

УДК 004.9: 528.2

ЗАСТОСУВАННЯ СУПУТНИКОВОЇ ГЕОДЕЗІЇ У ЗЕМЛЕРОБСТВІ

Сосницька Н.Л., д.пед.н. <https://orcid.org/0000-0001-6329-768X>
Морозов М.В., к.ф-м.н., <https://orcid.org/0000-0002-5122-8449>
Дьоміна Н.А., к.т.н., <https://orcid.org/0000-0002-1118-1834>
Онищенко Г.О., <https://orcid.org/0000-0002-8672-8398>
Халанчук Л.В., <https://orcid.org/0000-0002-6055-6233>
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
E-mail: larysa.khalahchuk@tsatu.edu.ua
Тел. (0619)42-68-74

Анотація - В роботі розглянуто особливості застосування методів супутникової геодезії для точного землеробства (precisionfarming). Високоточне визначення координат використовують на всіх етапах отримання сільськогосподарської продукції: посівні роботи, внесення добрив, зрошування, боротьба з бур'янами та збір врожаю під час руху сільськогосподарської техніки по сталим технологічним коліям. Супутникові навігаційні системи, наприклад, американська NAVSTAR/GPS (Global Positioning System) забезпечує точне визначення координат у 3Dпросторі у реальному часі для точного прецизійного землеробства. Можливо виділити два наступні напрями застосування супутникової геодезії у землеробстві: картографія – встановлення та уточнення меж та площ сільськогосподарських угідь (кадастри) і забезпечення автоводіння (паралельне водіння) та GPS-контроль сільськогосподарської техніки. Крім цього знаходить широке використання дистанційний супутниковий моніторинг стану ґрунту та рослин від вимірюваних температури та вологості повітря до визначення врожайності культур. Методи точного позиціювання за допомогою штучних супутників (ШСЗ) та GPS-приймачів використовують сучасні досягнення в галузях квантової радіофізики (апаратне забезпечення), обчислювальної математики, інформаційних технологій (коди та обробка сигналів).

Визначення координат реперних точок меж ділянки з необхідною точністю (2...5 см) забезпечується за допомогою методів супутникової геодезії (статика, *RTK* – Real Time Kinematics) та *GPS*-приймачів. Зміст програмно-апаратного забезпечення є комерційною таємницею розробників, тому вітчизняні фахівці вимушені купувати іноземне (американське) обладнання та відповідне програмне забезпечення для створення систем в аграрному секторі. Для визначення площі земельної ділянки довільної криволінійної поверхні використовують координати п'яти або більше реперних точок. В роботі розглянуто найпростіший метод визначення площі криволінійної поверхні, у якому застосовується приведена середня кривизна поверхні.

Ключові слова: *GPS*-приймач, точне землеробство, площа криволінійної поверхні, паралельне автоводіння.

Постановка проблеми. У випадку плоскої поверхні земельної ділянки поля достатньо просто за допомогою методів супутникової геодезії та відповідного комп'ютерного забезпечення визначити площу, достатньо знати координати чотирьох реперних точок її межі. Але у випадку суттєво значимого рельєфу ділянки (пагорби, яри) реальна площа криволінійної поверхні може бути значно більшою і залежить від радіуса кривизни цієї поверхні. Тому розробка математичної моделі визначення площі земельної ділянки з урахуванням особливостей рельєфу є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень. У елементній базі передавачів, приймачів, підсилювачів, перетворювачів, аналізаторів сигналів та тому подібне використовуються кванторозмірні гетероструктури [1], що забезпечує гранично мінімальні розміри та масу апаратури, які є особливо критичними для супутникових, космічних систем. У роботах [2, 3] представлено огляд сучасних методів позиціонування супутникової геодезії та інформаційного забезпечення прецизійного автоводіння. Застосування супутникових навігаційних систем у технологіях точного землеробства представлено у роботах [4, 5]. Проблеми точності вимірювання координат у супутниковій геодезії та шляхи її підвищення наведено у статтях [6-8]. Всесвітнє застосування методів супутникової геодезії представлено у роботах [9-11].

Формулювання цілей статті. Метою статті є аналіз та розробка методів визначення площ земельних ділянок сільськогосподарського призначення, у тому числі у випадку криволінійної поверхні, з урахуванням рельєфу місцевості.

Основні матеріали дослідження. Розглянемо визначення площі поверхні земельної ділянки, якщо вона є плоскою. У цьому випадку

необхідно знати координати чотирьох реперних точок межі ділянки, якщо вона чотирикутна (рис.1). Ці координати визначають за допомогою системи *GPS*, яка має три сегменти:

- 1) *космічний сегмент* – система 24-ьох та більше штучних супутників Землі (ШСЗ);
- 2) *контрольний сегмент* – сегмент управління, який включає контрольно-спостережувальні станції безперервного спостереження за ШСЗ;
- 3) *сегмент користувачів*– множина *GPS*-приймачів, які розташовані на поверхні Землі в точці, координати якої визначаються.

Використовуючи метод псевдовіддалів визначаємо для чотирьох супутників за допомогою *GPS*-приймачів координати реперних точок – вершин A , B , C , D земельної ділянки: $A(x_1, y_1, z_1)$, $B(x_2, y_2, z_2)$, $C(x_3, y_3, z_3)$, $D(x_4, y_4, z_4)$ [12].

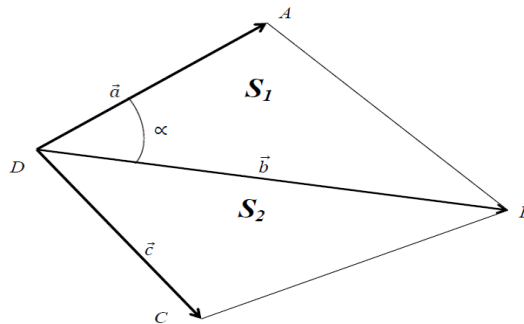


Рис.1.Визначення площі плоскої поверхні ділянки $ABCD$

Тоді площа чотирикутника $ABCD$ дорівнює:

$$S(ABCD) = S_1(ABD) + S_2(BCD) = \frac{1}{2} \left(|\vec{a} \times \vec{b}| + |\vec{b} \times \vec{c}| \right) \quad (1)$$

У випадку коли поверхня земельної ділянки поля криволінійна, наприклад, пагорб, її площа буде більшою, ніж площа плоскої ділянки з відповідними реперними точками (рис.2) та залежить від її кривизни. У першому наближенні для визначення середнього радіуса кривизни, якщо криволінійна поверхня гладка, необхідно визначити координати ще, як мінімум, однієї реперної точки $E(x_5, y_5, z_5)$ – вершини пагорба.

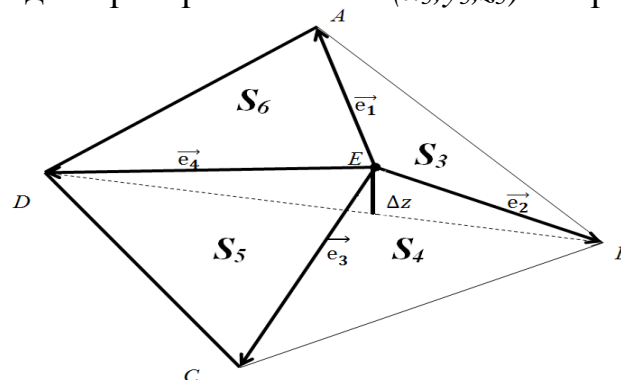


Рис.2.Визначення площі криволінійної гладкої поверхні

типу «пагорб»

Тоді площа поверхні приблизно дорівнює:

$$S(ABCDE) = S_3(ABE) + S_4(BCE) + S_5(CDE) + S_6(ADE) = \frac{1}{2} (|\vec{e}_1 \times \vec{e}_2| + |\vec{e}_2 \times \vec{e}_3| + |\vec{e}_3 \times \vec{e}_4| + |\vec{e}_4 \times \vec{e}_1|) \quad (2)$$

Уточнення площини ΔS_1 для цього алгоритму вимірювання залежить від середнього радіуса кривизни $R_1 = \Delta z_1$ та дорівнює:

$$\Delta S_1 = S(ABCDE) - S(ABCD) = f_1(\Delta z_1) \quad (3)$$

У випадку іншого рельєфу місцевості, наприклад, яру (рис.3) визначають координати двох та більше реперних точок $M(x_6, y_6, z_6)$ та $N(x_7, y_7, z_7)$.

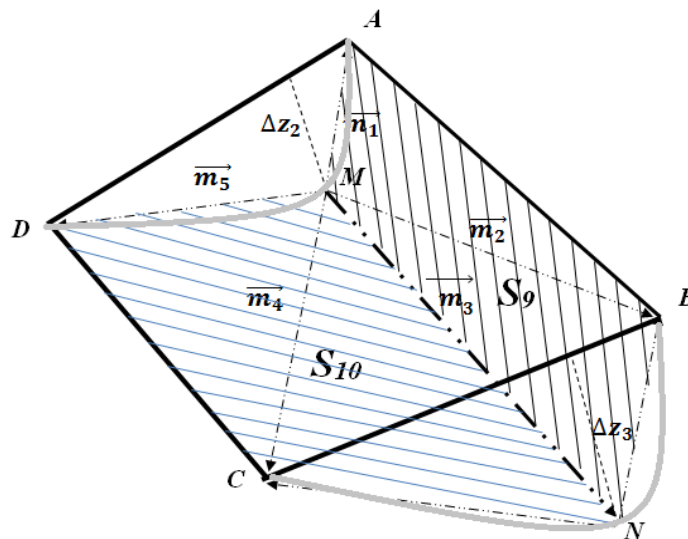


Рис.3.Визначення площі криволінійної поверхні типу «яру»

Тоді площа криволінійної поверхні у першому наближенні дорівнює:

$$S(ADMBCN) = S_9(ABNM) + S_{10}(MNCD) = \frac{1}{2} (|\vec{m}_1 \times \vec{m}_2| + |\vec{m}_2 \times \vec{m}_3| + |\vec{m}_3 \times \vec{m}_4| + |\vec{m}_4 \times \vec{m}_5|) \quad (4)$$

Уточнення площини ΔS_2 для цього випадку залежить від Δz_2 та Δz_3 , які визначають середні радіуси кривизни поверхні:

$$\Delta S_2 = S(ADMBCN) - S(ABCD) = f_2(\Delta z_2, \Delta z_3) \quad (5)$$

Відповідність, ефективність та точність запропонованого алгоритму потребує подальших досліджень. Слід зауважити, що

розроблено та реалізовано супутникову технологію вимірювання площ у 3D просторі [13], яка використовує прилади для вимірювання площ полів «Агрометр».

Уподальшому представляє значний інтерес розробка математичної моделі паралельного водіння тракторів та комбайнів з врахуванням рельєфу поля. В цьому випадку можливо використання метода структурованих сіток [14] та геодезичних ліній рівнів для моделювання криволінійної поверхні земельних ділянок поля.

Висновки. В роботі розглянуто використання методів супутникової геодезії у землеробстві. В першу чергу, з питань картографії для визначення та уточнення меж сільськогосподарських угідь та їх площ.

Розроблено достатньо простий метод та алгоритм визначення площ земельних ділянок з криволінійною поверхнею, у яких визначають координати основних та додаткових реперних точок та усереднене значення кривизни поверхні.

Результати досліджень використовують для методичного забезпечення занять з дисципліни «Супутникова геодезія та сферична астрономія» для спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій».

Література:

1. Дьоміна Н. А., Морозов М. В. Моделювання сферичних та циліндричних квантових точок. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Сер. Технічні науки.* Мелітополь, 2019. Вип. 19, т. 3. С. 325-333.

2. Касім М. М. Васюхін М. І. Основні тенденції розвитку геоінформаційних навігаційних систем прецизійного землеробства в Україні. *Енергетика і автоматика.* 2016. № 2. С. 64-73.

3. 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.

4. Белавцева Т.М. Технологии точного земледелия, их перспективы и возможности использования на мелиорированных землях: Научно-технический обзор. М.: ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2009. 110 с.

5. Васюхін М.І., Ткаченко О.М., Касім А.М., Іваник Ю.Ю. Проблеми побудови системи прецизійного землеробства на Україні // Проблеми інформаційних технологій. 2014. № 1. С. 112-118.

6. Касім М. М., Касім А. М. Алгоритмічні методи підвищення точності визначення просторово-часових координат мобільних агрегатів в системах цифрового землеробства // Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві та

природокористуванні 2016: збірник матеріалів IV Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 23–24 червня 2016). Немішаєве: НМЦ «Немішаєве», 2016. С. 58–60.

7. *Виват А.Й., Літинський В.О., Колгунов В.М., Покотило І.Я.* Дослідження точності визначення координат GNSS методом у режимі RTK // Геодезія, картографія і аерофотознімання. Вип. 74. 2011. С. 52–59.

8. *Яковлев В.В., Арсеньев Д.М.* Исследование точности спутниковых определений по мере удаления от базовой станции // ИВД. 2017. №1 (44). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-tochnosti-sputnikovyh-opredeleniy-po-mere-udaleniya-ot-bazovoy-stantsii> (дата звернення: 08.07.2020).

9. *Чан Т.Ш.* Применение спутниковых технологий в проектировании инженерных геодезических сетей в условиях ландшафтных особенностей региона Вьетнама: Дельта красной реки / Тхань Шон Чан, Хыу Вьет Нгуен, Мань Хунг Чан // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 11 (65), ч. 3. С. 169 – 173.

10. *Чан Т.Ш., Кузин А.А.* Алгоритм преобразования координат из геоцентрической системы в топоцентрическую и его применение в строительстве во Вьетнаме // Вестник СГУГиТ. 2019. Т. 24, № 1. С. 59-71.

11. *Аджанарова Д.А.* Обработка специальной геодезической сети в проекции на секущую плоскость (на примере Кировского водохранилища в Кыргызской Республике) // Вестник СГУГиТ. 2016. Вип. 2 (34). С. 14-23.

12. Инженерная геодезия: Учебник для вузов / Е. Б. Ключин, М. И. Киселев, Д. Ш. Михелев, В. Д. Фельдман. 4-е изд., испр. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 480 с.

13. Агрометр. Режим доступу: <https://www.agrometer.com.ua/>

14. *Халанчук Л.В., Чопоров С.В.* Огляд методів генерації дискретних моделей геометричних об'єктів // Вісник Запорізького національного університету: Збірник наукових статей. Фізико-математичні науки. Запоріжжя: ЗНУ, 2018. №1. С. 139-152.

ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИИ И ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Сосницкая Н.Л., Морозов Н.В., Демина Н.А., Онищенко Г.О.,
Халанчук Л.В.

Аннотация

В работе рассмотрены особенности применения методов спутниковой геодезии для точного земледелия (precisionfarming). Высокоточное определение координат используют на всех этапах получения сельскохозяйственной продукции: посевные работы, внесение удобрений, орошение, борьба с сорняками и сбор урожая во время движения сельскохозяйственной техники по постоянным технологическим путям. Спутниковые навигационные системы, например, американская NAVSTAR/GPS (Global Positioning System) обеспечивает точное определение координат в 3D пространстве в реальном времени для точного прецизионного земледелия. Можно выделить два следующие направления применения спутниковой геодезии в земледелии: картография – установление и уточнение границ и площадей сельскохозяйственных угодий (кадастры) и обеспечения автовождения (параллельное вождение) и GPS-контроль сельскохозяйственной техники. Кроме этого находит широкое применение дистанционный спутниковый мониторинг состояния почвы и растений от измеряемых температуры и влажности воздуха при определении урожайности культур. Методы точного позиционирования с помощью искусственных спутников (ИСЗ) и GPS-приемников используют современные достижения в области квантовой радиофизики (аппаратное обеспечение), вычислительной математики, информационных технологий (коды и обработка сигналов). В элементной базе передатчиков, приемников, усилителей, преобразователей, анализаторов сигналов и т.п. используются кванторамерные гетероструктуры, что обеспечивает предельно минимальные размеры и массу аппаратуры, которые являются особенно критическими для спутниковых, космических систем. Определение координат реперных точек границ участка с необходимой точностью (2...5 см) обеспечивается с помощью методов спутниковой геодезии (статика, RTK – Real Time Kinematics) и GPS-приемников. Содержание программно-аппаратного обеспечения является коммерческой тайной разработчиков, поэтому отечественные специалисты вынуждены покупать иностранное (американское) оборудование и соответствующее программное обеспечение для создания систем в аграрном секторе. Для определения площади земельного участка произвольной криволинейной поверхности используют координаты пяти или более реперных точек. В работе рассмотрен простой метод определения площади криволинейной поверхности, в котором применяется приведенная средняя кривизна поверхности.

Ключевые слова: GPS-приемник, точное земледелие, площадь криволинейной поверхности, параллельное автовождение.

APPLICATION OF SATELLITE GEODESY IN AGRICULTURE

N.Sosnytska, M.Morozov, N.Domina, H.Onyshchenko, L.Khalanchuk

Summary

The paper discusses the features of the application of satellite geodesy methods for precision farming (precision farming). High-precision coordinate determination is used at all stages of agricultural production: sowing, fertilizing, irrigation, weed control and harvesting during the movement of agricultural machinery along permanent technological routes. Satellite navigation systems, such as the American NAVSTAR / GPS (Global Positioning System), provide accurate positioning in 3D space in real time for precision precision farming. The following two areas of application of satellite geodesy in agriculture can be distinguished: cartography - the establishment and refinement of the boundaries and areas of agricultural land (cadastres) and the provision of auto-driving (parallel driving) and GPS control of agricultural machinery. In addition, remote satellite monitoring of soil and plant conditions from measured temperature and air humidity to determining crop yields is widely used. Methods for accurate positioning using artificial satellites (AES) and GPS receivers use modern advances in the field of quantum radio physics (hardware), computational mathematics, information technology (codes and signal processing). In the element base of transmitters, receivers, amplifiers, converters, signal analyzers, etc. quantum-well heterostructures are used, which ensures extremely minimal dimensions and mass of equipment, which are especially critical for satellite and space systems.

The determination of the coordinates of the reference points of the site boundaries with the required accuracy (2 ... 5 cm) is provided using satellite geodesy methods (static, RTK - Real Time Kinematics) and GPS receivers. The content of the hardware and software is a commercial secret of the developers, therefore, domestic specialists are forced to buy foreign (American) equipment and the corresponding software for creating systems in the agricultural sector. To determine the area of a land plot of an arbitrary curved surface, the coordinates of five or more reference points are used. The paper considers a simple method for determining the area of a curved surface, in which the reduced average surface curvature is used.

Keywords: GPS-receiver, precision farming, curved surface area, parallel auto-driving.