

Для исключения влияния влаги, перед проведением испытаний необходимо производить обезгаживание образцов. При обезгаживании должно быть получено, по крайней мере, две точки, позволяющие получить информацию о динамике процесса обезгаживания и оценить величину «сухой» массы образцов.

Влияния флюенса на скорость распыления защитного слоя углепластика не обнаружено. При полном распылении защитного слоя возможно уменьшение коэффициента распыления за счет перехода к распылению углеволоконной основы.

Обнаружено значительное (около 40 %) влияние ориентации образца относительно потока ионов на величину коэффициента распыления при наклонном падении ионов. Показано, что этот эффект связан с частичным затенением поверхности стеклянными нитями, образующими защитный слой углепластика.

A. B. Nadiradze, R. R. Rachmatullin, S. G. Kochura,
I. A. Maksimov, V. A. Smirnov

FEATURES OF EXPERIMENTAL DEFINITION OF COMPOSITE MATERIALS DURABILITY AGAINST EROSIIVE IMPACT OF STATIONARY PLASMA THRUSTERS

The report reviews the methodical aspects of the experimental definition of the composite materials durability against erosive impact of stationary plasma thruster (SPT). The definition method of «dry» mass of the sample on the results of degassing is proposed. The experimental dependencies of sputtering ratio of carbon fiber reinforced plastic on the ions angle of incidents, ions fluency and fiber orientation, relative to plasma flow, are presented.

Keywords: space craft, composite materials, stationary plasma thruster, method of experiment, sputtering ratio.

© Надирадзе А. Б., Рахматуллин Р. Р., Кочура С. Г., Максимов И. А., Смирнов В. А., 2012

УДК 527.8

И. В. Нигруца, А. В. Гребенников, М. Ю. Казанцев

СИСТЕМА ПОСАДКИ ПО СИГНАЛАМ ПСЕВДОСПУТНИКОВ

Предложена и исследована методика применения локальной радионавигационной системы для обеспечения посадки воздушных судов, позволяющая подходить к решению вопросов топогеодезического обеспечения, гарантирующая их решение даже в условиях активного противодействия.

Ключевые слова: псевдоспутник, посадка летательного аппарата, ГЛОНАСС/GPS.

Применение глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС и GPS для посадки воздушных судов (ВС) ограничено несколькими факторами:

- достаточно высокой погрешностью определения координат и скорости ВС (от 1–2 до 6–10 м);
- низкой помехоустойчивостью навигационного оборудования, работающего по сигналам ГЛОНАСС и GPS.

Применение псевдоспутников (ПС), в системах посадки ВС позволяет решить проблему относительно высокой погрешности навигационных определений, а также повысить помехоустойчивость в условиях активного противодействия [1].

Библиографические ссылки

1. Сайт стенда ПП-2 МАИ. URL: <http://www.spp2.ru>.
2. Pencil E. J., Randolph T., Manzella D. End-of-life Stationary Plasma Thruster far-filed plume characterization // AIAA-96-2709, Joint Propulsion Conf. and Exhibit, 32nd. Lake Buena Vista, FL, July 1–3. 1996.
3. Xenon sputter yield measurements for ion thruster materials / J. D. Williams, M. M. Gardner, M. L. Johnson, P. J. Wilbur // IEPC-03-130 at the 28th Int'l Electric Propulsion Conf., Toulouse, France, 17–21 March. 2003.
4. Проблемы прикладной физики. Распыление твердых тел ионной бомбардировкой. Физическое распыление одноэлементных твердых тел / под ред. Р. Бериша ; пер. с англ. под ред. В. А. Молчанова. М. : 1984.

погрешностей (псевдоспутники находятся в состоянии покоя в заранее известных координатах).

В состав системы посадки ВС на основе ПС (рис. 1) входит контрольно-корректирующая станция (ККС) и псевдоспутники. ККС должна обеспечивать проверку сигнала, излучаемого ПС, и синхронизацию шкалы времени ПС.

В процессе выполнения работы был разработан состав и формат оперативной информации (ОИ) навигационного сообщения ПС. ОИ ПС состоит из ин-

формации, собранной из пяти строк оперативной информации (ОИ) навигационного сообщения ПС ГЛОНАСС (рис. 2).

Каждая строки ОИ ПС ГЛОНАСС включает код Хемминга (8 бит). Передача ЦИ от ПС для потребителя осуществляется старшими разрядами вперед (рис. 3–7).

Обозначения всех параметров, их размер, цена младшего разряда, диапазон значений соответствуют ИКД ГЛОНАСС (редакция 5.1), за исключением параметров, приведенных в таблице.

Параметры с диапазоном значений, не соответствующим ИКД ГЛОНАСС

| Слово | Число разрядов | Цена младшего разряда | Диапазон значений | Единица измерения |
|--------------------------------|----------------|--|---|-------------------|
| t_b | 32 | 1 | 0..4294967295 | с |
| $\gamma_n(t_b)$ | 18 | $2^{-40} \approx \pm 1 \cdot 10^{-12}$ | $\pm 2^{-23} \approx \pm 1 \cdot 10^{-7}$ | безразмерная |
| $x_n(t_b), y_n(t_b), z_n(t_b)$ | 31 | $2^{-15} \approx \pm 3 \cdot 10^{-5}$ | $\pm 3,2 \cdot 10^4$ | км |

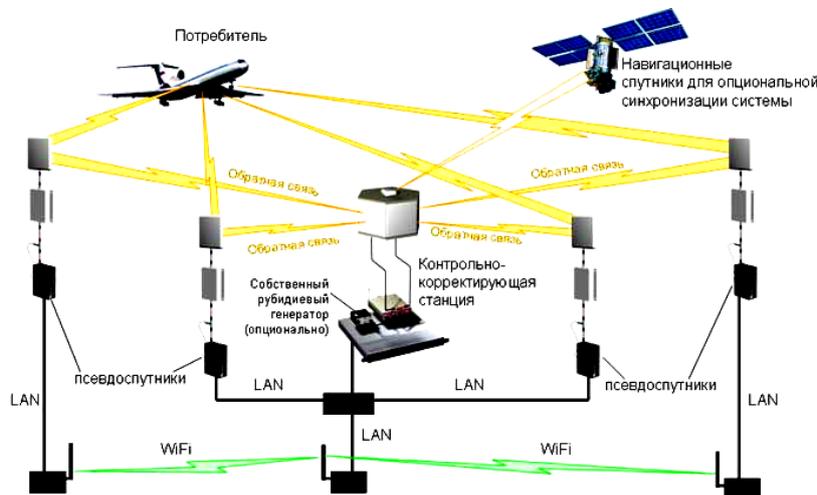


Рис. 1. Структура системы посадки ВС

| | |
|-------------------------------------|----|
| Информация строки 1 ОИ ПС (10 байт) | KX |
| Информация строки 2 ОИ ПС (10 байт) | KX |
| Информация строки 3 ОИ ПС (10 байт) | KX |
| Информация строки 4 ОИ ПС (10 байт) | KX |
| Информация строки 5 ОИ ПС (10 байт) | KX |

Рис. 2. Формат оперативной информации навигационного сообщения ПС ГЛОНАСС

| | 1 | | | | | 2 | | | | | | | | 3 | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|---|---------------------------|---|-----------------|---|---|---|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|------------------------|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | m (4 bits) | | | | $x(t_b)$ (LSBs) | | | | t_k (12 bits) | | | | | | | | $\dot{x}(t_b)$ (MSBs) | | | | | | |
| 2 | $\dot{x}(t_b)$ (LSBs) (21 bits) | | | | | | | | | | | | | | | | $\ddot{x}(t_b)$ (MSBs) | | | | | | |
| 3 | $\ddot{x}(t_b)$ | | $x(t_b)$ (MSBs) (19 bits) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | $x(t_b)$ (MSBs) (8 bits) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Рис. 3. Формат данных из строки 1 оперативной информации навигационного сообщения ПС

| | 1 | | | | | | | | 2 | | | | | | | | 3 | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|---|---|---|-------------------------------------|---|---|---|--------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---------------------------|---|---|---|---------------------------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | m (4 bits) | | | | B _n (3 bits) | | | | t _b (MSBs) (7 bits) | | | | | | | | y(t _b) (LSBs) | | | | ȳ(t _b) (MSBs) | | | |
| 2 | ȳ(t _b) (LSBs) (21 bits) | | | | | | | | | | | | | | | | ȳ(t _b) (MSBs) | | | | | | | |
| 3 | ȳ(t _b) | | | | ȳ(t _b) (MSBs) (19 bits) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | y(t _b) (MSBs) (8 bits) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Рис. 4. Формат данных из строки 2 оперативной информации навигационного сообщения ПС

| | 1 | | | | | | | | 2 | | | | | | | | 3 | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------------------|---|---|---|---------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | m (4 bits) | | | | γ _n (t _b) (LSBs) (11 bits) | | | | | | | | z(t _b) (LSBs) | | | | ż(t _b) (MSBs) | | | | | | | |
| 2 | ż(t _b) (LSBs) (21 bits) | | | | | | | | | | | | | | | | ż(t _b) (MSBs) | | | | | | | |
| 3 | ż(t _b) | | | | z(t _b) (MSBs) (19 bits) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | z(t _b) (MSBs) (8 bits) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Рис. 5. Формат данных из строки 3 оперативной информации навигационного сообщения ПС

| | 1 | | | | | | | | 2 | | | | | | | | 3 | | | | | | | |
|---|----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | m (4 bits) | | | | τ _n (t _b) (LSBs) (19 bits) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | τ _n (t _b) | | | | Δτ _n (t _b) (5 bits) | | | | t _b (LSBs) (25 bits) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | t _b (LSBs) (25 bits) | | | | | | | | N _T | | | | | | | | n | | | | | | | |
| 4 | n (LSBs) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Рис. 6. Формат данных из строки 4 оперативной информации навигационного сообщения ПС

| | 1 | | | | | | | | 2 | | | | | | | | 3 | | | | | | | |
|---|----------------------------------|---|---|---|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | m (4 bits) | | | | N ^A (11 bits) | | | | | | | | τ _c MSBs (8 bits) | | | | | | | | | | | |
| 2 | τ _c (24 bits) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | N ₄ | | | | γ _n (t _b) (MSBs) (7 bits) | | | | | | | | τ _n (t _b) (MSBs) (14 bits) | | | | | | | | | | | |
| 4 | τ _n (t _b) | | | | I _n | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Рис. 7. Формат данных из строки 5 оперативной информации навигационного сообщения ПС

Разработанная локальная радионавигационная система навигации (ЛРНС) при посадке обеспечивает, в случае необходимости, смену маршрута из-за возникших обстоятельств, свободу в выборе траектории приближения к полосе. ВС направляются сигналами ПС, указывающими пилоту последовательность точек в трехмерном пространстве, через которые можно пойти на снижение [3].

Технология проектирования и практической реализации ЛРНС на сегодняшний день уже отработана, что позволяет применять ее для решения различных

задач. Одной из наиболее перспективных и очевидных сфер применения ЛРНС является обеспечение посадки воздушных судов в условиях сложной помеховой обстановки, в том числе в условиях активного противодействия [4].

Использование для работы ПС сигналов систем ГЛОНАСС и GPS позволяет применять приемники сигналов данных СРНС с минимальной доработкой.

Процесс следования по маршруту прибытия для захода на посадку предполагает знание пилотом критериев пролета препятствий, выдерживания ограни-

чений по скорости, угла крена и других параметров, которые свойственны каждому участку [5].

Применение ПС для точного захода на посадку позволяет [6]:

1. Увеличить точность позиционирования до единиц метров, по сравнению со спутниковыми радионавигационными системами, за счет отсутствия у наземных станций эфемеридных и ионосферных погрешностей;

2. Увеличить мощность сигнала, что позволяет повысить устойчивость к средствам РЭБ;

3. Работать независимо от СРНС.

Пространственное разделение передающих антенн и передатчика позволяет сохранить ПС при уничтожении антенны.

За счет относительно невысокой стоимости имеется возможность создать группировки с большим количеством ПС, что делает ее уничтожение экономически нецелесообразным.

Определение координат по сигналам ПС основано на измерении псевдодалностей. Взаимосвязь между измеряемыми и оцениваемыми параметрами определяется следующей системой уравнений:

$$r_i = \sqrt{(x_{ci} - x)^2 + (y_{ci} - y)^2 + (z_{ci} - z)^2} + c \cdot \Delta\tau, \quad (1)$$

где r_i – измеренная псевдодалность до i -го ПС; $\Delta\tau$ – расхождение шкалы времени приемной аппаратуры и шкалой времени ПС; c – скорость света; x, y, z – координаты ЛА; x_{ci}, y_{ci}, z_{ci} – координаты ПС; n – число наблюдаемых ПС; $i = \overline{1, n}$.

Данная система уравнений является нелинейной, ее решение сводится к решению эквивалентной задачи поиска экстремума функции:

$$J(x, y, z) = \sum_{i=1}^n f_i(x, y, z)^2 \rightarrow \min_{x, y, z}, \quad (2)$$

где

$$f_i(x, y, z) = r_i - \sqrt{(x_{ci} - x)^2 + (y_{ci} - y)^2 + (z_{ci} - z)^2} + c \cdot \Delta\tau.$$

В данном случае, точка, где достигается минимум функции, соответствует решению уравнения (1). В силу специфики решения задачи определения координат ЛА при заходе на посадку все ПС оказываются расположенными, практически, в одной плоскости.

Поэтому при решении задачи минимизации функции (2) могут возникнуть проблемы со сходимостью, связанные с влиянием геометрии расположения ПС. В данном случае, выбор метода решения уравнения (2) является одним из важных составляющих процесса обработки информации в системе посадки ЛА.

При создании ЛРНС псевдоспутники могут устанавливаться в точках с известными координатами, например, на пунктах Государственной геодезической сети (ГГС) и объединяться в сети. Наиболее перспективными являются MESH-сети, способные работать не только по схеме точка-точка, но и самоорганизовываться в интеллектуальную структуру, использующую каждый элемент сети для адресной ретрансляции данных. Таким образом, появляется возможность оперативного воздействия на все элементы системы, что позволяет разрабатывать и реализовывать огромное разнообразие алгоритмов управления.

Цель разработки данного прототипа не только в обеспечении посадки воздушных судов на ВПП, а также в использовании системы в условиях необорудованных ВПП, вертолетных площадок, авианосцев. Точность, универсальность и мобильность подобных ЛРНС позволяет обеспечить безопасность при заходе на посадку в месте развертывания.

Библиографические ссылки

1. Вопросы аэронавигации. URL: <http://www2.icao.int/en/home/default.aspx> (дата обращения: 1.12.2011).
2. Проект «Псевдоспутник». URL: <http://www.vedapro.ru/pseudo.php> (дата обращения: 1.12.2011).
3. Системы заходов на посадку. URL: <http://training.unnt.ru/docs/files/ApproachTypes.pdf> (дата обращения: 1.12.2011).
4. Wang J. Pseudolite Applications in Positioning and Navigation: Progress and Problems. Stanford University // J. of Global Positioning Systems. 2002. Vol. 1. № 1. P. 48–56.
5. Микоян С. А., Корбут А. Г. Заход на посадку по приборам. М.: Воениздат, 1979.
6. Использование псевдоспутников группировки ГЛОНАСС/GPS в системах посадки воздушных судов / В. А. Борсоев, Р. Г. Галеев, А. В. Гребенников, А. С. Кондратьев // Вестник МГТУ ГА. 2011. № 164. С. 17–24.

I. V. Nigruca, A. V. Grebennikov, M. Yu. Kazantsev

AIRCRAFT LANDING SYSTEM BASES ON PSEUDO SATELLITES SIGNALS

The authors present and investigate a method, based on the use of local radio-navigation system, providing landing of aircraft, and making it possible to solve problems of topo-geodesic control, ensuring guaranteed solution of these problems even in conditions of active thrust.

Keywords: pseudo satellite, AV landing, GLONASS/GPS.

© Нигруца И. В., Гребенников А. В., Казанцев М. Ю., 2012