

3. Khorn R., Dzhonson C. H. *Matrichnyy analiz* (Matrix analysis). Moscow, Mir, 1989, 655 p.

4. Uonem U. Myurrey. *Lineynyye mnogomernyye sistemy upravleniya. Geometricheskiy podkhod* (Linear multidimensional control systems. Geometric an approach). Moscow, Nauka, 1980.

5. Berman A., and Nagy E. J. Improvement of Large Analytical Model Using Test Data. *AIAA Journal*. 1983, Aug, vol. 21, № 8, pp. 1168–1173.

6. Baruch M., and Bar Ihzhack I. Y. Optimal Weighted Ortogonalization of Measured Modes. *AIAA Journal*. 1978, April, vol. 16.

© Дружинин Э. И., Лукьяненко М. В., Якимов Е. Н., 2013

УДК 536.46

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ КОРРЕКЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ПРИ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ*

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

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Россия, 660014, Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31. E-mail: kartsan@sibsau.ru

Предложен новый способ прямой дифференциальной коррекции погрешностей определения координат, который будет избавлен от большого объема корректирующих дифференциальных поправок, передаваемых множеству потребителей системы с необходимостью осуществлять выбор наиболее точных из них в аппаратуре потребителя.

Ключевые слова: спутниковая радионавигационная система, опорные станции, псевдодальность, псевдоскорость, точность определения координат, геомагнитные возмущения.

DIFFERENTIAL CORRECTION OF POSITION MEASUREMENT ERRORS IN EVENT OF GEOMAGNETIC DISTURBANCES

I. N. Kartsan, V. N. Tyapkin, K. G. Okhotkin, R. V. Kartsan, D. N. Pahorykov

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

A new method of direct differential correction of position measurement errors which will be relieved of a large amount of corrective differential amendments transmitted to many users of the system with the necessity to choose the most accurate of them in consumers equipment.

Keywords: satellite radio-navigation system, booster station, pseudo ranges, pseudo speed, accuracy of position measurements, geomagnetic disturbances.

Для решения некоторых транспортных и специальных прикладных задач требуется обеспечить точность определения координат потребителя спутниковой радионавигационной системы (СРНС) с погрешностью не хуже 10 м в достаточно протяженной (2–3 тыс. км) рабочей зоне. При этом доступность навигационного сервиса должна быть не хуже 0,999...0,999 9 и целостность на уровне 0,999 999.....0,999 999 999 5 [1].

Для поддержания указанной выше точности, доступности и непрерывности навигационных определений в пределах протяженной рабочей зоны использу-

ются широкозонные и региональные дифференциальные дополнения СРНС. Наиболее известным примером зарубежной широкозонной дифференциальной системы (ШДС) служит американская ШДС WAAS [2]. Многочисленные исследования показывают, что воздействие геомагнитных возмущений и мощных всплесков радиоионизации Солнца часто влечет за собой недоступность сервиса по предоставлению пользователю системы дифференциальных поправок, которые используются для коррекции погрешностей навигационных определений [3].

*Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.В37.21.1957.

Известен также новейший отечественный прототип, который пока находится на стадии разработки. РНИИ космического приборостроения (Российская Федерация) был предложен альтернативный способ формирования дифференциальных поправок, которые можно использовать для коррекции погрешностей навигационных определений потребителя СРНС в пределах протяженной рабочей зоны [4]. Для этой цели, как и в ШДС WAAS, используется сеть, включающая не менее 10–12 опорных станций сбора информации. На основании массива измерений, выполненных на сети этих станций, в общем центре обработки информации формируется массив единых для протяженной рабочей зоны скалярно-векторных поправок. Скалярно-векторные поправки определяются для каждого навигационного спутника СРНС в виде $\{\Delta X_i, \Delta V_i, \Delta \rho_i, \Delta v_i\}$, где: $\Delta X_i = |\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i|T$ – вектор поправок к априорным данным о координатах i -го навигационного спутника; $\Delta V_i = |\Delta V_x, i, \Delta V_y, i, \Delta V_z, i|T$ – вектор поправок к априорным данным о составляющих скорости i -го навигационного спутника; $\Delta \rho_i$ – скалярная поправка к оценке псевдодальности « i -й навигационный спутник – потребитель»; Δv_i – скалярная поправка к оценке псевдоскорости потребителя.

Рассмотренные скалярно-векторные дифференциальные поправки, по сути, представляют собой поправки к эфемеридам навигационных спутников и частотно-временные поправки [5]. Однако в данном способе не преодолен принципиальный недостаток формирования скалярных поправок к псевдодальностям – $\Delta \rho_i$. Он заключается в том, что указанная скалярная поправка к оценке псевдодальности « i -й навигационный спутник-потребитель» формируется путем пространственного усреднения большого массива измерений по отдельным опорным станциям, охватывающим всю протяженную рабочую зону. Это порождает следующую проблему: по данным ряда исследований, установлено, что во время геомагнитных возмущений среда околоземного космического пространства, через которую распространяются сигналы навигационных спутников, становится существенно неоднородной [6]. Следствием этого может быть снижение точности определения итоговых скалярных поправок $\Delta \rho_i$.

Еще одним недостатком предложенного способа является довольно большое количество корректирующих скалярно-векторных поправок, которые нужно сообщить множеству пользователей. При этом на аппаратуру пользователя должна быть возложена функция по выбору наиболее точных из них. Это влечет за собой усложнение алгоритмов обработки информации в аппаратуре потребителя (АП) и повышает ее стоимость.

Выполнение дифференциальной коррекции погрешностей навигационных определений потребителя СРНС в протяженной рабочей зоне требует развитой наземной инфраструктуры опорных станций сбора информации. Решение этой задачи с привлечением широкозонных дифференциальных дополнений СРНС

ориентировано на массового потребителя и, как показано выше, имеет определенные недостатки. В интересах потребителей от отдельных ведомств для преодоления этих недостатков целесообразно развертывание ведомственных функциональных дополнений СРНС.

Для развертывания широкозонных функциональных дополнений СРНС ведомственного назначения – железнодорожных, речных, прибрежных или авиационных – можно использовать региональные дифференциальные сети, сформированные путем слияния нескольких локальных функциональных дополнений СРНС. При этом для формирования массива корректирующих дифференциальных поправок, действующих в протяженной рабочей зоне, можно использовать два способа:

- 1) способ дифференциальной коррекции псевдодальностей и псевдоскоростей [5];
- 2) способ прямой дифференциальной коррекции координат [5].

Использование первого способа получения дифференциальных поправок для реализации региональной дифференциальной сети имеет серьезные недостатки. Во-первых, задача выбора наиболее точных из всего множества дифференциальных поправок $\Delta \rho_i$ и Δv_i перекладывается на потребителя системы, что существенно усложняет алгоритм обработки информации в аппаратуре потребителя и повышает ее стоимость. Эта проблема еще более усугубляется в условиях действия геомагнитных возмущений. В таких условиях может проявляться значительная неравноточность при определении скалярных поправок $\Delta \rho_i$ и Δv_i по одному и тому же навигационному спутнику на разных опорных станциях (ОС) дифференциальной сети.

Во-вторых, точность определения единых для рабочей зоны скалярных поправок $\Delta \rho_i$ и Δv_i прямо зависит от степени соответствия среды распространения сигналов навигационных спутников ее сферическому невозмущенному представлению. Имеются многочисленные исследования [3; 6], которые показывают, что такое состояние среды распространения сигналов существенно нарушается в условиях геомагнитных и спорадических возмущений среды околоземного космического пространства.

Что касается второго способа, то основным ограничением использования дифференциального режима с прямой коррекцией координат является обязательное требование, чтобы определение координат опорной станции локальной дифференциальной системы и потребителя осуществлялось по одному и тому же рабочему созвездию навигационных спутников [5]. Чем больше удаление потребителя от опорной станции, тем технически сложнее удовлетворить указанному требованию. Этому требованию сложно удовлетворить и в условиях сложного рельефа местности, когда окружающие объекты экранируют сигналы части навигационных спутников СРНС.

Несмотря на это существенное ограничение, использование способа прямой дифференциальной

коррекции координат может оказаться более предпочтительным для реализации региональных дифференциальных сетей. Вызвано это тем, что возникают определенные преимущества в сравнении с использованием дифференциального режима с формированием скалярных поправок к псевдодальностям и псевдоскоростям по отдельным спутникам.

Во-первых, имеет место существенное уменьшение объема информации, которая должна быть передана в общий центр обработки данных (по три поправки к координатам опорных станций сбора информации дифференциальной сети вместо 16 поправок к измеренным псевдодальностям и псевдоскоростям по всем спутникам, которые наблюдаются на всех опорных станциях ШДС).

Во-вторых, в произвольной точке рабочей зоны не возникает необходимости выбирать из всей совокупности скалярных поправок по видимым спутникам наиболее точные, поскольку сформирован единый массив региональных поправок к погрешностям определения пространственных координат потребителей, которые находятся в рабочей зоне. Это существенно упрощает алгоритм обработки информации в аппаратуре потребителя СРНС и снижает ее стоимость. Кроме того, при выборе оптимального вида интерполяции поля дифференциальных поправок к погрешностям определения координат потребителей в данных поправках в пределах всей рабочей зоны региональной дифференциальной сети уже учтены локальные особенности формирования итоговых погрешностей координатных определений.

В-третьих, если расстояние между опорными станциями региональной сети данного типа находится в пределах радиуса пространственной корреляции погрешностей определения координат, то точность дифференциальной коррекции не снижается значительно образом в условиях воздействия неблагоприятных геофизических факторов.

В настоящее время функционирует Всемирная сеть, включающая более двух тысяч стационарных пунктов, оборудованных навигационной аппаратурой потребителей спутниковых радионавигационных систем GPS и ГЛОНАСС. Прямоугольные геоцентрические и географические координаты этих пунктов известны с высокой точностью. Эта сеть используется для коррекции элементов орбит навигационных спутников GPS, выполнения геодинимических наблюдений и ионосферных исследований [7]. Распределение пунктов Всемирной сети неравномерно по поверхности земного шара: наибольшее их число приходится на территорию Северной Америки и Европы. Имеются отдельные регионы с расстоянием между соседними пунктами от 30 до 450 км. Постоянно идет процесс наращивания данной сети с появлением густых региональных сетей подобного назначения, в том числе и на территории Российской Федерации (сеть геодинимического мониторинга КАМНЕТ на Камчатке) [4].

Предлагается использовать наземные стационарные пункты всемирной сети станций, оборудованных

навигационной аппаратурой потребителей спутниковых радионавигационных систем GPS и ГЛОНАСС, в качестве опорных станций сбора информации региональных дифференциальных систем ведомственного назначения. Кроме того, можно предложить использование этих пунктов для наращивания уже имеющейся инфраструктуры наземных ОС широкозонных дифференциальных дополнений СРНС.

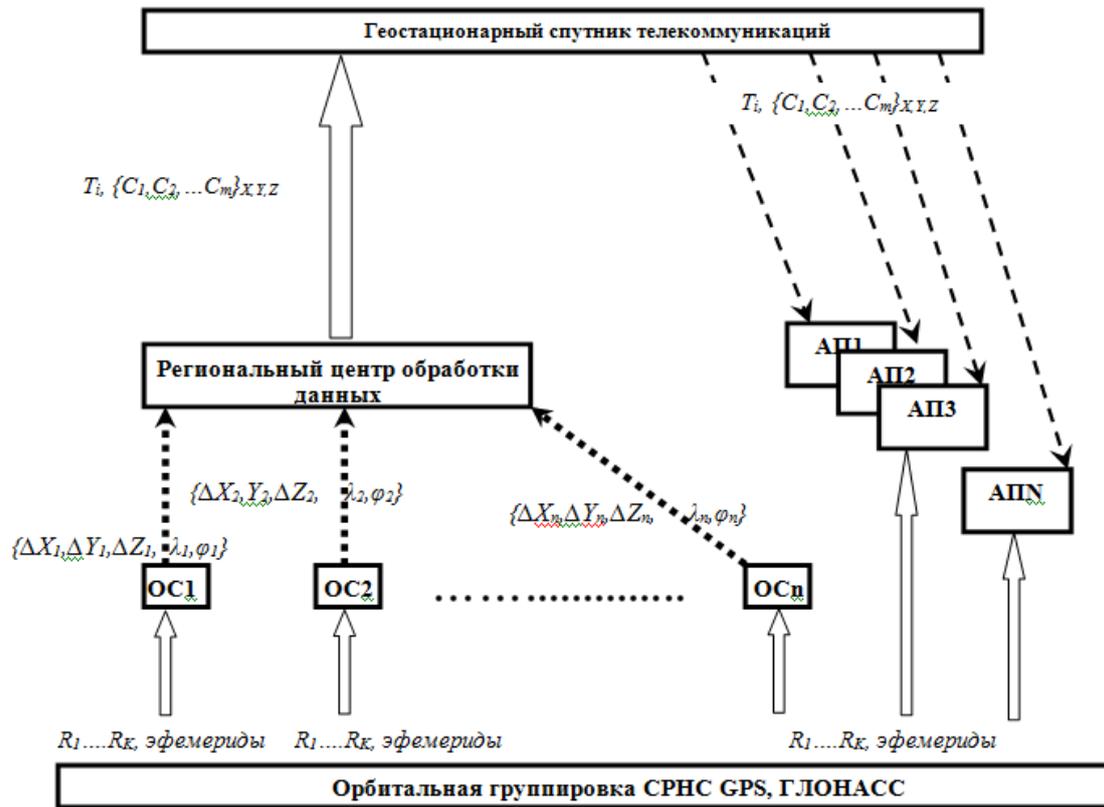
Благодаря использованию густых региональных фрагментов всемирной сети опорных станций для разворачивания региональных дифференциальных сетей ведомственного назначения можно удовлетворить требованию, касающемуся использования одного и того же рабочего созвездия навигационных спутников на опорных станциях сбора информации и в аппаратуре потребителя СРНС. При высокой плотности размещения опорных станций сбора информации можно достаточно уверенно гарантировать, что на соседних опорных станциях региональной дифференциальной сети и в точке расположения пользователя будет наблюдаться одно и то же созвездие навигационных спутников.

Суть предлагаемого способа прямой дифференциальной коррекции погрешностей определения координат пользователей среднеорбитальных спутниковых радионавигационных систем в пределах протяженной рабочей зоны иллюстрируется на рисунке.

Практическая реализация предлагаемого способа выполняется следующим образом.

Шаг первый: На каждой опорной станции сбора информации региональной дифференциальной сети (ОС1, ОС2...ОС n) производятся измерения псевдодальностей до видимых навигационных спутников (R1, R2...RK) орбитальной группировки GPS и (или) ГЛОНАСС. На основании этих измерений и известных элементов орбит навигационных спутников (эфемерид) на каждой ОС оцениваются погрешности определения прямоугольных геоцентрических координат данной опорной станции: $\Delta X_j = X_j - X_j^*$; $\Delta Y_j = Y_j - Y_j^*$; $\Delta Z_j = Z_j - Z_j^*$, где j – номер опорной станции; X_j, Y_j, Z_j – известные прямоугольные геоцентрические координаты j -й опорной станции; X_j^*, Y_j^*, Z_j^* – измеренные прямоугольные геоцентрические координаты j -й опорной станции. Сформированное на каждой опорной станции сообщение – $\{\Delta X_j, \Delta Y_j, \Delta Z_j, \lambda_j, \varphi_j\}$ – содержит информацию о геодезических координатах этой станции (λ_j, φ_j) и погрешностях определения ее прямоугольных геоцентрических координат ($\Delta X_j, \Delta Y_j, \Delta Z_j$).

Шаг второй: набор сообщений $\{\Delta X_j, \Delta Y_j, \Delta Z_j, \lambda_j, \varphi_j\} 1...n$ от всех n опорных станций сбора информации региональной дифференциальной сети с определенной периодичностью в моменты времени T_i по стационарным каналам связи поступает в региональный центр обработки данных. На основании этих измерений в региональном центре обработки данных формируются единые текущие (для момента времени T_i) региональные сплайн-поверхности погрешностей определения прямоугольных геоцентрических координат: $S\Delta X(\lambda, \varphi, T_i), S\Delta Y(\lambda, \varphi, T_i), S\Delta Z(\lambda, \varphi, T_i)$.



Реализация способа прямой дифференциальной коррекции погрешностей определения координат потребителей СРНС в пределах протяженной рабочей зоны

Интерполяция погрешностей $\Delta X_j \dots n, \Delta Y_j \dots n, \Delta Z_j \dots n$, измеренных на сети опорных станций, в региональном центре обработки имеет следующие характерные особенности:

- 1) текущие погрешности $\Delta X_j \dots n, \Delta Y_j \dots n, \Delta Z_j \dots n$, измерены на сети опорных станций, которые распределены по региону весьма неравномерно;
- 2) в связи с существенной неоднородностью условий распространения сигналов навигационных спутников в окрестностях каждой из опорных станций сбора информации может иметь место также и существенная неоднородность пространственного распределения измеренных погрешностей $\Delta X_j \dots n, \Delta Y_j \dots n, \Delta Z_j \dots n$ в пределах протяженной рабочей зоны.

В связи с указанными особенностями для формирования текущих региональных сплайн-поверхностей погрешностей определения прямоугольных геоцентрических координат ($S\Delta X(\lambda, \varphi, T_i), S\Delta Y(\lambda, \varphi, T_i), S\Delta Z(\lambda, \varphi, T_i)$) оказалось целесообразным использовать сплайн-функцию специального вида:

$$S(\lambda, \varphi, T_i) = \sum_{j=1}^n C_i \left[(\lambda - \lambda_j)^2 + (\varphi - \varphi_j)^2 \right] \times \ln \left[(\lambda - \lambda_j)^2 + (\varphi - \varphi_j)^2 \right] + C_{n+1} + C_{n+2} \lambda + C_{n+3} \varphi, \quad (1)$$

где n – количество опорных станций сбора информации региональной дифференциальной сети; λ_j, φ_j – геодезические координаты j -й опорной станции сбора информации; $C_i, C_{n+1}, C_{n+2}, C_{n+3}$ – неизвестные коэффициенты двумерного сплайна; $S(\lambda, \varphi, T_i)$ – вычис-

ленное значение погрешности определения прямоугольной геоцентрической координаты X, Y или Z для потребителя, расположенного в произвольной точке региона с геодезическими координатами (λ, φ) в момент времени T_i .

Сплайн-функция, выраженная общей формулой (1), была предложена специально для интерполяции данных на неравномерной сети опорных точек.

Таким образом, в региональном центре обработки данных дифференциальной сети в каждый момент времени T_i на основании выражения (1) формируется три региональные сплайн-поверхности погрешностей определения прямоугольных геоцентрических координат: сплайн-поверхность распределения погрешности определения координаты $X - S\Delta X(\lambda, \varphi, T_i)$; сплайн-поверхность распределения погрешности определения координаты $Y - S\Delta Y(\lambda, \varphi, T_i)$ и сплайн-поверхность распределения погрешности определения координаты $Z - S\Delta Z(\lambda, \varphi, T_i)$.

В процессе формирования региональных сплайн-поверхностей погрешностей определения координат потребителя в центре обработки данных региональной дифференциальной сети определяется набор коэффициентов $\{C_1, C_2, \dots, C_{n+3}\}_x, \{C_1, C_2, \dots, C_{n+3}\}_y, \{C_1, C_2, \dots, C_{n+3}\}_z$ для каждой из сплайн-поверхностей $S\Delta X(\lambda, \varphi, T_i), S\Delta Y(\lambda, \varphi, T_i)$ и $S\Delta Z(\lambda, \varphi, T_i)$ в момент времени T_i .

Шаг третий: набор коэффициентов $\{C_1, C_2, \dots, C_{n+3}\}_x, \{C_1, C_2, \dots, C_{n+3}\}_y, \{C_1, C_2, \dots, C_{n+3}\}_z$ передается через геостационарный спутник связи в аппаратуру потребителей СРНС (АП1, АП2 ... АПn), находящихся в протяженной рабочей зоне региональной дифференциальной сети.

Потребитель в точке с геодезическими координатами (λ, φ) использует набор коэффициентов $\{C_1, C_2, \dots, C_{n+3}\}_x$, чтобы вычислить по формуле (1) текущую погрешность определения своей координаты X , набор коэффициентов $\{C_1, C_2, \dots, C_{n+3}\}_y$, чтобы вычислить по формуле (1) текущую погрешность определения своей координаты Y и набор коэффициентов $\{C_1, C_2, \dots, C_{n+3}\}_z$, чтобы вычислить по формуле (1) текущую погрешность определения своей координаты Z .

После вычисления текущих погрешностей определения прямоугольных геоцентрических координат, как это указано выше, потребитель производит прямую дифференциальную коррекцию данных погрешностей следующим образом:

$$\begin{aligned} X_{us} &= \hat{X} + \Delta \hat{X}(\lambda, \varphi, T_i), \\ Y_{us} &= \hat{Y} + \Delta \hat{Y}(\lambda, \varphi, T_i), \quad Z_{us} = \hat{Z} + \Delta \hat{Z}(\lambda, \varphi, T_i), \end{aligned} \quad (2)$$

где \hat{X} , \hat{Y} , \hat{Z} – измеренные прямоугольные геоцентрические координаты потребителя в точке рабочей зоны дифференциальной сети с геодезическими координатами, вычисленные с помощью сплайн-функции (1) погрешности определения прямоугольных геоцентрических координат потребителя (дифференциальные поправки для выполнения прямой коррекции погрешностей определения координат потребителя); X_{us} , Y_{us} , Z_{us} – уточненные координаты потребителя после прямой дифференциальной коррекции.

Из полученных результатов видно, что необходимо более тщательно пересмотреть механизмы воздействия геомагнитных возмущений среды распространения радиоволн на качество работы спутниковых систем навигации. В результате подобных исследований возможна реализация адаптации навигационной аппаратуры потребителя СРНС к воздействию неблагоприятных гелиогеофизических факторов. Для разработки эффективных алгоритмов адаптации аппаратуры СРНС необходимо накопление статистически состоятельных оценок максимальных наблюдаемых ионосферных мерцаний амплитуды и фазы сигналов НС в различных условиях наблюдений.

Чтобы получать фазовые измерения с лучшим качеством с одной стороны желательно использовать приемник со следящим измерителем фазовой автоподстройкой частоты (ФАПЧ). Ширина полосы захвата этого измерителя должна быть малой, чтобы минимизировать шумы. Но обратной стороной такой структуры будет низкая устойчивость в условиях действия ионосферных сцинтилляций, во время которых приемник может полностью потерять захват сигнала. Решение этой проблемы может быть достигнуто за счет использования адаптивного следящего измерителя сопровождения несущей. В нормальном режиме следящий измеритель работает только с использованием ФАПЧ со суженной полосой захвата. Когда обнаруживаются фазовые и амплитудные сцинтилляции, полоса захвата расширяется, чтобы адаптироваться к новым условиям приема сигнала.

Преимущества предложенного способа прямой дифференциальной коррекции погрешностей определения координат пользователей среднеорбитальных спутниковых радионавигационных систем заключаются в следующем:

1) повышенная устойчивость работы системы дифференциальной коррекции в условиях геомагнитных возмущений, поскольку точность сформированных дифференциальных поправок слабо зависит от локальных особенностей среды распространения сигналов навигационных спутников;

2) для разворачивания региональных дифференциальных сетей можно использовать готовую инфраструктуру – Всемирную сеть опорных станций, оборудованных аппаратурой потребителей GPS, ГЛОНАСС, что в ряде случаев приведет к существенному снижению затрат на создание региональных дифференциальных сетей ведомственного назначения;

3) в произвольной точке рабочей зоны не возникает необходимости выбирать из всей совокупности скалярных поправок по видимым спутникам наиболее точные, поскольку сформирован единый массив региональных поправок к погрешностям определения пространственных координат потребителей. Это существенно упрощает алгоритм обработки информации в аппаратуре потребителя СРНС и снижает ее стоимость;

4) имеет место существенное уменьшение объема информации, которая должна быть передана в общий центр обработки данных.

Библиографические ссылки

1. Среднеширотные амплитудные мерцания сигналов GPS и сбои функционирования GPS на границе аврорального овала / Э. Л. Афраимович [и др.] // Изв. вузов. Радиофизика. 2004. Т. 47, № 7. С. 509–526.
2. Geomagnetic Storms and the Occurrence of Phase Slips in the Reception of GPS Signals / E. L. Afraimovich et al. // Annals of Geophysics. 2001. Vol. 45 (1). P. 55–71.
3. Перов А. И., Харисов В. Н. ГЛОНАСС: принципы построения и функционирования / под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова. М.: Радиотехника, 2005.
4. Повышение точности определения геодезического пункта с использованием радионавигационной системы / И. Н. Карцан, В. Н. Анпилогов, С. В. Литовчик, Е. С. Жукова // Вестник СибГАУ. 2011. Вып. 7 (40). С. 68–73.
5. Kaplan E. D. Understanding GPS: Principles and Applications // Artech House. 1996.
6. Афраимович Э. Л., Караченцев В. А., Неудакин А. А. Методика прогнозирования погрешностей функционирования спутниковых радиотехнических систем, обусловленных неоднородной и нестационарной ионосферой земли, по данным глобальной GPS // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 2003. № 4. С. 51–60.
7. Gurtner W. RINEX: The Receiver Independent Exchange Format [Electronic resource]. URL: <http://www.igs.org>. International GNSS Service. IGS Central Bureau, 1993–2009.

References

1. Afraimovich E. L., Astafyeva E. I., Berngradt O. I., Demyanov V. V. et al. *Izvestiya vuzov. Radiophysics*. 2004, vol. 47, № 7, pp. 509–526.
2. Afraimovich E. L., Lesyuta O. S., Ushakov I. I., Voeykov S. V. *Annals of Geophysics*. 2001, vol. 45 (1), pp. 55–71.
3. Perov A. I., Harisov V. N. *GLONASS: printsipy postroyeniya i funktsionirovaniya* (GLONASS: principles of construction and functioning). Moscow, Radiotekhnika, 2005, 687 p.
4. Kartsan I. N., Anpilogov V. N., Litoshik S. V., Zhukova E. S. *Vestnik SibGAU*, 2011, № 7 (40), pp. 68–73.
5. Kaplan E. D. *Understanding GPS: Principles and Applications*. Artech House, 1996, 556 p.
6. Afraimovich E. L., Karachentsov V. A., Neydakin A. A. *Izvestiya vuzov. Radiophysics*, 2003, № 4, pp. 51–60.
7. Gurtner, W. RINEX: The Receiver Independent Exchange Format. Electronic resource. Version 2. International GNSS Servis. IGS Central Bureau, 1993–2009.

© Карцан И. Н., Тяпкин В. Н., Охоткин К. Г., Карцан Р. В., Пахоруков Д. Н., 2013

УДК 629.78.054:621.396.018

МАГИСТРАЛЬНО-МОДУЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОТРАБОТКИ БОРТОВОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

С. С. Красненко¹, Д. А. Недорезов¹, В. Б. Кашкин¹, А. В. Пичкалев²

¹Сибирский федеральный университет

Россия, 660041, Красноярск, просп. Свободный, 79. E-mail: t_150@list.ru.

²ОАО «Информационные спутниковые системы» имени М. Ф. Решетнева)

Россия, 662972, Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52

Обоснована необходимость создания унифицированных автоматизированных комплексов проверки радиоэлектронной аппаратуры. Сформулированы требования к комплексам проверки, удовлетворяющие разработчиков и цех испытаний радиоэлектронной аппаратуры. Предложена реализация автоматизированных комплексов, удовлетворяющих предъявленным требованиям, с использованием магистрально-модульных систем. Приведен пример использования такой системы для испытаний навигационной аппаратуры космического назначения. Рассмотрен вариант реализации имитатора радионавигационного сигнала на магистрально-модульной системе компании National Instruments. Реализация автоматизированных комплексов с использованием магистрально-модульных систем позволяет существенно сократить время проверки радиоэлектронной аппаратуры без потери качества, а также создавать гибкую проверочную аппаратуру. Все это позволит повысить конкурентоспособность производимой продукции.

Ключевые слова: испытания, радиоэлектронная аппаратура, комплексы проверок, магистрально-модульная система, имитатор радионавигационных сигналов.

BUS-MODULAR SYSTEM FOR TEST OF ONBOARD RADIOELECTRONIC EQUIPMENT

S. S. Krasnenko¹, D. A. Nedorezov¹, V. B. Kashkin¹, A. V. Pichkalev²

¹Siberian Federal University

79 Svobodnui prosp., Krasnoyarsk, 660041, Russia. E-mail: t_150@list.ru.

²JSC “Information Satellite Systems” named after academician M. F. Reshetnev”

52 Lenin st., Zhelenogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russia

The authors substantiate the necessity of creation of the unified automated systems for testing radio-electronic equipment, formulate the requirements to check complexes satisfying developers and workshop testing radio-electronic equipment and propose realization automated systems meet shown requirements using the bus-modular systems with the presentation of the example of use of such a system for testing the navigation equipment for space objects. Along with this the authors consider a variant of the simulator of radio navigation signal on bus-modular system of National Instruments. The implementation of automated systems with bus-modular systems allows to significantly reduce the radio-electronic equipment scan time without loss in quality, and create flexible checkout equipment. All the mentioned above will improve the competitive ability of the products.

Keywords: testing, electronic equipment, systems audits, bus-modular system, simulator of radio navigation signals.