

УДК 502.4

Д.В. Голкин<sup>1</sup>, А.С. Гребень<sup>2</sup>, В.Г. Худов<sup>3</sup><sup>1</sup> Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков<sup>2</sup> Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков<sup>3</sup> Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КООРДИНАТНОЙ ПРИВЯЗКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ УКРАИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GPS АППАРАТУРЫ НА ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТЕ

Проводится краткий анализ GPS аппаратуры, как спутниковой многопозиционной измерительной системы. Делается краткий вывод о том, что по принципам построения и функционирования GPS аппаратура соответствует многопозиционной радиолокационной системе. Рассматриваются особенности координатной привязки сельскохозяйственных полей Украины с помощью спутниковой радионавигационной системы на геостационарной орбите. Предлагается перейти от глобального к региональному уровню решения задач спутниковой навигации. Для координатной привязки сельскохозяйственных полей Украины предлагается использовать созвездие радионавигационных спутников только на геостационарной орбите. Производится синтез созвездия спутников. Предлагается сократить число радионавигационных аппаратов с 24-х до 2-х. Оценивается потенциальная точность определения географических координат сельскохозяйственных объектов Украины. Формулируются цели дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** математическая модель, координатная привязка, сельскохозяйственные поля, навигационная аппаратура, геостационарная орбита.

### Введение

**Постановка проблемы в общем виде.** GPS аппаратура является элементом спутниковых радионавигационных систем (GPS, Глонасс, Галилео) [1 – 3]. В состав GPS аппаратуры входит созвездие из 24 и более радионавигационных спутников и радионавигационные приемники по числу потребителей. Каждый приемник на своей пространственной позиции производит первичные измерения псевдодальностей и псевдоскоростей безапробным методом с привязкой результатов измерений к низкоточной кварцевой шкале времени. После получения первичных измерений от 4 и более одновременно видимых спутников, измерения привязываются к высокоточной атомной международной шкале частоты и времени.

По принципам построения и функционирования GPS аппаратура соответствует многопозиционной радиолокационной системе [4, 5]. В настоящей работе статистические характеристики обнаружения первичных сигналов и измерения их параметров (времен задержки сигналов и доплеровских сдвигов частоты) оставим без изменений. Основное внимание сосредоточим на многопозиционных характеристиках GPS аппаратуры: количестве размещений радионавигационных спутников на орбите.

**Цель статьи** – проанализировать математическую модель координатной привязки сельскохозяйственных полей Украины с использованием GPS аппаратуры на геостационарной орбите.

**Анализ последних достижений и публикаций.** В известных работах [6 – 13] определено, что координатная привязка сельскохозяйственных полей предполагает работу с электронными картами полей как геоинформационной базой, на основании которой проводятся практически все агрохимические и агротехнические операции.

Для получения координат контуров полей и их участков во всех работах предлагается использовать GPS приёмники. Однако при работе в составе космических радионавигационных систем (GPS, ГЛОНАСС, ГАЛИЛЕО) координаты объектов навигации могут измеряться со среднеквадратической ошибкой 30 – 40 м [1, 2], что может быть недостаточным для выполнения сельскохозяйственных работ.

Для повышения точности измерений до сантиметрового уровня и выше требуется использовать дополнительные улучшающие подсистемы (региональные и локальные), что вызывает существенное усложнение спутниковых радионавигационных систем.

### Постановка задачи и изложение материалов исследования

В настоящей работе предлагается перейти от глобального к региональному уровню решения задач координатной привязки сельскохозяйственных полей, использовать радионавигационные спутники на геостационарной орбите, сократить число аппаратов с 24-х до 2-х, ограничить измерения координат сельскохозяйственных объектов Украины измерениями только двух географических координат и за

счёт этого повысить точность измерений.

В работах [3, 10, 11] показано, что для измерения координат объектов навигации с помощью спутниковых радионавигационных аппаратов необходимо:

- проводить измерение времени задержки навигационных сигналов запросным методом;
- обеспечить прямую видимость навигационных спутников со всеми сельскохозяйственными объектами, находящимися на территории региона (территории Украины);
- ограничить измерение координат сельскохозяйственных объектов измерениями двух географических координат (широты и долготы);
- созвездие радионавигационных спутников ограничить двумя одновременно видимыми радионавигационными спутниками;
- обеспечить угол между ортами векторов, направленных от сельскохозяйственных объектов на два геостационарных космических аппарата (ГКА), равным или близким к  $\frac{\pi}{2}$ .

Для дальнейших исследований территорию Украины ограничим восточной и западной долготой ( $\lambda_B$  и  $\lambda_3$ ) и северной и южной широтой ( $\varphi_N$  и  $\varphi_S$ ) (рис. 1).

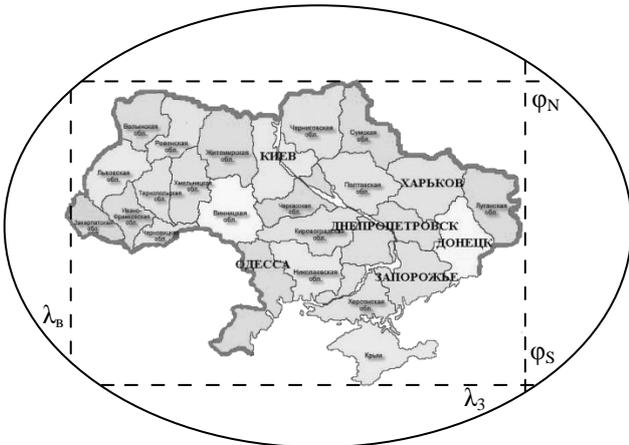


Рис. 1. Территория Украины

Для расчётов принимаем:  $\lambda_B = 25^\circ$  в.д.,  $\lambda_3 = 45^\circ$  в.д.,  $\varphi_N = 50^\circ$  с.ш.,  $\varphi_S = 40^\circ$  с.ш.

Параметры орбиты следующие: орбита круговая ( $E = 0$ ), радиус-вектор орбиты ( $R_3 + H = 42188$  км) [14, 15], где  $E$  – эксцентриситет орбиты,  $R_3$  – радиус Земли,  $H$  – высота спутника.

Учтём, что для ГКА, находящихся в плоскости экватора, их эфемериды  $H$ ,  $\varphi_{КА}$  и  $\lambda_{КА}$  сводятся к обоснованию только высоты и текущих долгот ГКА  $\lambda_{КА}$ , при этом  $\varphi_{КА} = 0$ . При  $\varphi_{КА} = 0$  долготы точек ГКА должны удовлетворять двум условиям:

- обеспечение прямой видимости ГКА с сель-

скохозяйственными объектами;

– обеспечение ортогональности ортов векторов ГКА – сельскохозяйственные объекты.

С учётом задач координатной привязки сельскохозяйственных полей поставим задачу определения географических координат сельскохозяйственных полей на территории Украины с использованием радионавигационных спутников только на геостационарной орбите. Задача определения координат сельскохозяйственных полей Украины должна решаться круглосуточно.

**Обеспечение прямой видимости ГКА с сельскохозяйственными объектами.** Перейдём от географических координат ( $\lambda, \varphi$ ) к прямоугольным геоцентрическим координатам ( $x, y, z$ ) по правилам перехода от сферических координат к прямоугольным координатам [16]:

$$\begin{cases} x = \rho \cos(\lambda) \cos(\varphi), \\ y = \rho \sin(\lambda) \cos(\varphi), \\ z = \rho \sin(\varphi), \end{cases} \quad (1)$$

где  $\rho$  – модуль радиус-вектора объекта наблюдения (сельскохозяйственного объекта),  $\rho = R_3$ .

Для сельскохозяйственных объектов с учетом (1) получаем

$$\begin{cases} x = R_3 \cos(\lambda) \cos(\varphi), \\ y = R_3 \sin(\lambda) \cos(\varphi), \\ z = R_3 \sin(\varphi). \end{cases} \quad (2)$$

Для ГКА запишем

$$\begin{cases} x_{ГКА} = (R_3 + H) \cos(\lambda_{ГКА}), \\ y_{ГКА} = (R_3 + H) \sin(\lambda_{ГКА}), \\ z_{ГКА} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

В выражении (3) учтено, что для всех ГКА  $\varphi_{ГКА} = 0$ ,  $z_{ГКА} = \rho \sin(\varphi) = 0$ .

Условие прямой видимости между ГКА и сельскохозяйственными объектами с координатами ( $\lambda, \varphi$ ) запишем по правилам скалярного произведения векторов как (рис. 2):

$$\cos(\theta) = \frac{\bar{R}_1 \bar{R}_2}{|\bar{R}_1| |\bar{R}_2|}, \quad (4)$$

где  $\theta$  – угол между векторами  $\bar{R}_1$  и  $\bar{R}_2$ ;

$\bar{R}_1$  – радиус-вектор сельскохозяйственного объекта;

$\bar{R}_2$  – вектор между сельскохозяйственным объектом и ГКА.

Из геометрического построения (рис. 2) следует, что при  $\theta = (\frac{\pi}{2} \dots \pi)$  всегда обеспечивается прямая видимость ГКА – сельскохозяйственный объект.

В соответствии с геометрическими построениями (рис. 2):

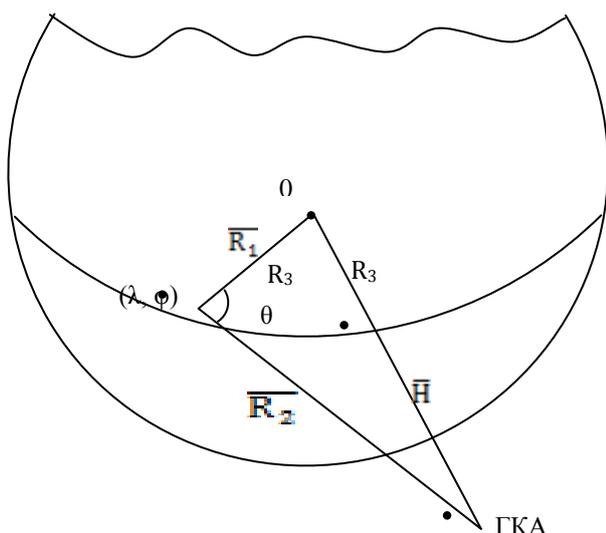


Рис. 2. Геометрическое положение ГКА относительно сельскохозяйственного объекта

$$\begin{cases} \bar{R}_1 = (R_3 \cos(\lambda) \cos(\varphi), R_3 \sin(\lambda) \cos(\varphi), R_3 \sin(\varphi)), \\ \bar{R}_2 = (R_3 \cos(\lambda) \cos(\varphi) - (R_3 + H) \cos(\lambda_{ГКА}), \\ R_3 \sin(\lambda) \cos(\varphi) - (R_3 + H) \sin(\lambda_{ГКА}), R_3 \sin(\varphi)). \end{cases}$$

Предельное значение угла  $\theta$  составляет  $\theta = \frac{\pi}{2}$ ,

что соответствует углу возвышения ГКА относительно сельскохозяйственного объекта равному 0. В связи с этим пределы изменения долготы точки стояния ГКА целесообразно выбрать в пределах  $\lambda_{ГКА} = \lambda_0 - \lambda_{ГКАпред}$ , где  $\lambda_0$  – долгота сельскохозяйственного объекта.

**Вычисление предельного значения долготы точки стояния ГКА.** Учтём, что предельное значение долготы точки стояния ГКА соответствует углу

ГКА – сельскохозяйственный объект  $\theta = \frac{\pi}{2}$ .

Следовательно, основное уравнение (4) для нахождения предельной долготы точки стояния ГКА преобразуется к виду

$$\bar{R}_1 \bar{R}_2 = 0. \quad (5)$$

После вычисления по правилам получения скалярного произведения векторов  $\bar{R}_1$  и  $\bar{R}_2$  получим

$$\begin{aligned} \bar{R}_1 \bar{R}_2 = & R_3^2 \cos^2(\lambda) \cos^2(\varphi) - R_3 (R_3 + H) \cos(\lambda_{ГКА}) \times \\ & \times \cos(\lambda) \cos(\varphi) + R_3^2 \sin^2(\lambda) \cos^2(\varphi) - R_3 (R_3 + H) \times \\ & \times \sin(\lambda) \cos(\varphi) \sin(\lambda_{ГКА}) + R_3^2 \sin^2(\varphi) = 0. \end{aligned}$$

После преобразований найдём

$$\frac{R_3}{(R_3 + H) \cos(\varphi)} = \cos(\lambda_{ГКА} - \lambda).$$

Окончательно получим следующую расчётную формулу для определения предельной долготы точки стояния ГКА:

$$\lambda_{ГКАпред} = \lambda + \arccos\left(\frac{R_3}{(R_3 + H) \cos(\varphi)}\right). \quad (7)$$

В соответствии с (7) предельная прямая видимость с сельскохозяйственным объектом, расположенным на восточной границе Украины, находится как

$$\lambda_{ГКАпред} = \lambda_В + \arccos\left(\frac{R_3}{(R_3 + H) \cos(\varphi)}\right),$$

а для объектов, расположенных на западной границе,

$$\lambda_{ГКАпред} = \lambda_З + \arccos\left(\frac{R_3}{(R_3 + H) \cos(\varphi)}\right).$$

При этом объекты, расположенные на южных широтах  $\varphi_S$ , будут наблюдаться лучше, чем объекты на северных широтах  $\varphi_N$ , т.к.  $\cos(\varphi_S) < \cos(\varphi_N)$ .

Для получения количественных значений предельных долгот  $\lambda_{ГКАпред}$  принимаем  $\lambda_В = 25^\circ$  в.д.,  $\lambda_З = 45^\circ$  в.д.,  $\varphi = \varphi_N = 50^\circ$  с.ш.,  $(R_3 + H = 42188 \text{ км})$  [15].

Для таких исходных данных предельное значение долгот точек стояния ГКА составляет величины

$$\lambda_{ГКАВ} = 25^\circ + 78^\circ = 103^\circ,$$

$$\lambda_{ГКАЗ} = 45^\circ + 78^\circ = 123^\circ.$$

Полученные значения предельных долгот точек стояния ГКА соответствуют условиям прямой видимости сельскохозяйственных объектов только по одну сторону от ГКА. Для двухстороннего обзора (рис. 3) расчётная формула (7) изменится следующим образом

$$\lambda_{ГКАпред} = \lambda \mp \arccos\left(\frac{R_3}{(R_3 + H) \cos(\varphi)}\right).$$

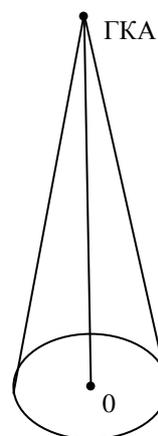


Рис. 3. Двусторонний обзор с борта ГКА

С учётом двухстороннего обзора получим следующие значения предельных долгот точек стояния ГКА:

$$\lambda_{ГКАВ} = 25^\circ \mp 78^\circ = -53^\circ \dots 103^\circ,$$

$$\lambda_{ГКАЗ} = 45^\circ \mp 78^\circ = -33^\circ \dots 123^\circ.$$

Графики долгот точек стояния двух ГКА относительно сельскохозяйственных объектов Украины представлены на рис. 4.

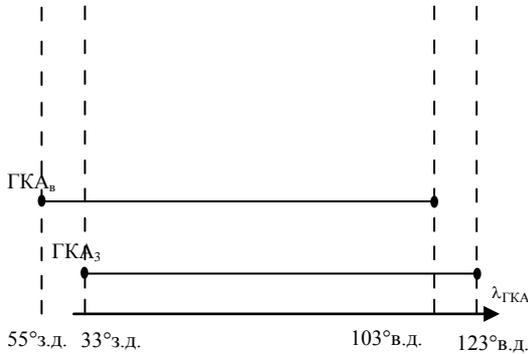


Рис. 4. Графики долгот точек стояния ГКА

Из рис. 4 определим долготы точек стояния ГКА при условии прямой видимости сельскохозяйственных объектов Украины одновременно двумя ГКА.

Диапазон долгот точек стояния одновременно двух видимых ГКА составляет 33°з.д. - 103°в.д.

Крайние значения углов точек стояния ГКА оказались симметрично расположенными относительно территории Украины (рис. 5).

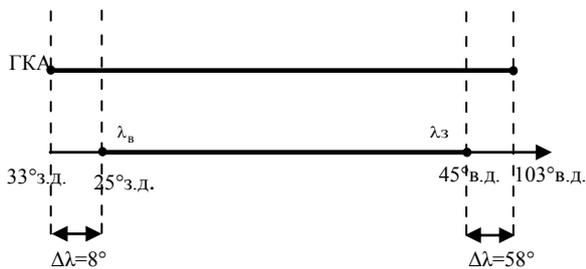


Рис. 5. Расположение долгот точек стояния ГКА относительно территории Украины

В этом случае обеспечиваются одинаковые условия наблюдения сельскохозяйственных объектов Украины и одинаковые точности измерения их координат. В связи с этим для дальнейших исследований будем считать, что ГКА №1 расположен на долготе  $\lambda_1=33^\circ$  з.д., а ГКА №2 – на долготе  $\lambda_2=103^\circ$  в.д.

Для окончательного принятия решения о размещении ГКА на стационарной орбите необходимо оценить величину угла  $\gamma$  между двумя векторами, направленными от сельскохозяйственного объекта до ГКА №1 и ГКА №2 и выбрать такое расположение ГКА, при котором  $\gamma = \frac{\pi}{2}$  или близко к  $\frac{\pi}{2}$ .

**Оценка потенциальной точности измерения координат сельскохозяйственных объектов**

**Украины.** Поставим и решим оптимизационную задачу обоснования долгот точек стояния ГКА по критерию максимальной точности измерения координат сельскохозяйственных объектов Украины. Для оценки потенциальной точности измерения координат объектов будем использовать геометрический фактор космической навигационной системы PDOP-ГИС, численно обратно пропорциональный площади, заключённой между ортами векторов, направленных от сельскохозяйственного объекта на ГКА №1 и ГКА №2 [10, 11].

$$PDOP-ГИС = \frac{1}{2S},$$

где  $S$  – площадь, заключённая между ортами рассматриваемых векторов,

$$S = \frac{1}{2} \sin(\gamma) [16].$$

При величине  $\gamma = \frac{\pi}{2}$ ,  $S = \frac{1}{2} \sin(\gamma)$  PDOP-ГИС =  $\sin(\gamma) = 1$ . В этом случае погрешность измерения координат объектов минимальна и равна

$$\Delta = PDOP - ГИС \Delta_d = \Delta_d,$$

где  $\Delta_d$  – погрешность измерения дальностей от объекта до ГКА.

В других случаях

$$\Delta = \frac{\Delta_d}{\sin(\gamma)}.$$

Вычислим величину угла  $\gamma$ , значение геометрического фактора PDOP-ГИС и погрешность измерения координат сельскохозяйственных объектов Украины. Предварительно проведём геометрические построения (рис. 6).

Из геометрических построений (рис. 2) следует что:

$$\bar{R}_3 = \begin{pmatrix} (R_3 + H) \cos(\lambda_1 \frac{\pi}{180}) - R_3 \cos(\lambda_B \frac{\pi}{180}) \cos(\varphi_1 \frac{\pi}{180}) \\ (R_3 + H) \sin(\lambda_1 \frac{\pi}{180}) - R_3 \sin(\lambda_B \frac{\pi}{180}) \cos(\varphi_1 \frac{\pi}{180}) \\ -R_3 \sin(\varphi_1 \frac{\pi}{180}) \end{pmatrix},$$

$$\bar{R}_4 = \begin{pmatrix} (R_3 + H) \cos(\lambda_2 \frac{\pi}{180}) - R_3 \cos(\lambda_B \frac{\pi}{180}) \cos(\varphi_1 \frac{\pi}{180}) \\ (R_3 + H) \sin(\lambda_2 \frac{\pi}{180}) - R_3 \sin(\lambda_B \frac{\pi}{180}) \cos(\varphi_1 \frac{\pi}{180}) \\ -R_3 \sin(\varphi_1 \frac{\pi}{180}) \end{pmatrix},$$

$$\bar{R}_5 = \begin{pmatrix} (R_3 + H) \cos(\lambda_1 \frac{\pi}{180}) - R_3 \cos(\lambda_3 \frac{\pi}{180}) \cos(\varphi_1 \frac{\pi}{180}) \\ (R_3 + H) \sin(\lambda_1 \frac{\pi}{180}) - R_3 \sin(\lambda_3 \frac{\pi}{180}) \cos(\varphi_1 \frac{\pi}{180}) \\ -R_3 \sin(\varphi_1 \frac{\pi}{180}) \end{pmatrix},$$

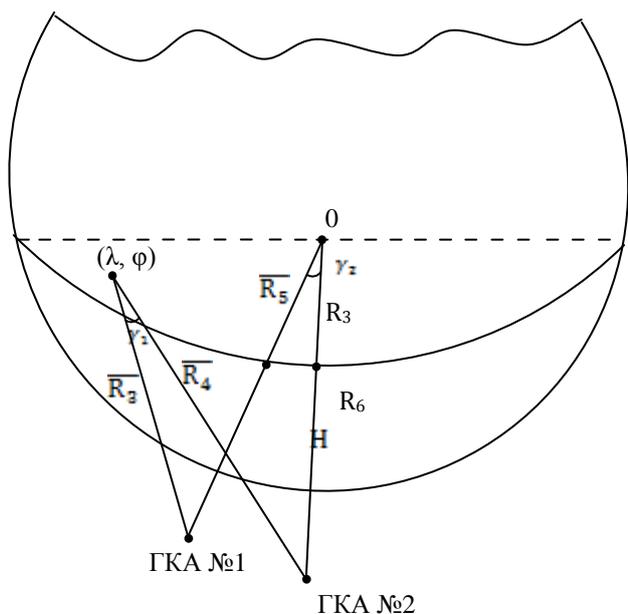


Рис. 6. Геометрическое положение сельскохозяйственного объекта с координатами  $(\lambda, \varphi)$  относительно двух ГКА

$$\bar{R}_6 = \begin{pmatrix} (R_3 + H) \cos(\lambda_2 \frac{\pi}{180}) - R_3 \cos(\lambda_3 \frac{\pi}{180}) \cos(\varphi_1 \frac{\pi}{180}) \\ (R_3 + H) \sin(\lambda_2 \frac{\pi}{180}) - R_3 \sin(\lambda_3 \frac{\pi}{180}) \cos(\varphi_1 \frac{\pi}{180}) \\ -R_3 \sin(\varphi_1 \frac{\pi}{180}) \end{pmatrix}$$

Для вычисления угла  $\gamma$  воспользуемся правилами вычисления скалярного произведения векторов [16]. Для вычисления скалярного произведения векторов будем использовать алгоритмы и программы MathCAD 14 Enterprise. При принятых исходных данных, а также при  $\lambda_1 = 33^\circ$  з.д. и  $\lambda_2 = 103^\circ$  в.д. получаем  $\gamma_1 = 117,686^\circ$  и  $\gamma_2 = 117,686^\circ$ , что значительно превышает требуемое значение  $\gamma = \frac{\pi}{2}$ .

Не трудно убедиться, что при  $\lambda_1 = 7^\circ$  з.д. и  $\lambda_2 = 77^\circ$  в.д. значения углов  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  становятся равными  $\gamma_1 = 90,566^\circ$  и  $\gamma_2 = 90,566^\circ$ , что является приемлемым.

Дальнейшее уточнение углов  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  необходимо проводить с учётом потребностей конкретных пользователей геоинформационной информации и с учётом международных ограничений на долготы точек стояния ГКА, а также ограничений на возможности вывода ГКА на орбиту, ограничений на возможности космодронов и другие ограничения, что выходит за пределы настоящей статьи. В связи с этим остановимся на рекомендации  $\lambda_1 = 7^\circ$  з.д. и

$\lambda_2 = 77^\circ$  в.д. Схема синтезированного созвездия ГКА представлена на рис. 7.

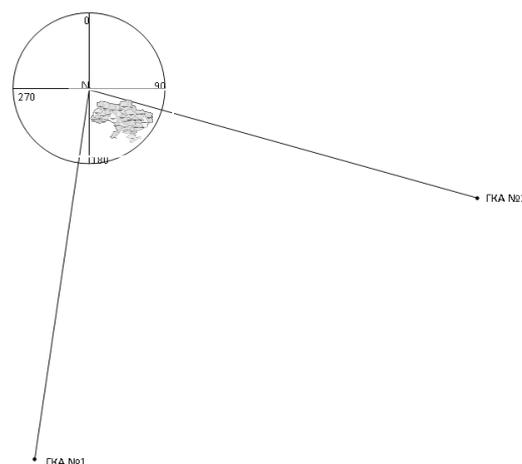


Рис. 7. Схема синтезированного созвездия ГКА

### Выводы и направления дальнейших исследований

Таким образом, исходя из изложенного выше материала, можно сделать следующие выводы.

1. По принципам построения и функционирования GPS аппаратура соответствует многопозиционной радиолокационной системе.

2. Разработана математическая модель измерения географических координат сельскохозяйственных полей Украины с использованием радионавигационных космических аппаратов на геостационарной орбите.

3. Модель включает математические соотношения, определяющие: прямую видимость космических аппаратов с сельскохозяйственными объектами Украины; значение предельных долгот точек стояния аппаратов на геостационарной орбите; потенциальную точность измерения координат сельскохозяйственных объектов; созвездие геостационарных космических аппаратов (их число и расстановку).

4. Результаты теоретических расчётов подтверждены результатами имитационного моделирования.

5. Для обеспечения максимальной точности измерения координат сельскохозяйственных объектов на территории Украины созвездие геостационарных космических аппаратов должно содержать не менее двух ГКА в плоскости экватора на высоте 35817км. Долготы точек стояния ГКА должны составлять  $\lambda_1 = 7^\circ$  з.д. и  $\lambda_2 = 77^\circ$  в.д.

6. Измеряться должны две географические координаты сельскохозяйственного объекта (широта и долгота).

7. Время задержки радионавигационных сигналов необходимо измерять запросным методом.

8. В качестве первичных необходимо использовать измерения дальностей от сельскохозяйственных объектов до двух ГКА.

9. В синтезированном созвездии ГКА обеспечивается максимальная точность измерения координат сельскохозяйственных объектов. Погрешность измерения равна погрешности измерения дальности до ГКА.

Целью дальнейших исследований является разработка математической модели региональной навигационной спутниковой системы Украины (РЕНАСС-У).

### Список литературы

1. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / Под ред. В.Н. Харисова. – М. ИПРЖР, 1998. – 397 с.
2. Радіонавігаційний план України / Под ред. А.А. Кошового. – К.: видавництво КВІЦ, 2002. – 77 с.
3. Гребень А.С. Оценка возможностей измерения координат объектов геоинформационных систем с помощью навигационных космических аппаратов на геостационарной орбите / А.С.Гребень // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2010. – Вип. 1 (82). – С. 21-24.
4. Справочник по радиолокации. Под ред. М. Скольника. – Нью-Йорк, 1970. Пер. с англ. (в четырех томах) под общей ред. К.Н.Трофимова. Том 4. Радиолокационные станции и системы. Под ред. М.М. Вейнштейна. – М.: Сов. радио, 1978. – 376 с.
5. Кремер И.Я. Пространственно-временная обработка сигналов / И.Я. Кремер, А.И. Кремер, В.М. Петров, В.А. Понькин, Н.А. Потапов; под ред. И.Я. Кремера. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с.
6. Гарбук С.В. Космические системы дистанционного зондирования земли / С.В. Гарбук, В.Е. Гершензон. – М.: Издательство АиБ, 1997. – 296 с.
7. Сайт AGROPHYS [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: [www.agrophys.com](http://www.agrophys.com).
8. Электронный ресурс. – Режим доступа до ресурсу: [www.sunhome.ru/journal/127643](http://www.sunhome.ru/journal/127643).
9. Электронный ресурс. – Режим доступа до ресурсу: Wiki – [linki.ru](http://linki.ru). Page/714023.
10. Красовский Г.Я. Оценка потенциальной точности космических навигационных определений координат объектов ГИС / Г.Я. Красовский, О.С. Бутенко, А.С. Гребень // Екологічна безпека та природокористування: збірник наукових праць. – К., 2009. – Вип 3. – С.14-123.
11. Гребень А.С. Оценка возможностей измерения координат объектов геоинформационных систем с помощью навигационных космических аппаратов на геостационарной орбите / А.С. Гребень // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Х.: ХУ ПС, 2010. – Вип. 1 (82). – С. 21-24.
12. Якушев В.В. Программно-технические средства информационного обеспечения и реализации агроприёмов в системе точного земледелия: автореферат дисс. / Якушев В.В. – СПб., 2005.
13. Красовский Г.Я. Введение в методы космического мониторинга окружающей среды / Г.Я. Красовский. – Х.: ХАИ, 1999. – 206 с.
14. Скребушевский Б.С. Формирование орбит космических аппаратов / Б.С. Скребушевский. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.
15. Инженерный справочник по космической технике: Под общ. ред. проф., д-ра техн. н. А.В. Солодова. – М.: Воениздат, 1969. – 414 с.
16. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1997. – 832 с.

Поступила в редколлегию 2.11.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка, Полтава.

### МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КООРДИНАТНОЇ ПРИВ'ЯЗКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПОЛІВ УКРАЇНИ З ВИКОРИСТАННЯМ GPS АПАРАТУРИ НА ГЕОСТАЦІОНАРНІЙ ОРБИТІ

Д.В. Голкін, О.С. Гребень, В.Г. Худов

Проводиться короткий аналіз GPS апаратури, як супутникової багатопозиційної вимірювальної системи. Проводиться короткий вивід про те, що по принципах побудови і функціонування GPS апаратура відповідає багатопозиційній радіолокаційній системі. Розглядаються особливості координатної прив'язки сільськогосподарських полів України за допомогою супутникової радіонавігаційної системи на геостационарній орбіті. Пропонується перейти від глобального до регіонального рівня вирішення завдань супутникової навігації. Для координатної прив'язки сільськогосподарських полів України пропонується використовувати сузір'я радіонавігаційних супутників тільки на геостационарній орбіті. Проводиться синтез сузір'я супутників. Пропонується скоротити число радіонавігаційних апаратів з 24-х до 2-х. Оцінюється потенційна точність визначення географічних координат сільськогосподарських об'єктів України. Формулюються цілі подальших досліджень.

**Ключові слова:** математична модель, координатна прив'язка, сільськогосподарські поля, навігаційна апаратура, геостационарна орбіта.

### MATHEMATICAL MODEL OF CO-ORDINATE ATTACHMENT OF THE AGRICULTURAL FIELDS OF UKRAINE WITH THE USE OF GPS OF APPARATUS ON GEOSTATIONARY ORBIT

D.V. Golkin, A.S. Greben, V.G. Khudov

The short analysis of GPS of apparatus is conducted, as a satellite multiposition measuring system. A short conclusion is done that on principles of construction and functioning of GPS an apparatus corresponds the multiposition radio-location system. The features of co-ordinate attachment of the agricultural fields of Ukraine are examined by the satellite radio navigation system on a geostationary orbit. It is suggested to pass from the global to the regional level decision of tasks of satellite navigation. For co-ordinate attachment of the agricultural fields of Ukraine it is suggested to utilize constellation of radio navigation vehicles only on a geostationary orbit. The synthesis of constellation of satellites is made. It is suggested to shorten the number of radio navigation vehicles from 24th to 2th. Potential exactness of determination of geographical co-ordinates of agricultural objects of Ukraine is estimated. The aims of further researches are formulated.

**Keywords:** mathematical model, co-ordinate attachment, agricultural fields, navigation apparatus, geostationary orbit.