

УДК 621.396.96

## УПРАВЛЕНИЕ МОЩНОСТЬЮ ПСЕВДОСПУТНИКА ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ ВОЗДУШНОГО СУДНА

**В.В. ЕРОХИН**

Исследовано влияние сигнала псевдоспутника (ПС) на качество функционирования ГЛОНАСС/GPS приемников спутниковой навигации и получено экспериментальное подтверждение проявлению эффекта «ближний-дальний» с помощью программно-аппаратного комплекса NI GPS Simulation Toolkit. Синтезирован алгоритм оптимального управления мощностью ПС на основе оценки времени задержки сигнала в линии передачи данных. Показано, что реализация предложенного алгоритма оптимального управления позволяет устранить проявление эффекта «ближний-дальний» и обеспечить одновременный прием сигналов навигационных спутников ГЛОНАСС/GPS и ПС.

**Ключевые слова:** псевдоспутник, оптимальное управление мощностью, время задержки сигнала, УКВ линия передачи данных.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из направлений совершенствования системы организации и управления воздушным движением (УВД) является реализация разработанной международной организацией гражданской авиации (ИКАО) концепции – связь, навигация, наблюдение и организация воздушного движения (CNS/ATM), основанной на принципах зональной навигации. Согласно концепции CNS/ATM навигация и точное определение времени достигается за счет использования в качестве основного инструмента глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС).

Выполнение высоких требований к точности навигационных определений может быть достигнуто с помощью методов дифференциальной спутниковой навигации. Дифференциальная подсистема (ДПС) позволяет обеспечить точный заход на посадку и посадку воздушного судна с любого направления, а также маневрирование в районе посадки по криволинейным траекториям [1, 2]. ДПС решает задачи формирования на локальной контрольно-корректирующей станции (ЛККС) дифференциальных поправок (ДП) и передачи на борт воздушного судна по каналу обмена данными УКВ линии передачи данных (ЛПД) режима 4 (рис. 1). Перспективным вариантом реализации дифференциального режима является использование псевдоспутника (ПС). Наличие ПС позволяет уменьшить значение геометрического фактора, в вертикальной и горизонтальной плоскости, за счет появления в зоне радиобзора воздушного судна дополнительной радионавигационной точки, расположенной в нижней полусфере, что существенно уменьшает погрешность определения местоположения.

При реализации дифференциальной системы с использованием ПС возникает ряд проблем, которые нужно преодолевать, чтобы обеспечивать высокую точность позиционирования. Излучаемые источником навигационного сигнала ПС сигналы могут создавать помеху для навигационной аппаратуры ГЛОНАСС/GPS воздушного судна (ВС), совершающего заход на взлетно-посадочную полосу [3, 4]. Данная проблема известна как проявление эффекта «ближний-дальний» (в зарубежной литературе «Near-Far»), которая происходит из-за изменения мощности принимаемого сигнала ПС [5, 6].

При позиционировании только по сигналам навигационных спутников (НС) этот эффект не проявляется, так как мощность принимаемых сигналов остается почти постоянной, поскольку расстояние «спутник-приемник» изменяется незначительно. Следовательно, при объединении НС с ПС более сильный сигнал от ПС может заглушить другие сигналы спутников – это проблема «ближнего» сигнала. Однако если сигнал от ПС намного слабее сигнала НС, то приемник может не отследить его – это проблема «дальнего» сигнала, зоны проявления эффекта показаны на рис. 1.

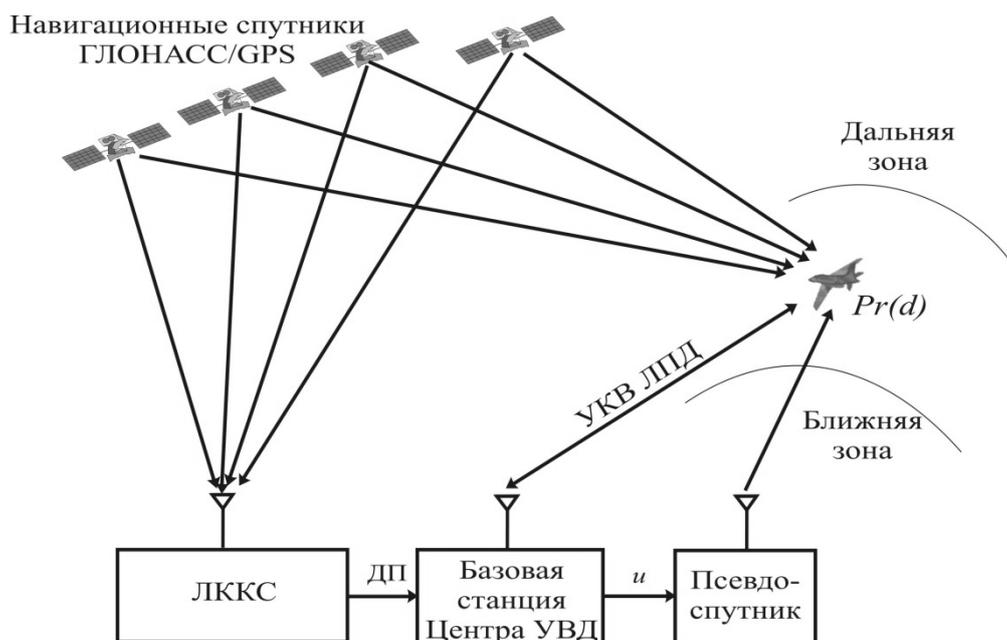


Рис 1. Структура дифференциальной подсистемы и зоны проявления эффекта «ближний-дальний»

Возможные пути решения данной проблемы: 1) увеличение динамического диапазона приемника – использование более высокого разрешения аналого-цифрового преобразователя (АЦП); 2) реализация принципа множественного доступа с временным разделением каналов (TDMA с временным разделением множественного доступа); 3) динамическое управление мощностью ПС. В работах [3, 4] предлагается использование на борту ВС дополнительной антенны, располагаемой в нижней части фюзеляжа. В частности, предложены способ уменьшения воздействия эффекта «ближний-дальний» путем передачи сигнала ПС короткими импульсами с низким рабочим циклом (коэффициентом заполнения) [5] и пошаговый способ снижения мощности передачи ПС [6]. Решение задачи управления мощностью ПС в работе основано на оценке времени задержки сигнала в УКВ ЛПД режима 4.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эффект «ближний-дальний» проявляется в том, что приемник захватывает относительно мощный сигнал, и тем самым делает невозможным обнаружение и прием более слабых сигналов. Проблема заключается в ограниченном динамическом диапазоне приемника, что снижает способность по обнаружению слабого сигнала в присутствии более мощного. Данная проблема относится к приемникам, в которых разрешение аналого-цифрового преобразователя (АЦП) ограничивает диапазон обнаруживаемых сигналов. Согласно логике работы в системе автоматической регулировки усиления (АРУ) приемника с приходом мощного сигнала уменьшается коэффициент усиления, чтобы предотвратить насыщение АЦП, который вызывает слабый сигнал, чтобы попасть в динамический диапазон АЦП. Это явление отличается от интерференции сигналов, потому что если бы АЦП обладал достаточным разрешением, то можно было бы восстановить оба сигнала. Таким образом, динамический диапазон системы ограничен в динамическом диапазоне приемника АЦП. В современных приемниках спутниковой навигации (ПСН) используются 2-разрядные АЦП.

Результаты экспериментальных исследований помехоустойчивости аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем представлены в работах [7, 8]. Исследование помехоустойчивости ПСН проводилось путем полунатурного моделирования с использованием программно-аппаратных средств на базе платформы NI (генератор радиочастотных сигналов типа NI PXI-5610/5442, среда Labview, установленная на контроллер NI PXI-8130, инструмен-

тарий NI GPS Simulation Toolkit версии 4.2) [9]. В качестве исследуемой навигационной аппаратуры потребителей использовались навигационный ГЛОНАСС/GPS приемник «ГеоС-1» и бортовое оборудование спутниковой навигации NAVIS\_СН-4312. Структурная схема экспериментальной установки представлена на рис. 2.

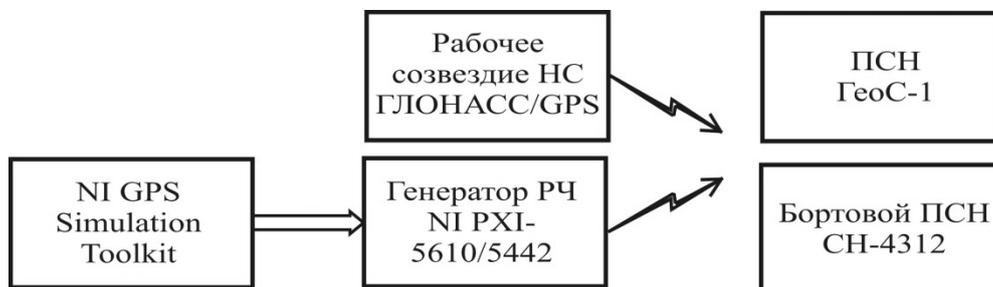


Рис 2. Структура экспериментальной установки

Условия проведения полунатурных испытаний: ПСН использовали для решения навигационной задачи частотный диапазон  $L1$ , код СТ, период накопления  $T = 1$  с. Испытания проводились одновременно для всех типов испытуемой аппаратуры при наличии в зоне видимости не менее четырех НС ГЛОНАСС и GPS. С помощью генератора радиочастотных сигналов типа NI PXI-5610/5442 имитировался сигнал ПС GPS. Уровень сигнала фиксировался в точке размещения антенных систем с использованием встроенного алгоритмического обеспечения ПСН для расчета отношения сигнал/шум на входе и по данным интерфейса генератора NI PXI-5610/5442. Динамическое регулирование мощности сигнала позволяло задавать изменение дальности.

В результате экспериментальных исследований установлено, что пороговым значением уровня мощности выходного сигнала генератора NI GPS, при котором начинается проявляться эффект «ближний-дальний», является значение  $-35$  дБВт. При таком уровне мощности «забываются» корреляционные приемники навигационной аппаратуры потребителей ГЛОНАСС/GPS, т. е. в каналах ПСН появляется информация о слежении за сигналами НС GPS, фактически отсутствующими в зоне видимости потребителя. При значении уровня мощности выходного сигнала  $-20$  дБВт наблюдается пропадание сигналов от НС GPS. В обоих случаях навигационная задача по определению местоположения не решается.

Анализ результатов экспериментальных исследований показывает, что существующие образцы ПСН ГЛОНАСС/GPS не работоспособны в предполагаемых условиях совместного использования НС рабочего созвездия и ПС. Излучаемые ПС сигналы по существу являются помехой для навигационной аппаратуры ГЛОНАСС/GPS. В связи с этим требуется разрешить проблему обеспечения нормального функционирования навигационных приемников, находящихся в рабочей зоне ПС, одновременно принимающих сигналы НС ГЛОНАСС/GPS и передатчика ПС.

В работах [5, 6] показано, что если расстояние между передающей и приемной антеннами увеличивается, то мощность радиосигнала экспоненциально снижается по логарифмическому закону. Мощность принимаемого сигнала в децибелах может быть представлена как функция дальности  $d$ :

$$P_{ПРМ}(d) = P_{ПРД} - 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + n_p, \quad (1)$$

где  $P_{ПРД}$  – мощность ПС;  $d_0$  – калибровочное значение дальности,  $\gamma$  – коэффициент потерь энергии сигнала в среде,  $n_p$  – белый гауссовский шум с нулевым математическим ожиданием и известной дисперсией.

## ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ СИГНАЛА В УКВ ЛПД РЕЖИМА 4

При заходе на посадку ВС автоматически, по линии передачи данных, обмениваются информацией о местоположении и параметрах полета, полученной от бортовых пилотажно-навигационных систем (в основном от ПСН), а также транслируют эти данные в центр УВД. По принципу обмена сообщениями УКВ ЛПД режима 4 является синхронной системой, в которой каждый объект излучает свои сигналы в определенные, известные заранее всем объектам моменты времени. Такая организация работы позволяет любому из объектов, зафиксировав с высокой точностью, определяемой в значительной степени структурой сигнала, момент прихода сообщения, переданного другим объектом, измерить задержку распространения сигнала. Полученное значение задержки отличается от истинного на величину, определяемую рассогласованием временных шкал передающего и принимающего объектов.

Для измерения дальностей между объектами применяется беззапросный временной метод. Измеренная псевдодальность  $d$  между объектами сети определяется по временной задержке момента  $\tau_i$  приема сигнала  $i$ -м объектом относительно априорно известного момента  $\tau_j$  излучения этого сигнала  $j$ -м объектом:

$$d = c(\tau_i - \tau_j) = c\tau, \quad (2)$$

где  $c$  – скорость распространения радиосигнала вдоль радиотрассы.

Таким образом, дальность между передатчиком ПС и ПСН является основной исходной информацией для реализации способа управления мощностью. Значение дальности можно определить путем измерения времени задержки сигнала в каналах обмена данными УКВ ЛПД режима 4.

## АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ

Рассмотрим задачу оптимального управления мощностью в постановке, когда у объекта, подверженного действию случайных возмущений, нельзя непосредственно измерить состояние, а можно лишь получить оценку переменных состояния с помощью измерительной системы, которая также подвержена действию случайных возмущений, приводящим к ошибкам измерения.

Пусть уравнение динамики случайного объекта и уравнение наблюдения заданы в виде

$$\bar{\lambda}_v = g_v(\bar{\lambda}_{v-1}, \bar{u}_v) + \bar{n}_{\lambda_v}, \quad \bar{\xi}_v = s_v(\bar{\lambda}_v, \bar{u}_v) + \bar{n}_v, \quad (3)$$

где  $\bar{n}_{\lambda_v}$  и  $\bar{n}_v$  – дискретные белые гауссовские шумы с корреляционными матрицами  $\Psi_v$  и  $V_v$ , соответственно. Требуется определить закон управления  $\hat{u}_v = \bar{u}_v(\bar{\xi}_1^{v-1})$ , оптимальный по локальному критерию качества [10, 11]:

$$\hat{u}_v = \min_{\bar{u}_v}^{-1} \{J_v\}, \quad (4)$$

где

$$J_v = M \{c_v(\bar{\lambda}_v, \bar{u}_v)\} = \int \int c_v(\bar{\lambda}_v, \bar{u}_v(\bar{\xi}_1^{v-1})) p(\bar{\lambda}_v, \bar{\xi}_1^{v-1}) d\bar{\lambda}_v d\bar{\xi}_1^{v-1}.$$

В (4) усреднение функций стоимости производится по плотностям вероятностей всех случайных величин, а все управления  $\hat{u}_1^{v-1}$  считаются заданными.

Представим совместную плотность вероятности, входящую в минимизируемый функционал в виде произведения

$$p(\bar{\lambda}_v, \bar{\xi}_1^{v-1}) = p(\bar{\lambda}_v | \bar{\xi}_1^{v-1}) p(\bar{\xi}_1^{v-1}).$$

Тогда

$$J_v = \int_{\bar{\xi}} \left[ \int_{\bar{\lambda}} c_v(\bar{\lambda}_v, \bar{u}_v(\bar{\xi}_1^{v-1})) p(\bar{\lambda}_v | \bar{\xi}_1^{v-1}) d\bar{\lambda}_v \right] p(\bar{\xi}_1^{v-1}) d\bar{\xi}_1^{v-1}.$$

Так как всегда выполняется условие  $p(\bar{\xi}_1^{v-1}) > 0$ , то минимизация показателя качества достигается при минимизации интеграла в квадратных скобках. То есть вместо (4) получаем

$$\hat{u}_v = \min_{\bar{u}_v}^{-1} \left\{ \int_{\bar{\lambda}} c_v(\bar{\lambda}_v, \bar{u}_v(\bar{\xi}_1^{v-1})) p(\bar{\lambda}_v | \bar{\xi}_1^{v-1}) d\bar{\lambda}_v \right\} = \min_{\bar{u}_v}^{-1} M \left\{ c_v(\bar{\lambda}_v, \bar{u}_v) \Big|_{\bar{\xi}_1^{v-1}} \right\}.$$

Для определения плотности вероятности, входящей в выражение (4), используются обычные соотношения оптимальной фильтрации Р.Л. Стратоновича:

$$\begin{cases} p(\bar{\lambda}_v | \bar{\xi}_1^{v-1}) = \tilde{p}_v(\bar{\lambda}_v) = \int_{\bar{\lambda}} p(\bar{\lambda}_v | \bar{\lambda}_{v-1}, \bar{u}_v) p(\bar{\lambda}_{v-1} | \bar{\xi}_1^{v-1}) d\bar{\lambda}_{v-1}, \\ p_v(\bar{\lambda}_v) = c_v p(\bar{\xi}_v | \bar{\lambda}_v) \tilde{p}_v(\bar{\lambda}_v). \end{cases} \quad (5)$$

Совокупность уравнений (4)–(5) представляет собой алгоритм решения задачи оптимального управления стохастическими системами по локальному критерию, при этом основной составной задачей оптимального управления является задача оптимальной фильтрации.

Представим уравнение динамики линейной системы и уравнение наблюдения в виде

$$\bar{\lambda}_v = A_v \bar{\lambda}_{v-1} + B_v \bar{u}_v + \bar{n}_{\lambda v}, \quad \bar{\xi}_v = H_v \bar{\lambda}_v + \bar{n}_v. \quad (6)$$

Функция потерь, входящая в локальный критерий оптимизации, имеет вид

$$c_v(\bar{\lambda}_v, \bar{u}_v) = \bar{\lambda}_v^T Q_v \bar{\lambda}_v + \bar{u}_v^T K_v \bar{u}_v,$$

где  $Q_v$  и  $K_v$  – неотрицательно определенные весовые матрицы штрафов. Применительно к (3) плотность вероятности экстраполированного значения вектора состояния, входящая в выражение (4), на каждом шаге является нормальной  $p(\bar{\lambda}_v | \bar{\xi}_1^{v-1}) = N\{\tilde{\lambda}_v, \tilde{R}_v\}$ . Параметры этой плотности определяются из следующих соотношений:

$$\begin{aligned} \hat{\lambda}_{v-1} &= \tilde{\lambda}_{v-1} + P_{v-1} \left[ \bar{\xi}_{v-1} - H_{v-1} \tilde{\lambda}_{v-1} \right], \\ \tilde{\lambda}_v &= A_v \hat{\lambda}_{v-1} + B_v \bar{u}_v, \quad P_{v-1} = \tilde{R}_{v-1} H_{v-1}^T V_{v-1}^{-1}. \end{aligned} \quad (7)$$

$$\tilde{R}_v = A_v R_{v-1} A_v^T + \Psi_v, \quad (8)$$

$$R_{v-1}^{-1} = \tilde{R}_{v-1}^{-1} + H_{v-1}^T V_{v-1}^{-1} H_{v-1}. \quad (9)$$

Усреднение квадратичной формы  $\bar{\lambda}^T Q \bar{\lambda}$  с плотностью вероятности  $p(\bar{\lambda}) = N\{\bar{m}, D\}$  дает

$$M\{\bar{\lambda}^T Q \bar{\lambda}\} = \int_{\bar{\lambda}} \bar{\lambda}^T Q \bar{\lambda} \cdot p(\bar{\lambda}) d\bar{\lambda} = \bar{m}^T Q \bar{m} + tr\{QD\}.$$

Так как  $tr\{Q_v \tilde{R}_v\} = const(\bar{u}_v)$  не зависит от управления,

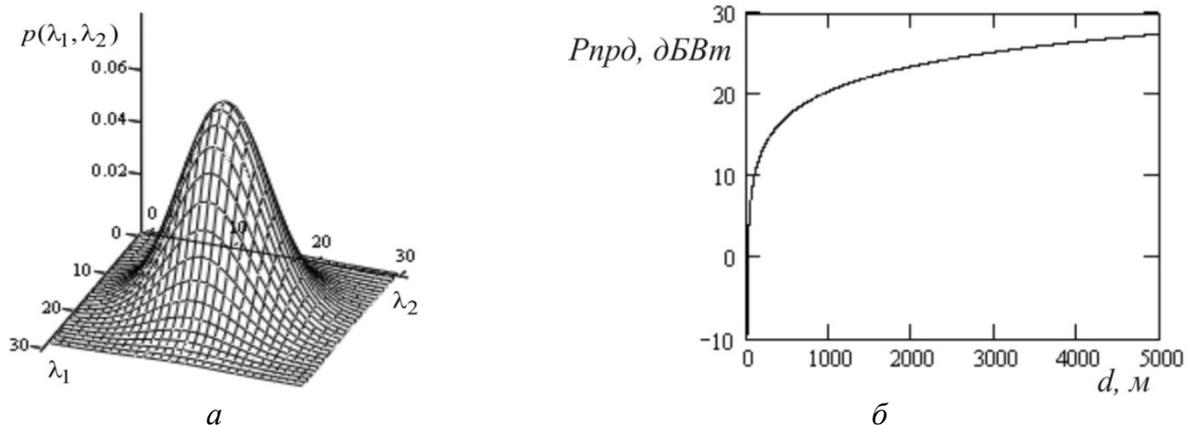
$$\frac{\partial J_v}{\partial \bar{u}_v} = 2B_v^T Q_v (A_v \hat{\lambda}_{v-1} + B_v \bar{u}_v) + 2K_v \bar{u}_v = 0.$$

Отсюда

$$\begin{aligned} \hat{u}_v &= -L_v \hat{\lambda}_{v-1}, \\ L_v &= (B_v^T Q_v B_v + K_v)^{-1} B_v^T Q_v A_v. \end{aligned} \quad (10)$$

Соотношения (6)–(10) дают алгоритм оптимального управления линейной стохастической системой с локальным квадратичным критерием качества [10, 11].

Исследование характеристик предложенного алгоритма проводилось методами имитационного моделирования. В ходе моделирования предполагалось, что транспондеры всех объектов системы настроены на одну частоту, т. е. ВС и базовую станцию центра УВД, находящиеся на расстоянии прямой видимости, можно считать связанными одним цифровым радиоканалом. Базовая станция, зафиксировав момент прихода сообщения, измеряет задержку распространения сигнала и получает координатную информацию ВС, выполняющего заход на посадку.



**Рис. 3.** Выходные данные алгоритмов оценивания и управления:  
*a* – двумерная плотность вероятности оцениваемых параметров;  
*б* – зависимость управляемой мощности псевдоспутника от дальности

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты экспериментальных исследований показывают, что ПСН ГЛОНАСС/GPS не работоспособен в предсказуемых условиях совместного приема сигналов от НС и ПС.

Оптимальное управление мощностью ПС с использованием УКВ ЛПД режима 4 позволяет устранить проблему «ближний-дальний». Синтезированный алгоритм позволяет измерять с высокой точностью время задержки сигналов и формировать управляющее воздействие на изменение мощности ПС. При реализации алгоритма оптимального управления мощность принимаемого сигнала от ПС будет соизмерима с уровнем сигналов, принимаемых от НС ГЛОНАСС/GPS.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Крыжановский Г.А.** Концепция и системы CNS/ATM в гражданской авиации. М.: Академкнига, 2003.
2. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под. ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Радиотехника, 2010. 800 с.
3. **Зуев Д.В.** Бортовое оборудование локальной системы посадки воздушных судов на базе псевдоспутников // Молодежь и наука: Сборник материалов VII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 50-летию первого полета человека в космос. Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2011.
4. Использование псевдоспутников ГЛОНАСС/GPS в системах посадки воздушных судов / В.А. Борсоев, Р.Г. Галеев, А.В. Гребенников, А.С. Кондратьев // Научный вестник МГТУ ГА. 2011. № 164. С. 17–24.
5. **Naga Bhaskar Ch.V., Silva Lorraine K.J., Venkata Ratnam D.** Analysis of Near-Far Problem using Power Control Technique for GNSS based Applications / Research Inventy: International Journal Of Engineering And Science. Vol. 4. Issue 11 (November 2014). Pp. 01-08.
6. **Silva Lorraine, Ajay Kumar D., Naga Bhaskar Ch.V., Rosili Sipora K.** Analysis of Near-Far Effect and Multipath Mitigation. Techniques for Pseudolite Based Positioning Applications. IJEST Vol. 5, Issue Spl - 3, Jan – March 2014.
7. **Валеев В.Г., Корнилов И.Н., Иванов В.Э.** Экспериментальное исследование помехоустойчивости аппаратуры потребителя спутниковых радионавигационных систем // Радиотехника. 2011. № 9.
8. **Тяпкин В.Н., Дмитриев Д.Д., Мошкина Т.Г.** Потенциальная помехоустойчивость навигационной аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. 2012.
9. **Скрыпник О.Н., Нечаев Е.Е., Арефьев Р.О.** Построение и анализ полей точности GPS на основе программно-аппаратных средств NI GPS SIMULATION TOOLKIT // Научный вестник МГТУ ГА. 2014. № 209 (11). С. 5–12.
10. **Сейдж Э.П., Уайт Ч.С.** Оптимальное управление системами. М.: Радио и связь, 1982.
11. **Черноусько, Ф.Л.** Оптимальное управление при случайных возмущениях / Ф.Л. Черноусько, В.Б. Колмановский. М.: Наука, 1978.

### POWER CONTROL OF PSEUDOLITES WHILE LANDING AN AIRCRAFT

**Erokhin V.V.**

The effect of a pseudolite (PL) signal on quality of functioning of the GLONASS/GPS receivers of satellite navigation has been researched and experimental confirmation of near-far effect developing with the help of NI GPS Simulation Toolkit hardware and software has been obtained. An algorithm of an optimal power control has been obtained. PL based on the evaluation of the signal delay time in data transfer line has been synthesized. The analysis of the simulation results showed that the implementation of the proposed optimal control algorithm allows eliminating the effect “near-far” developing and ensuring simultaneous reception of signals of GLONASS/GPS satellite and PL.

**Key words:** pseudolite, optimal power control, delay time of the signal, VHF data line.

## REFERENCES

1. **Kryzhanovsky G.A.** The concept and CNS/ATM systems in civil aviation. M.: ICC Scientific journal, 2003. (In Russian)
2. **GLONASS.** The principles of construction and operation / Ed. A.I. Perova, V.N. Kharisova. Ed. 4th, Revised. and ext. M.: Radio Engineering, 2010. 800 p. (In Russian)
3. **Zuev D.V.** Board equipment of the local aircraft landing system based pseudolites. Youth and Science: Collection of VII All-Russian scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists devoted to the 50th anniversary of the first manned flight into space. Krasnoyarsk: Siberian Federal University Press, 2011. (In Russian)
4. **Borsoev V.A., Galeev R.G., Grebennikov A.V., Kondratiev A.S.** Using pseudolites GLONASS / GPS in aircraft landing systems. The MSTUCA Scientific Bulletin. 2011. No 164. P. 17–24. (In Russian)
5. **Naga Bhaskar Ch.V., Silva Lorraine K.J., Venkata Ratnam D.** Analysis of Near-Far Problem using Power Control Technique for GNSS based Applications. Research Inventy: International Journal Of Engineering And Science. Vol. 4. Issue 11 (November 2014). Pp. 01–08. (In Russian)
6. **Silva Lorraine K.J., Ajay Kumar D., Naga Bhaskar Ch.V., Rosili Sipora K.** Analysis of Near-Far Effect and Multipath Mitigation. Techniques for Pseudolite Based Positioning Applications. IJECT Vol. 5. IssuE Spl - 3, Jan – March 2014. (In Russian)
7. **Valeev V.G., Kornilov I.N., Ivanov V.A.** Experimental study of noise immunity of the equipment consumers of satellite radio navigation systems. Radio Engineering. 2011. № 9. (In Russian)
8. **Тяпкин V.N., Dmitriev D.D., Moshkina T.G.** Potential noise immunity navigation equipment for users of satellite navigation systems. Bulletin of the Siberian State Aerospace University named after Academician MF Reshetnev. 2012. (In Russian)
9. **Skrypnyk O.N., Nechayev E.E., Arefiev R.O.** Design and Analysis of GPS accuracy fields on the basis of hardware and software NI GPS SIMULATION TOOLKIT. The MSTUCA Scientific Bulletin. 2014. No 209 (11). P. 5–12. (In Russian)
10. **Sage E.P., White C.S.** Optimum Systems Control. M.: Radio and Communications, 1982.
11. **Chernous'ko, F.L.** Optimal control with random perturbations. F.L. Chernous'ko, V.B. Kolmanovskii. M.: Science-journal, 1978. (In Russian)

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

**Ерохин Вячеслав Владимирович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры АРЭО ИФ МГТУ ГА, электронный адрес: [ww-erohin@mail.ru](mailto:ww-erohin@mail.ru).