

УДК 621.371

В.Н. Дейнеко

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОНОСФЕРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПСЕВДОДАЛЬНОСТЕЙ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ

Проведены исследования влияния ионосферной погрешности измерений псевдодальностей на точность определения координат с использованием аппаратуры спутниковых радионавигационных систем. Получены аналитические выражения, позволяющие оценить степень ухудшения точности определения координат навигационного потребителя из-за влияния ионосферной погрешности измерения псевдодальностей. Получены аналитические выражения, определяющие влияние ионосферы на точность определения координат для простейшего случая определения только плановых координат по двум измерениями и определения трех координат по многим измерениям.

Ключевые слова: ионосфера, спутниковая радионавигационная система, электронная концентрация, псевдодальность.

Введение

Постановка проблемы. Влияние ионосферы на распространение сигналов спутниковых радионавигационных систем (СРНС) заключается в том что, время прохождения сигнала через слой ионосферы отличается от времени его распространения в вакууме. В зависимости от методов измерения навигационных параметров (фазового или кодового) навигационный сигнал распространяется через слой ионосферы с ускорением либо с замедлением. В СРНС одним из основных навигационных параметров является псевдодальность от навигационного космического аппарата до фазового центра приемной антенны.

Степень влияния ионосферы на точность измерения псевдодальности зависит от многих факторов таких как, солнечная активность, сезон года, местоположения, местное время, цикла солнечной активности, угла возвышения на спутник и т.д.

За последние годы выполнено значительное количество теоретических и практических исследований, в которых приводятся числовые характеристики ионосферных погрешностей измерения псевдодальностей, которые находятся в пределах от 5...100 метров [1 – 4, 8 – 11]. Однако, для потребителей СРНС важно знать степень ухудшения точности определения координат из-за влияния ионосферы, для чего необходимо определить взаимосвязь между ионосферной погрешностью измерений псевдодальностей и точностью определения координат пользователем СРНС.

В работе [2] приводятся числовые значения погрешностей определения координат, вызванные ионосферой, которые были получены экспериментальным путем. Однако они являются средними значениями, полученных на суточных интервалах, и справедливы только для тех точек или регионов, в

которых проводились измерения. В работе [3] указывается, что ухудшение точности определения координат из-за ионосферы равно произведению ионосферной погрешности измерения псевдодальностей и геометрического фактора. Однако такой подход может быть справедлив только при допущении о том, что измерения относительно всех видимых спутников являются равноточными.

Проведенный анализ литературы [1 – 4, 8 – 11] показал, что в настоящее время не существует единого методического подхода к определению степени влияния ионосферной погрешности измерений псевдодальностей на точность определения координат.

Целью работы является определение степени влияния ионосферной погрешности измерений псевдодальностей на точность определения координат потребителями СРНС.

Результаты исследований

Погрешности навигационных измерений делятся на две основных категории: случайные и медленноменяющиеся погрешности. Быстроменяющиеся погрешности определяются, прежде всего, тепловыми шумами передающих и приемных трактов, нестабильностью работы генераторов, спутников и приемников, флуктуациями среды распространения. Медленноменяющиеся погрешности определяются несоответствием моделей изменения во времени часов спутника и приемника, регулярными составляющими задержек сигналов в тропосфере и ионосфере.

Каждый вид погрешности по-разному влияет на точность навигационных определений.

В наиболее простом случае связь между погрешностями измерения псевдодальностей и точностью определения координат можно показать на примере двумерного случая. Точность вычисления

координат объекта в пространстве зависит от погрешностей определения поверхностей и линий положения, которые в свою очередь, обуславливаются погрешностями измерения радионавигационных параметров. Погрешности в определении поверхности (линии) положения равна расстоянию по нормали между двумя поверхностями (линиями) положения, соответствующими истинному и измеренному значениям навигационного параметра. В общем виде, уравнение навигационного параметра в произвольной декартовой системе координат имеет вид $p = p(x, y, z)$ - в пространстве, $p = p(x, y)$ - на плоскости. Каждой точке пространства можно сопоставить определенное числовое значение приведенной функции. Таким образом, можно получить скалярное поле значений навигационного параметра. Поскольку навигационный параметр p в рассматриваемом случае представляет собой уравнение псевдодальности, которое является непрерывной и дифференцируемой функцией, то изменение скалярного поля удобно описывать его градиентом. Если единичный вектор \vec{l} представляет собой вектор нормали к поверхности (линии) положения, направленный в сторону возрастания навигационного параметра p , то выражение, определяющее градиент имеет вид:

$$\frac{\partial p}{\partial \ell} = \vec{l} \text{grad}(p). \quad (1)$$

Градиент является векторной величиной, показывающей направление скорейшего роста навигационного параметра, причем модуль градиента характеризует степень изменения скалярной функции p . Он дает возможность связать погрешность измеряемого параметра с погрешностью определения поверхностей положения $\Delta \ell$. Перейдя в (1) к конечным приращениям можно получить:

$$\Delta \ell = \Delta p / |\text{grad}(p)|. \quad (2)$$

Из (2) видно, что для уменьшения погрешностей определения поверхностей и линий положения следует увеличивать градиент поля навигационного параметра и повышать точность его измерения.

Если функция p задана аналитически в произвольной декартовой системе координат, то модуль градиента для поверхности положения имеет вид:

$$|\text{grad}(p)| = \sqrt{\left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial p}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)^2}. \quad (3)$$

На основе соотношений (1) – (3) можно получить погрешности определения линий положения для всех способов измерения навигационных параметров.

В рассматриваемом случае в состав измеряемых параметров входят только дальности до спут-

ников, поэтому линии равных дальностей имеют форму окружности. Это значит, что направление нормали совпадает с радиальным, а модуль градиента $|\text{grad} R| = 1$. Это можно показать аналитически, т.к. квадрат модуля градиента определяется суммой квадратов направляющих косинусов:

$$|\text{grad}(R)| = \sqrt{\cos_x^2 + \cos_y^2 + \cos_z^2} = 1.$$

где \cos_x, \cos_y, \cos_z – направляющие косинусы.

Из (2), (3) видно, что, используя дальномерный способ, точность определения линии положения объекта будет определяться точностью измерения дальности. Приведенные соотношения позволяют определить ошибки линии положения для единичной ошибки измерения дальности (два измерения дальности). Местоположение объекта определяется, как точка пересечения двух или более линий положения. Погрешности, возникающие при определении каждой линии положения, приводят к тому, что вычисленное местоположение объекта отличается от истинного. Так как потребитель находится на больших расстояниях от спутников (около 20 000 км), относительно которых определяются линии положения, и погрешности определения линий положения намного меньше этих расстояний, то семейство линий положения, в окрестности точки потребителя можно считать отрезками параллельных прямых независимо от их формы. Геометрическая интерпретация изложенного представлена на рис. 1. Истинное положение объекта находится в точке M , которая является точкой пересечения линий положений AB и CD , соответствующих истинным значениям измеряемых параметров (рис. 1). Прямые $A'B'$ и $C'D'$ определяют линии положения с учетом погрешностей измерения, M' – вычисленное с погрешностями местоположения.

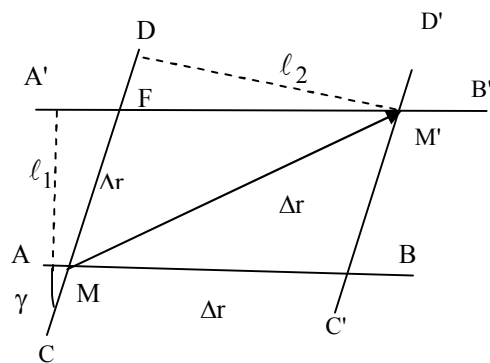


Рис. 1. Геометрическая интерпретация погрешности определения местоположения объекта на плоскости

Линии положения AB и CD пересекаются под углом γ . Точки M и M' смещены относительно друг друга на расстояние Δr , которое является погрешностью определения местоположения объекта. Ве-

личины ℓ_1 і ℓ_2 представляють собою лінійні погрешності визначення ліній положення АВ і CD, які в даному випадку є погрешностями вимірювання псевдодальностей R_1 і R_2 .

Із геометричних міркувань можна визначити зв'язок між лінійними і радіальними погрешностями вимірювання псевдодальностей:

$$r_1 = \frac{\ell_1}{\sin \gamma} \quad r_2 = \frac{\ell_2}{\sin \gamma}. \quad (4)$$

Затем із трикутника MM'F, по теоремі косинусів, знаходимо:

$$\Delta r^2 = r_1^2 + r_2^2 + 2r_1r_2 \cos \gamma.$$

Із останнього вираження з урахуванням (4) можна отримати:

$$\Delta r = \frac{\sqrt{\ell_1^2 + \ell_2^2 + 2\ell_1\ell_2 \cos \gamma}}{\sin \gamma}.$$

Так як погрешності ℓ_1 і ℓ_2 представляють собою випадкові величини, то і погрешність визначення місцеположення об'єкта є випадковою величиною.

Поэтому, вираження для визначення СКО погрешності місцеположення в залежності від середньоквадратичних відхилень вимірювання псевдодальностей можна записати

$$\sigma_{\Delta r} = \frac{\sqrt{\sigma_{\ell_1}^2 + \sigma_{\ell_2}^2 + 2\sigma_{\ell_1}\sigma_{\ell_2}\rho \cos \gamma}}{\sin \gamma}, \quad (5)$$

де ρ – коефіцієнт взаємної кореляції погрешностей вимірювань.

Із (5) видно, що СКО визначення положення залежить від відхилення вимірювання псевдодальностей σ_{ℓ_1} і σ_{ℓ_2} , а також від кута перетину ліній положення γ і від взаємної кореляції ρ . Максимальна точність при заданих σ_{ℓ_1} і σ_{ℓ_2} буде тоді, коли лінії положення перетинаються під кутом 90° . Дані міркування дають представлення про вплив іоносферної погрешності вимірювань на точність визначення координат для плоского випадку.

На практиці пространства вимірювань і визначених параметрів є багатовимірними. Поэтому цілком природно визначити ступінь впливу іоносферної погрешності при виконанні вимірювань відносно всіх видимих НКА. Для цього необхідно розглянути модель вимірювань псевдодальностей.

Розглянемо випадок, коли із систематических погрешностей вимірювань псевдодальностей присутствує тільки регулярна іоносфера. Для цього необхідно розглянути модель вимірювань псевдодальностей.

В найбільш загальному вигляді дана модель може бути представлена в вигляді:

$$\hat{D} = R_0 + \Delta r_{\text{и}} + \eta, \quad (6)$$

де R_0 – істинна дальність «потребитель – НКА»;

$\Delta r_{\text{и}}$ – систематическая іоносферна погрешність вимірювань;

η – випадкова складова погрешності, (шуми прийомної апаратури, багатолучевість, нерегулярні атмосферні впливи).

Вплив випадкових помилок вимірювань на точність оцінювання параметрів вектора стану в значительній ступені вдається знизити, використовуючи спеціальні і статистическі методи обробки вимірної інформації. Поэтому основний вклад в погіршення точності вимірювання кожної псевдодальності буде вносити систематическая погрешність, обумовлена впливом іоносфери $\Delta r_{\text{и}}$.

Если прийняти, що систематическі погрешності відсутні, а випадкові η – представляють собою випадкові величини з нульовим математическим очікуванням і кореляційною матрицею K_D , то оцінки іскомого вектора \vec{X} можуть бути знайдені методом найменших квадратів [5, 6].

Точність отриманих при цьому оцінок буде характеризуватися кореляційною матрицею наступного вигляду:

$$K_{\vec{X}} = (A^T K_D A)^{-1}.$$

де $A = \left\| \frac{\partial \vec{D}}{\partial \vec{X}} \right\|$ – матриця похідних вимірюваних псевдодальностей по визначеним елементам вектора стану;

\vec{D} – вектор, елементами якого є вимірювані псевдодальності;

$\vec{X} = \| X, Y, Z \|$ – вектор стану користувача (координати);

K_D – кореляційна матриця погрешностей вимірювання псевдодальностей.

При цьому оцінка вектора стану, визначена по МНК, розраховується по формулі [7]:

$$\vec{X}_i = \vec{X}_{i-1} + (A_{i-1}^T K_D^{-1} A_{i-1})^{-1} A_{i-1}^T K_D^{-1} \times [\vec{D} - \vec{R}(\vec{X}_{i-1})], \quad (7)$$

де $\vec{R}(\vec{X}_{i-1})$ – дальність, до супутника розрахована із координат користувача, отриманих на попередній ітерації.

Точність визначення вектора стану згідно (7), при наявності в вимірюваннях регулярної іоносферної складової, можна знайти, визначив математическое очікування вектора оцінок \vec{X} :

$$\begin{aligned} M[\widehat{\bar{X}}] &= M\{\widehat{\bar{X}}_{i-1} + (A_i^T K_D^{-1} A_i)^{-1} A_i^T K_D^{-1} [\bar{D}_i - \bar{R}(\widehat{\bar{X}}_{i-1})]\} = \\ &= \bar{X}_{i-1} + (A_i^T W_D A_i)^{-1} A_i^T W_D \{ \bar{R}_0 + \bar{\eta} + \bar{\Delta} r_{\text{и}} - \bar{R}(\bar{X}_{i-1}) \} = \\ &= \widehat{\bar{X}}_{i-1} + \bar{X}_0 + (A_i^T W_D A_i)^{-1} A_i^T W_D \bar{\Delta} r_{\text{и}} - \widehat{\bar{X}}_{i-1} = \\ &= \bar{X}_0 + (A_i^T W_D A_i)^{-1} A_i^T W_D \bar{\Delta} r_{\text{и}}, \end{aligned} \quad (8)$$

где \bar{X}_0 – вектор истинных значений координат потребителя.

Выражение (8) получено с учетом того, что $M\{\bar{\eta}\} = 0$, а величины $\bar{R}_0, \bar{\Delta} r_{\text{и}}, \bar{R}(\bar{X}_{i-1})$ – являются статистически независимыми.

Вторая составляющая (8) характеризует величину смещения математического ожидания \bar{X} от его истинного значения.

Из (8) также видно, что оценки состояния вектора потребителя, полученные по (7) являются смещенными на величину

$$(A_i^T W_D A_i)^{-1} A_i^T W_D \bar{\Delta} r_{\text{и}}.$$

Смещение полученных оценок будет определяться систематической погрешностью измерения $\bar{\Delta} r_{\text{и}}$, которая обусловлена влиянием ионосферы. Помимо смещения наличие $\bar{\Delta} r_{\text{и}}$ приведет к искажению характеристик рассеивания оценок относительно их истинных значений.

Значения характеристик рассеивания можно получить, определив матрицу вторых начальных моментов оценок $\tilde{K}_{\bar{X}}$:

$$\begin{aligned} \tilde{K}_{\bar{X}} &= M\{(\widehat{\bar{X}})(\widehat{\bar{X}})^T\} = \\ &= M\{[\bar{X}_{i-1} + (A_i^T W_D A_i)^{-1} \times A_i^T W_D (\bar{D}_i - \bar{R}(\bar{X}_{i-1}))] \times \\ &\times [\bar{X}_{i-1} + (A_i^T W_D A_i)^{-1} A_i^T W_D (\bar{D}_i - \bar{R}(\bar{X}_{i-1}))]^T\}. \end{aligned}$$

Для упрощения дальнейших выкладок необходимо ввести обозначение:

$$\nabla = (A^T W_D A)^{-1} A^T W_D.$$

Тогда выражение, определяющее корреляционную матрицу, будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \tilde{K}_X &= M\{(\widehat{\bar{X}})(\widehat{\bar{X}})^T\} = M\{[\widehat{\bar{X}}_{i-1} + \nabla \cdot (\bar{D}_i - \bar{R}(\widehat{\bar{X}}_{i-1}))] \times \\ &[\widehat{\bar{X}}_{i-1} + \nabla \cdot (\bar{D}_i - \bar{R}(\widehat{\bar{X}}_{i-1}))]^T\}. \end{aligned}$$

С учетом того, что модель измеренной псевдодальности \bar{D}_i принята в виде (1), выражение для корреляционной матрицы приобретает вид:

$$\begin{aligned} \tilde{K}_X &= \\ &= M\{[\bar{X}_{i-1} + \nabla \cdot R_0 + \nabla \cdot \bar{\Delta} r_{\text{и}} + \nabla \cdot \bar{\eta} - \nabla \cdot \bar{R}(\bar{X}_{i-1})] \times \\ &[\bar{X}_{i-1} + \nabla \cdot R_0 + \nabla \cdot \bar{\Delta} r_{\text{и}} + \nabla \cdot \bar{\eta} - \nabla \cdot \bar{R}(\bar{X}_{i-1})]^T\}. \end{aligned}$$

Учитывая, что

$$\nabla \cdot \bar{R}_0 = (A^T W_D A)^{-1} A^T W_D \bar{R}_0 = \bar{X}_0,$$

целесообразно принять допущение о том, что вектор истинных координат совмещен с началом отсчета, в этом случае \bar{X}_0 будет равен нулю. Кроме этого, известно, что [5]

$$\nabla \cdot \bar{R}(\widehat{\bar{X}}_{i-1}) = (A^T W_D A)^{-1} A^T W_D \bar{R}(\widehat{\bar{X}}_{i-1}) = \widehat{\bar{X}}_{i-1}.$$

Учитывая принятые допущения, корреляционная матрица примет вид:

$$\tilde{K}_X = M\{[\nabla \cdot \bar{\eta} + \nabla \cdot \bar{\Delta} r_{\text{и}}] \times [\nabla \cdot \bar{\eta} + \nabla \cdot \bar{\Delta} r_{\text{и}}]^T\}.$$

Осуществляя операцию математического ожидания, транспонирования и раскрывая скобки составляющих полученного выражения можно получить:

$$\begin{aligned} \tilde{K}_{\bar{X}} &= (A^T W_D A)^{-1} + (A^T W_D A)^{-1} \times \\ &A^T W_D \bar{\Delta} r_{\text{и}} \bar{\Delta} r_{\text{и}}^T W_D A (A^T W_D A)^{-1}. \end{aligned}$$

Данное выражение получено с учетом того, что

$$M\{\bar{\eta}\} = 0, M\{\bar{\eta}^T\} = 0, M\{\bar{\eta} \bar{\eta}^T\} = W_D^{-1},$$

а также что матрица W_D и квадратичная форма $(A^T W_D A)^{-1}$ являются симметричными.

С учетом введенных обозначений выражение для корреляционной матрицы погрешностей определения координат можно записать как:

$$\tilde{K}_{\bar{X}} = (A^T W_D A)^{-1} + \nabla \bar{\Delta} r_{\text{и}} \bar{\Delta} r_{\text{и}}^T \nabla^T. \quad (9)$$

Из выражения (9) видно, что первое слагаемое представляет собой корреляционную матрицу погрешностей определения координат, в случае если в измерениях не было систематической составляющей обусловленной ионосферной погрешностью.

Второе слагаемое (9) представляет собой квадрат смещения математического ожидания вектора оценок получаемого согласно (7).

Из (9) видно, что пренебрежение ионосферной составляющей погрешности приводит к ухудшению точности определения вектора состояния на величину $\nabla \bar{\Delta} r_{\text{и}} \bar{\Delta} r_{\text{и}}^T \nabla^T$.

Выводы

Выполненные теоретические исследования, позволили получить аналитические выражения, позволяющие оценить степень влияния ионосферной погрешности измерений псевдодальностей на точность определения координат потребителя.

Использовать полученные аналитические выражения можно для проведения предварительных расчетов и оценки потенциальной точности существующих или перспективных систем и комплексов, использующих спутниковые навигационные технологии. Также полученные выражения можно использовать для оценки степени влияния ионосферы на точность определения координат с использовани-

ем сигналів любых СРНС (GPS, ГЛОНАСС, GALILEO и др.).

Кроме этого, значения ионосферных погрешностей определения псевдодальностей вообще могут быть получены из беспутниковых систем (станции вертикального ионосферного зондирования, сигналы любого спутника на двух частотах и т.д.).

Список литературы

1. Колосов М.А. Распространение радиоволн при космической связи / М.А. Колосов, Н.А. Арманд, О.И. Яковле. – М.: Связь, 1969. – 155 с.
2. Альперт Я.Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера / Я.Л. Альперт. – М.: Наука, 1972. – 563 с.
3. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн / Ф.Б. Черный. – М.: Сов. радио, 1972. – 463 с.
4. Деденок В.П. Комплекс оперативного трехмерного мониторинга ионосферы с использованием сигналов GNSS / В.П. Деденок, С.Н. Флерко, Ю.В. Резников // Материалы первого украинско-китайского форума “Наука - производство”. – Х.: ХНУРЭ, 2007. – 132 с.
5. Смирнов В.М. Решение обратной задачи радиопросвечивания ионосферы Земли градиентными методами / В.М. Смирнов // Радиотехника и электроника. – 2001. – № 1. – С. 47-52.
6. Котьякин С.И. Определение ионосферной задержки сигналов в одночастотной аппаратуре потребителей спутниковой системы навигации NAVSTAR / С.И. Котьякин // Зарубежная радиоэлектроника. – 1989. – №5. – С. 85-95.
7. Тучин Д.А. Кодовые измерения псевдодальности системы GPS. Модель ошибок и априорная оценка точности определения вектора положения / Д.А. Тучин // Российская Академия Наук, Ордена Ленина Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша. – М.: 2002. – 17 с.
8. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации / Ю.А. Соловьев. – М.: Эко-Трендз, 2000. – 257 с.
9. Глобальная система визначення місцеположення (GPS): Теорія і практика / Б. Гофманн-Велленгоф, Г. Ліхтенеггер, Д. Коллінз: переклад з англ., під ред. Я.С. Яцківа. – К.: Наукова думка, 1995. – 380 с.
10. Жданюк Б.Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений / Б.Ф. Жданюк. – М.: Сов. радио, 1978. – 350 с.
11. Кузьмин С.З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации / С.З. Кузьмин. – М.: Советское радио, 1974. – 432 с.
12. Губин В.А. Основы радионавигационных измерений / В.А. Губин, Н.Ф. Клюев, А.А. Костылев и др. – М.: МО СССР, 1987. – 429 с.
13. S. Rajagopal, T. Walter, S. Datta-Barua, J. Blanch Correlation Structure of the Equatorial Ionosphere – Stanford University Takeyasu Sakai, Electronic Navigation Research Institute pp. 29 -36.
14. Lejeune R. El-Arini An Ionospheric Grid Algorithm for WAAS on the Minimum Mean Square Error Estimator / R. Lejeune, M. Barky. – Washington, August 27, 2003.
15. Zhang Y. TEC Measurement by Single Dual-frequency GPS Receiver / Y. Zhang, F. Wu, N. Kubo, A. Yasuda. 2-1-6 Etchujima, Koto-ku, Tokyo 135-8533 Japan – P. 429–436.
16. Grewal M.S. Ionospheric Delay Validation using Dual Frequency Signal from GPS at GEO Uplink Subsystem Locations / M.S. Grewal, W. Brown, P. Hsu, R. Lucy // ION GPS' 99 – 14 – 17 September, 1999. – Nashville, TN, USA. – P. 1429–1436.

Поступила в редколлегию 5.05.2009

Рецензент: д-р техн. наук, ст. научн. сотр. Г.В. Худов, Харьковський університет Воздушних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

АНАЛІЗ ПОХИБОК ВИЗНАЧЕННЯ ДАЛЬНОСТІ ДО НАЗЕМНОГО ДЖЕРЕЛА РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ, ПОВ'ЯЗАНИХ З ПРИЙНЯТОЮ МОДЕЛЛЮ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРОННОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ ІОНОСФЕРИ

В.М. Дейнеко

Проведено дослідження впливу іоносферної похибки вимірів псевдодальностей на точність визначення координат з використанням апаратури супутникових радіонавігаційних систем. Отримані аналітичні вирази, які дозволяють оцінити ступінь погіршення точності визначення координат навігаційного споживача обумовленої впливом іоносферної похибки вимірів псевдодальностей. Отримано аналітичні вирази, які визначають вплив іоносфери на точність визначення координат у найпростішому випадку визначення тільки планових координат по двох вимірах та визначення трьох координат по багатьом вимірам.

Ключові слова: іоносфера, супутникова радіонавігаційна система, електронна концентрація, псевдодальність.

RESEARCH INFLUENCE OF IONOSPHERE ERROR MEASUREMENTS PSEVDORANGES ON ACCURACY DETERMINATION POSITION WITH USE SATELLITE NAVIGATION EQUIPMENT

V.M. Deineko

Carry out research influence of ionosphere error measurements psevdoranges on accuracy determination position with use satellite navigation system. The results turned out makes it possible estimate degree degradation of accuracy determination position navigation user influence of ionosphere error measurements psevdoranges. Analytical express turn out which define influence of ionosphere on accuracy determination coordinate to simplest occurrence determination only plane coordinate with use two measurements and define third coordinate with use many measurements.

Keywords: ionosphere, satellite radionavigation system, electronic density, psevdorange.