

Использование современного языка программирования (C++) и оптимальных алгоритмов расчета позволяет достичь существенного ускорения при расчете динамики орбитального КА с учетом возможных колебаний выносных элементов. Так, при обсчете 58 мод колебаний при средней точности с помощью процессора с тактовой частотой 3.33 GHz (четыре ядра), время расчета опережает реальное в 60 раз. При наибольшей точности время расчета опережает реальное в 12 раз. Планируется дальнейшее повышение производительности программного комплекса, что может быть достигнуто с помощью использования технологии NVidia CUDA параллельных вычислений на графических картах.

#### Библиографические ссылки

1. Белецкий В. В. Движение искусственного спутника относительно центра масс. М. : Наука 1965. 416 с.
2. Обморшев А. Н. Введение в теорию колебаний. М. : Наука 1965. 278 с.
3. Руководство пользователя COSMOS/M для UNIX, Windows NT и Windows 95. Версия 1.75, 1996. 448 с.

4. Раушенбах Б. В., Токарь Е. Н. Управление ориентацией космических аппаратов. М. : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1974. 600 с.

#### References

1. Beletskiy V. V *Dvizheniye iskusstvennogo sputnika otноситel'no tsentra mass* (Motion of an artificial satellite with respect to the center of mass). Moscow : Nauka, 1965, 416 p.
2. Obmorshev A. N. *Vvedeniye v teoriyu kolebaniy* (Introduction to the theory of vibrations). Moscow : Nauka, 1965, 278 p.
3. *Rukovodstvo pol'zovatelya COSMOS/M dlya UNIX, Windows NT i Windows 95*. (User's Guide COSMOS / M for UNIX, Windows NT and Windows 95). Version 1.75, 1996, 448 p.
4. Raushenbakh B. V., Tokar' Ye. N. *Upravleniye oriyentatsiyey kosmicheskikh apparatov»* (Attitude control of spacecraft). Moscow, Nauka, Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury, 1974, 600 p.

© Игнатьев М. Г., Копылов В. М., Кулаков А. Ю., Сотников М. В., 2013

УДК 621.396

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ\*

И. Н. Карцан, К. Г. Охоткин, Р. В. Карцан, Д. Н. Пахоруков

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева  
Россия, Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31  
E-mail: kartsan@sibsau.ru

*Стремительно развивающиеся радионавигационные системы (РНС), как в России, так и за рубежом, становятся неотъемлемой частью в жизнедеятельности, как государства в целом, так и любой структурной единицы в нем. В результате чего у потребителей РНС возрастает потребность в качестве обслуживания связью, безопасности, функциональности, в экономии ее приобретения и использования. Поэтому целью данной работы является исследование, и качественный анализ эффективности применения радионавигационных систем.*

*В работе изложены основные задачи развивающейся радионавигационной системы, а также возможные пути их решения. Представлена обобщенная блок-схема основной связи показателей РНС (экономических, технико-эксплуатационных, функциональных). По результатам данной работы предложен способ исследования и оценка эффективности применения радионавигационных систем при их комплексировании с иными навигационными средствами*

*Ключевые слова: радионавигационная система, комплексирование, эффективность, точность определения координат.*

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, государственный контракт № 14.514.11.4092 от 21 июня 2013 г.

## EFFECTIVENESS OF RADIO-NAVIGATION SYSTEMS

I. N. Kartsan, K. G. Okhotkin, R. V. Kartsan, D. N. Pakhorukov

Siberian State Aerospace University named after Academician M. F. Reshetnev  
31 "Krasnoyarskiy Rabochiy" prosp., Krasnoyarsk, 660014, Russia. E-mail: kartsan@sibsau.ru

*The rapidly developing radio-navigation system (RNS), in Russia, as well as abroad, becoming an integral part in the life of the state as a whole, as well as of any structural unit in it. As a result, the consumers of RNS increase the demand for quality of communication service, security, functionality in the cost of its purchase and use. The aim of this work is the study and the qualitative analysis of the effectiveness of use of radio navigation systems. The paper describes the main challenges of RNS, as well as possible solutions. A generalized block diagram of the basic communication performance of RNS (economic, technical, operational, functional) is presented. On the basis of the results of this paper the authors propose a method of research and evaluation of the radio navigation systems in combination with other navigation means.*

*Keywords: radio-navigation system, aggregation, efficiency, accuracy of definition of coordinates.*

Уровень радионавигации к концу XX в. таков, что практически любые задачи навигационного обеспечения могут быть решены различными видами радионавигационными системами (РНС), при их комплексировании с иными навигационными средствами или без него. Выбор предпочтительного варианта, как правило, неоднозначен и окончательно возможен только на основе системного анализа задач и средств навигационного обеспечения. Общий алгоритм решения подобных вопросов следующий:

– выделить существенные стороны объектов управления, способные повлиять на возможность и результативность радионавигации;

– на основе исследования методов радионавигации и характеристик РНС установить ограничения на применение тех или иных их вариантов, вытекающие из требований к навигационному обеспечению и условий его реализации;

– путем анализа эффективности РНС на множестве допустимых вариантов выбрать оптимальное решение.

Исходя из задач повышения безопасности и эффективности транспортных перевозок, учитывая внедрение в мировую практику перспективных стандартов по точности выдерживания навигационных характеристик, возросли требования основных групп потребителей к радионавигационным системам.

Так, например, для большинства подвижных транспортных средств требуется точность навигационных определений (СКП) в среднем от 1 до 100 м. Такие требования как доступность и целостность потребителями автомобильного, речного транспорта и рыболовного флота ранее не выставлялись, а сейчас показатели по этим параметрам соответственно должны быть 0,95...0,999 и 0,9...0,99.

Практически все транспортные потребители считают необходимым обеспечение требуемых навигационных характеристик, как на территории Российской Федерации, так и при движении по международным маршрутам [1].

Анализ и оценка действий правительственных структур различных государств в области радионавигации, подтверждает вывод о том, что международное

сообщество в ближайшем будущем не признает космические навигационные системы в качестве единственного средства навигации. Объявленные в конце 90-х гг. стратегические цели администрации США – удовлетворить требования всех потребителей навигационно-временного обеспечения только с помощью системы GPS и до 2010 г. вывести из эксплуатации все наземные радионавигационные системы, оказались невыполнимыми [2].

Наибольшую трудность представляет исследование эффективности многофункциональных глобальных РНС, назначение которых предусматривает международное использование.

Эффективность сложных систем, к которым относятся современные РНС дальнего действия с наземными радионавигационными точками и спутниковыми РНС, есть обобщенная характеристика свойств системы, отображающая полноту и качество решения поставленных задач в заданных условиях применения с учетом экономических затрат. Существует потребительский, технический и экономический аспекты исследования эффективности представлено на рисунке.

При этом потребительский или функциональный аспект предполагает рассмотрение эффективности как показателя результата реализации целевых свойств системы, ее соответствия назначению. Это позволяет оценить целесообразность применения РНС для решения определенного круга задач. Основными исходными данными здесь являются свойства объекта навигации, влияющий на состав, потенциальную точность, глобальность и оперативность навигационных определений.

Технический аспект исследования эффективности связан с оценкой технико-эксплуатационных свойств РНС, определяющих качество ее функционирования в заданных интервалах времени и параметров условий окружающей среды [3]. Здесь используют такие показатели качества РНС как надежность, живучесть, помехоустойчивость.

Экономический аспект предполагает оценку потребительской стоимости навигационной информации и других услуг, предоставляемых РНС и, в конечном счете, рентабельности системы.



Связь показателей качества РНС

Эффективность РНС исследуется и оценивается по двум схемам: замкнутой и разомкнутой. По замкнутой схеме эффективность оценивают с использованием показателей эффективности операций, выполнение которых обеспечивается посредством РНС.

При использовании замкнутой схемы в явной форме отражается назначение РНС, однако трудно получить исходные количественные данные по результативности решений всего многообразия задач потребителей. Кроме того, замкнутая модель в силу необходимости учета множества факторов, не относящихся собственно к РНС, затрудняет детальный анализ качества ее функционирования. Поэтому для углубленного анализа влияния всевозможных факторов в интересах разработки и совершенствования РНС предпочтительнее разомкнутая схема. В данной схеме эффективность оценивается по качеству решений частных задач, составляющих процесс навигационных определений.

Рассмотрим вариант оценки эффективности многоцелевой РНС по разомкнутой схеме.

Первоначально задается множество  $C = \{C_j\}$  целевых задач, которые могут быть решены с использованием сравниваемых вариантов РНС,  $j = 1, 2, \dots, J$  – число задач. Методом экспериментальных оценок, задаются коэффициенты значимости задач  $K = \{K_j\}$ . Далее определяется значения показателей эффективности  $\mathcal{E}$  при наличии системы-объекта  $\mathcal{E}_{pn}$  ( $n$  – номер варианта) и без ее использования  $\mathcal{E}_o$ . Затем находят относительное приращение эффективности по всем целевым задачам

$$\Delta \mathcal{E}_{nj} = (\mathcal{E}_{pnj} - \mathcal{E}_{oj}) / \mathcal{E}_{oj} \quad (1)$$

и вычисляют значения показателя эффективности, суммарное по множеству целевых задач РНС

$$\mathcal{E}_n^{сум} = \sum K_j \Delta \mathcal{E}_{nj} \quad (2)$$

Для глобальных РНС, включая системы спутниковой радионавигации, частным, но практически важным показателем эффективности может служить математическое ожидание относительной площади земной поверхности, в пределах которой точность навигационных определений отвечает совокупности наиболее значимых потребителей

$$\mathcal{E}_n^{cp} = S_{Tn}^{cp} / S \quad (3)$$

где  $S_{Tn}^{cp}$  – средняя за некоторый интервал времени площадь поверхности Земли, с которой потребитель может проводить определения по  $n$ -ному варианту РНС с необходимым качеством, в данном случае точностью;  $S$  – общая площадь земной поверхности.

#### Библиографический список

1. Радионавигационный план Рос. Федерации : утв. приказом Министерства промышленности и торговли РФ от 2 сентября 2008 г. № 118 : в редакции приказа Министерства промышленности и торговли РФ от 31 августа 2011 г. № 1177. [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Царев В. М. Пути повышения эффективности радионавигационных систем дальней навигации наземного и космического базирования при их комплексном применении : дис. ... канд. техн. наук. М., 2005.
3. Дифференциальная коррекция погрешностей определения координат при геомагнитных возмущениях / И. Н. Карцан, В. Н. Тяпкин, К. Г. Охоткин и др. // Вестник СибГАУ. 2013 № 2(48). С. 128–133.

#### References

1. Radionavigational plan of the Russian Federation : approved by the government. order of the Ministry of industry and trade of the Russian Federation from September 2, 2008, № 118 in the wording of order of the Ministry of industry and trade of the Russian Federation dated August 31, 2011 № 1177.
2. Tsarev V. M. *Puti povysheniya effektivnosti radionavigatsionnykh sistem dal'ney navigatsii nazemnogo i kosmicheskogo bazirovaniya pri ikh kompleksnom primenenii*. Dis. ... kand. tekhn. nauk (Ways to improve the efficiency of radio navigation systems long range navigation ground-based and space-based with their complex application. Thesis for the degree of candidate of Sciences). 2005.
3. Kartsan I. N., Tyapkin V. N., Okhotkin K. G., Kartsan R. V., Pahorykov D. N. *Vestnik SibGAU*. 2013, no 2(48), p. 128–133.