворюється інтерференційна структура двох когерентних хвиль, що відбиті від тіла 3 та нерухомої поверхні 4. Інтенсивність доплерівського сигналу у першому наближенні наступним чином залежить від часу:

$$I(t) = I_0 \cdot \sin 2\pi \nu t, \quad (2)$$

де $\nu = \frac{1}{T} = \frac{2v}{\lambda}$ – частота доплерівського сигналу,

$\lambda = 0,6328$ мкм – довжина хвилі когерентного випромінювання гелій-неонового лазера.

При вільному падінні доплерівський сигнал має вигляд (рис. 2):

$$I(t) = I_0 \cdot \sin 4\pi \frac{v}{\lambda} t = I_0 \cdot \sin 4\pi \frac{g}{\lambda} t^2, \quad (3)$$

При зростанні швидкості доплерівська частота також зростає. Необхідно визначити значення прискорення вільного падіння, якщо відомо вид доплерівського сигналу. Для цього використовують аналого-цифровий перетворювач та дискретизацію сигналу.

Розроблено алгоритм та програму в пакеті MathCad визначення різниці швидкостей $\Delta v = v_2 - v_1$ за час $\Delta t = t_2 - t_1$.

Тоді прискорення вільного падіння в полі тяжіння Землі дорівнює:

$$g = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (4)$$

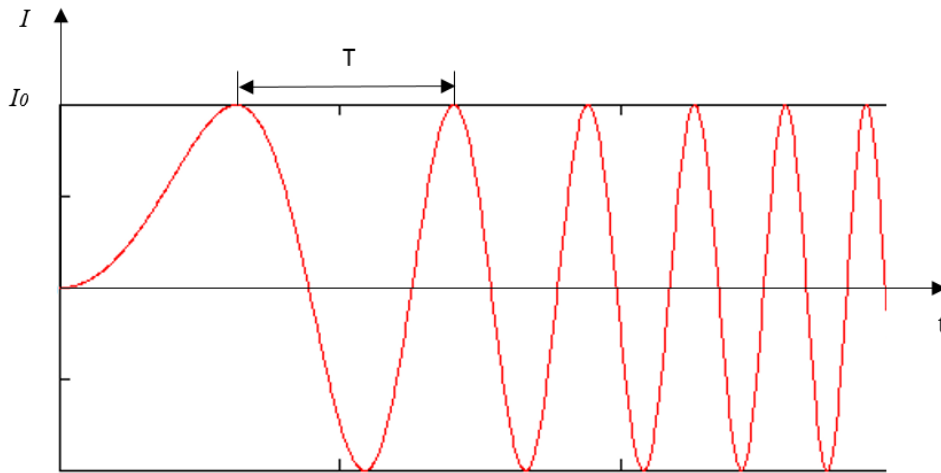


Рис. 2. Вид доплерівського сигналу з фотоприймача інтерферометра:
 T – період.

Таким чином, метод лазерної доплерівської інтерферометрії дозволяє автоматизувати процес вимірювання та обробки результатів у реальному часі.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Розглянуто балістичний метод вимірювання прискорення вільного падіння у полі сили тяжіння Землі з використанням доплерівської інтерферометрії та цифрової комп'ютерної обробки сигналу. Розроблено модель процесу вимірювання, яка дозволяє автоматизувати визначення прискорення вільного падіння у реальному часі.

Результати досліджень математичного комп'ютерного моделювання процесу вимірювання балістичним методом з використанням лазерної інтерферометрії застосовуються при проведенні практичного заняття «Вивчення методів вимірювання прискорення вільного падіння» курсу «Супутникова геодезія та сферична астрономія». В подальшому представляє інтерес аналіз можливості підвищення точності вимірювань прискорення вільного падіння у реальному часі.

Список використаних джерел:

1. Рыхлова Л.В., Ключков А.А. Искусственные спутники земли: Космическая геодезия и геодинамика. *Космічна наука і технологія*. 2019. Т. 25. № 4. С. 57-74.
2. Васюхін М. І., Ткаченко О. М., Касім А. М., Іванік Ю. Ю. Проблеми побудови системи прецизійного землеробства на Україні. *Проблеми інформаційних технологій*. 2014. № 1. С. 112-118.
3. Касім М. М., Васюхін М. І. Основні тенденції розвитку геоінформаційних навігаційних систем прецизійного землеробства в Україні. *Енергетика і автоматика*. 2016. № 2. С. 64-73.
4. Касім М. М., Васюхін М. І., Касім А. М. Високоточні методи отримання супутникових навігаційних даних для задач прецизійного водіння. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2016. № 1. С. 299-309.
5. Morozov N.V. Simulation and automatization of measurements process in laser interferometry. *Functional Materials*. Institute for Single Crystals. 2005. V. 12, № 1. P.117-119.
6. Морозов М. В., Мовчан С. І. Методи лазерної доплерівської інтерферометрії вимірювання швидкості та діаметру частинок домішок стічних вод промислових підприємств. *Праці Таврійського державного*

агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТ, 2012. Вип. 12. Т. 1. С. 75-79.

7. Халанчук Л. В., Коротун А. О. Оптимальний вибір методів очищення стічних та поверхневих вод. *Збірник наукових праць за матеріалами Дистанційної всеукр. наук. конф. «Математика у технічному університеті XXI сторіччя».* (м. Краматорськ, 15-16 травня 2017 р.). Краматорськ: ДДМА, 2017. С. 275-277.

8. Морозов М. В., Мовчан С. І. Комп'ютерне моделювання при визначенні параметрів частинок домішок водних розчинів. *Енергозабезпечення технологічних процесів: матеріали 7-ї Міжнародної наук.-практ. конференції пам'яті І. І. Мартиненка та з нагоди 85-річчя ТДАТУ.* Мелітополь: ТДАТУ, 2017. С. 83-84.

9. Морозов М. В., Мовчан С. І. Моделювання процесу вимірювання гідромеханічних параметрів частинок в лазерній доплерівській інтерферометрії. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету.* Мелітополь: ТДАТУ, 2010. Вип. 10. Т. 8. С. 256-264.

10. Коронкевич В. П., Арнаутов Г. П., Гик Л. Д. Измерение абсолютного значения ускорения силы тяжести. *Метрология.* 1976. №2. С. 136-140.

11. Арнаутов Г. П., Гик Л. Д., Коронкевич В. П. Обеспечение высокой точности измерений абсолютного значения ускорения силы тяжести баллистическим гравиметром. *Геология и геофизика.* 1978. № 3. С. 108-111.

12. Арнаутов Г.П., Гик Л.Д., Коронкевич В.П. Измерение абсолютного значения ускорения силы тяжести лазерным баллистическим гравиметром. *Квантовая электроника.* 1979. Т. 6, № 3. С. 560-567.

13. Арнаутов Г. П., Вьюхин В. Н. Аналого-цифровой интерференционный метод измерения ускорения свободного падения. *Датчики и системы.* 2013. № 7. С. 48-52.

14. Дмитриева А.Л., Котова Е.И., Никущенко Е.М., Прокопенко В.Т., Смирнова А.Л. Баллистический гравиметр с падающей голографической дифракционной решеткой. *Оптика и спектроскопия.* 2014. Т. 117, № 5. С. 825-826.

15. Сосницька Н. Л., Морозов М. В., Дьоміна Н. А., Онищенко Г. О., Халанчук Л.В. Застосування супутникової геодезії у землеробстві. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету.* Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 20. Т. 3. С. 11-18.