# ГАРАНТИРОВАННОЕ КООРДИНАТНО-ВРЕМЕННОЕ И НАВИГАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Тюлин А.Е., Бетанов В.В.\*

**Ключевые слова:** глобальные навигационные спутниковые системы, координатно-временное обеспечение, навигационное обеспечение, навигационное обслуживание, доступность навигационной услуги, непрерывность, целостность, объект-система «задача – инструмент решения», точность, оперативность, потребители.

#### Аннотация.

**Цель работы:** совершенствование научно-методической базы теории гарантированного координатновременного и навигационного обеспечения.

**Методы:** системный анализ координатно-временного и навигационного обеспечения с помощью глобальных навигационных спутниковых систем.

**Результаты:** показано, что полученные на основе системного анализа заключения и классификации позволяют структурировать меры достижения изучаемой цели и выделить ключевые элементы инструментария, реализующего решения; предложенный подход вносит существенную новизну в традиционную схему переработки поступающей информации в навигационной аппаратуре потребителя, что дает возможность значительно улучшить качество решения целевых задач в подсистемах крупномасштабных информационно-аналитических систем типа ГАС РФ «Правосудие», «Выборы», «Управление»; особая роль при этом принадлежит идее введения в рассмотрение объект-системы «задача – инструмент решения», позволяющей учесть погрешности всех элементов инструментария навигации; в качестве такого инструментария выступает автоматизированная система координатно-временного и навигационного обеспечения.

DOI: 10.21681/1994-1404-2020-2-04-16

#### Введение

реимущества радионавигации по сигналам спутников в сравнении с традиционными методами, использующими в качестве ориентиров небесные светила или радиомаяки наземного базирования, включают: глобальность обслуживания, независимость навигационного обеспечения от времени года, суток и метеоусловий; высокую точность определения потребителем своего положения в пространстве.

В частности, с помощью отечественной Глобальной навигационной спутниковой системы (ГЛОНАСС) вычисляется местоположение защищаемых лиц и объектов при активации использующих ими персональных мобильных устройств тревожной сигнализации («тре-

керов») в случае возникновения угрозы безопасности, и происходит формирование маячковой информации, которая передаётся правоохранительным органам средствами спутниковой связи [1]. Актуальным также является непрерывное навигационное обеспечение широко используемых дистанционно пилотируемых и беспилотных аппаратов правоохранительных и иных органов [5], космических систем ретрансляции телеметрической информации [10, 12], современных технологий территориально распределенной переработки измерительной информации от космических аппаратов (КА) различного назначения [10] и др.

Вообще говоря, ГЛОНАСС обеспечивает навигационную независимость Российской Федерации. Комплексное совершенствование ГЛОНАСС потенциально позволяет выполнить требования потребителей цифровой экономики страны. Развитие ГЛОНАСС

E-mail: contact@spacecorp.ru

**Бетанов Владимир Вадимович,** доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии ракетных и артиллерийских наук, заместитель начальника центра АО «Российские космические системы», г. Москва, Российская Федерация.

E-mail: vlavab@mail.ru

<sup>\*</sup> **Тюлин Андрей Евгеньевич,** доктор экономических наук, кандидат технических наук, член-корреспондент Российской академии ракетных и артиллерийских наук, генеральный директор АО «Российские космические системы», г. Москва, Российская Федерация.



Рис. 1. Состав Глобальной навигационной спутниковой системы (ГЛОНАСС) Российской Федерации

программно-целевым методом<sup>1</sup> обеспечивает сохранение лидирующей позиции Российской Федерации в сфере навигационной деятельности [17, 19].

### Архитектура существующей и перспективной ГЛОНАСС

По составу ГЛОНАСС включает космический комплекс, средства фундаментального обеспечения ГЛОНАСС, комплекс функциональных дополнений, систему апостериорного высокоточного определения эфемерид и временных поправок — эфемеридно-временной информации, а также комплекс аппаратуры потребителей навигационной и временной информации (рис. 1.)

Особо следует отметить важность комплекса функциональных дополнений ГЛОНАСС, основанного на принципах дифференциальной навигации. Под функциональным дополнением глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) обычно понимается комплекс технических и программных средств, предназначенных для обеспечения потребителя ГНСС дополнительной информацией, позволяющей повысить точность и достоверность определения его пространственных координат [1], составляющих вектора скорости движения [2, 8] и поправки показаний часов [19] и гарантирующей целостность ГНСС.

Российское функциональное дополнение глобальных навигационных спутниковых систем — система дифференциальной коррекции и мониторинга навигационных полей (СДКМ) [4].

В основе дифференциальной навигации (коррекции) лежит свойство пространственно-временной коррелированности погрешностей измерений радионавигационных параметров сигналов навигационных КА, проведенных в различных точках пространства в близкие моменты времени.

Суть дифференциальной коррекции заключается в измерении и компенсации коррелированных постоянных и медленно меняющихся во времени и пространстве составляющих погрешностей измерений навигационных параметров, т.е. измерений псевдо-задержки дальномерного кода, псевдо-доплеровской частоты и псевдо-фазы принимаемых сигналов навигационных КА. Основная идея методов дифференциальной коррекции и относительных измерений заключается в совместной логической обработке результатов измерений, полученных, по меньшей мере, в двух разнесенных точках рабочей зоны ГНСС.

Принцип повышения точности определения координат – учет корреляции во времени и пространстве составляющих погрешности измерений, выполненных в разных точках пространства в разных образцах навигационной аппаратуры потребителя (НАП). При дифференциальной (разностной) обработке коррелированные составляющие компенсируются (при сильной корреляции – практически полностью, при слабой – частично). Одновременно возрастает дисперсия некоррелированной (шумовой) составляющей погреш-

 $<sup>^1</sup>$  См.: Позняков В. В. Управление проектами: сущность, актуальность и особенности применения в России // Мир управления проектами / Под ред. Х Решке, Х. Шеллле. – М.: «Аланс», 1994. – 252 – 270; Ловцов Д. А., Богданова М. В. Проблема управления инвестициями оборонных проектов России // Обозреватель-Observer. – 2000. – № 8 . – С. 53 – 57.

# Система ГЛОНАСС расширенного состава

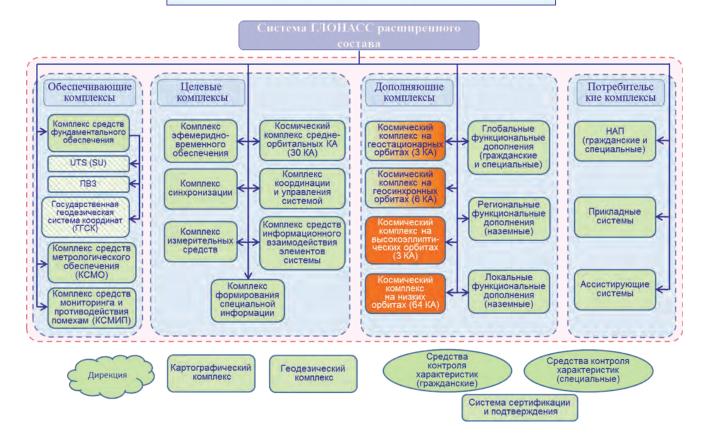


Рис. 2. Система ГЛОНАСС расширенного состава

ности дифференциальных измерений, поскольку она равна сумме дисперсий шумовых ошибок независимых измерений в разных образцах навигационной аппаратуры потребителя (НАП).

Со станций сбора измерений ГЛОНАСС и GPS (Global Position System) данные передаются в центр обработки системы – Центр дифференциальной коррекции и мониторинга, где формируется корректирующая информация и информация о целостности навигационного поля, которые через геостационарные спутники связи [12], либо по наземным каналам связи, передаются потребителю. Приемная аппаратура потребителя производит совместную обработку этой информации и сигналов ГЛОНАСС и GPS, что позволяет решать навигационные задачи с улучшенными точностными и надежностными характеристиками [6].

Одновременно создание высокоточного функционального дополнения глобальных навигационных спутниковых систем на базе развития СДКМ связано с достижением следующих результатов:

- определение координат потребителя с сантиметровой погрешностью в реальном времени;
- доставка потребителям за время, не превышающее единиц секунд, сигналов тревоги о нарушении целостности навигационного обеспечения по

радиосигналам космических аппаратов ГЛОНАСС (например, КА «Глонасс-103 [8]») и других глобальных и региональных навигационных спутниковых систем, в том числе в соответствии с требованиями стандартов и рекомендуемой практики (SARPs—Standards and Recommended Practices) ИКАО<sup>2</sup> в зоне обслуживания (Российская Федерация);

- совместимость и взаимодополняемость с зарубежными широкозонными функциональными дополнениями ГНСС;
- сертификация СДКМ на соответствие необходимым требованиям.

Глобальная система апостериорного высокоточного определения навигационной и эфемеридно-временной информации (ЭВИ) в реальном времени для гражданских потребителей является функциональным дополнением ГЛОНАСС [15], обеспечивающим абсолютное высокоточное позиционирование потребителей в реальном времени и в апостериорном режиме. Зарубежным аналогом технологии абсолютного высокоточного позиционирования является технология *PPP* (*Precise Point Positioning*).

 $<sup>^2</sup>$  От англ. ICAO – International Civil Aviation Organization – Международная организация гражданской авиации.

## Гарантированное координатно-временное и навигационное обеспечение...

Областью применения системы высокоточного определения ЭВИ является высокоточная навигация в реальном времени и апостериорном режиме без привлечения базовых станций, включая:

- геодезические и картографические работы;
- высокоточное сельское хозяйство;
- мониторинг положения объектов.

Перспективная система – ГЛОНАСС расширенного состава, представленная на *puc*. 2, может включать уже созданные к настоящему времени, а также перспективные обеспечивающие, целевые, дополняющие и потребительские комплексы, а также средства контроля специальных и гражданских характеристик, картографическую и геодезическую системы.

# Элементы системы гарантированного навигационного обеспечения потребителя

Качество решения навигационных задач (*puc.* 3) по уровням *точности* и вариантам *оперативности* определяется, прежде всего:

- характеристиками (обобщенным вектором) орбитальной группировки (структурой и количеством навигационных космических аппаратов, параметрами орбит, выбором «точек стояния КА» в системе, числом резервных и испытываемых КА и др.);
- источниками ошибок измерений (качеством эфемеридно-временной информации, энергетическими и геометрическими параметрами источников сигналов, показателями среды распространения сигналов, характеристиками приемной аппаратуры);
- методами, моделями и алгоритмами решения навигационной задачи;

– особыми условиями и факторами *навигационных определений* [9, 11] (под землей, под водой, в закрытых помещениях, в условиях городской застройки, гористой местности).

При детальном рассмотрении решения навигационных задач в нетрадиционных (некорректных) условиях [13, 18, 19] применяются специализированные методы регуляризации и оригинальные алгоритмы и способы решения.

В большинстве практических применений главной целью развития глобальных навигационных спутниковых систем вообще и ГЛОНАСС в частности является достижение *гарантированного* координатно-временного и навигационного обеспечения широкого круга потребителей.

Гарантированное координатно-временное и навигационное обеспечение фактически связано с достижением необходимого «интервала» точностей навигации, под которыми понимается характеристика или набор характеристик, отражающих ожидаемый или фактический уровень погрешностей навигационных определений положения, скорости, времени потребителя.

Под гарантированным координатно-временным и навигационным обеспечением понимается предоставление в течение приемлемого времени потребителям заданной группы необходимой координатно-временной и навигационной информации требуемого качества с вероятностью не хуже заданной (рис. 4).

От традиционных определений подобного рода предлагаемый подход отличается необходимостью дополнительного рассмотрения оценки времени решения задачи (разрешения некорректности второго рода [19, 20]), что в целом обеспечивает гарантированный



Рис. 3. Факторы, определяющие характеристики глобальных навигационных спутниковых систем

Гарантированное координатно-временное и навигационное обеспечение это - предоставление в течение приемлемого времени потребителям заданной группы необходимой координатно-временной и навигационной информации требуемого качества с вероятностью не хуже заданной.

Результаты решения навигационной задачи должны удовлетворять с заданной вероятностью допустимым ограничениям вида:  $\{\Delta x_i\}_j \leq \{\Delta x_{idon}\}_j, \; \{\Delta V_i\}_j \leq \{\Delta V_{oon.i}\}_j, \{\Delta \tau\}_j \leq \{\Delta \tau_{oon.}\}_j \; \text{при условии} \; \Delta_{mayupawas,j} \leq \Delta_{oon.j},$  - отклонения оценки і-й компоненты вектора положения и скорости потребителя j-ой группы, соответственно, от реальных;  $\{\Delta \tau\}_j \; - \; \text{отклонение оценки времени потребителем } j$  - ой группы от системного; - интервал времени получения решения навигационной задачи потребителем j - ой группы;  $\{\Delta \tau_{oon.}\}_j, \{\Delta V_{oon.i}\}_j - \; \text{допустимые отклонение оценки компонентов вектора положения и скорости потребителя } j$  - ой группы;  $\{\Delta \tau_{oon.}\}_j \; - \; \text{допустимое отклонение оценки времени потребителя } j$  - ой группы; - ограничение времени решения навигационной задачи потребителем j-ой группы.

Рис. 4. Требования к гарантированному координатно-временному и навигационному обеспечению

расчет требуемых данных навигации с учетом «внешних» обстоятельств и условий [7], т.е. рассматривается гарантированное координатно-временное и навигационное обеспечение потребителя параметрами, определяемыми в течение допустимого для рассматриваемой задачи интервала времени.

Характеристики глобальных навигационных спутниковых систем должны удовлетворять допустимым

ключевым функциональным характеристикам, а именно: характеристикам *доступности, целостности, непрерывности* и *точности* навигационных определений (*puc.* 5) [3, 9, 11].

Доступность *навигационного поля* определяет возможность для потребителя (аппаратуры потребителя) воспользоваться навигационным полем ГНСС, захватить сигнал от необходимого числа спутников с целью

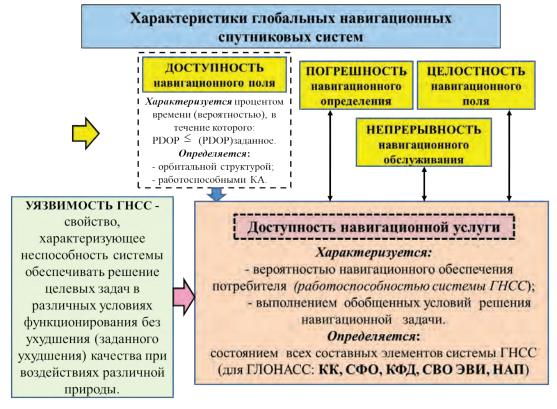


Рис. 5. Ключевые характеристики ГНСС

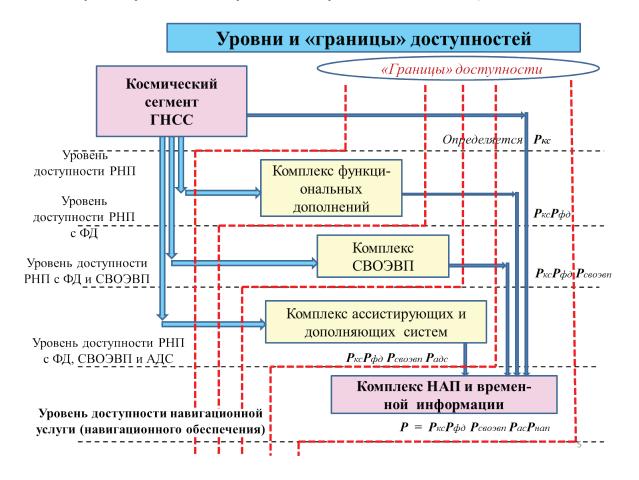


Рис. 6. Уровни и «границы» доступностей различного рода

поддержания устойчивой связи для осуществления навигации потребителя. В общем случае мерой доступности является вероятность работоспособности космического сегмента ГНСС перед выполнением той или иной навигационной задачи.

В то же время доступность *навигационной услуги* определяет возможность для потребителя воспользоваться навигационным полем и всей совокупностью дополняющих и ассистирующих систем и элементов ГНСС (включая аппаратуру потребителя) в различных условиях обстановки для осуществления навигации потребителя. В общем случае мерой доступности навигационной услуги является вероятность работоспособности всех элементов ГНСС, включая аппаратуру потребителя, перед выполнением навигационной задачи.

А непрерывность навигационного обслуживания выражает способность системы выполнять свои навигационные функции в течение предназначенной операции без перерывов. Фактически оценка непрерывности есть оценка вероятности непредвиденного нарушения доступности навигационных услуг в течение проводимой операции или на критичном для потребителя интервале времени.

Целостность *навигационного поля* – комплексный показатель, характеризующий функциональные качества системы, существенные с точки зрения надежности получения навигационных услуг, а также способность системы своевременно проинформировать потребителя о нарушениях в навигационном обслуживании.

Причем, доступность навигационного поля, определяемая, прежде всего, орбитальной структурой космической системы и работоспособными навигационными космическими аппаратами, характеризуется процентом времени (вероятностью), в течение которого пространственный геометрический фактор "Positioning Dilution of Precision" (PDOP) не больше заданного, т.е:

 $PDOP \leq (PDOP)_{_{3AD}}$ .

В свою очередь, доступность навигационной услуги в отличие от доступности навигационного поля, характеризуемая вероятностью навигационного обеспечения потребителя (а по существу, работоспособностью системы ГНСС) и выполнением обобщенных условий решения навигационной задачи, определяется состоянием всех составных элементов системы ГНСС.

Таким образом, уязвимость глобальных навигационных спутниковых систем, определяющая неспособность системы обеспечивать решение целевых задач в различных условиях [7, 13] функционирования без ухудшения (заданного ухудшения) качества при воздействиях различной природы, прямо связана с реализацией доступности навигационной услуги.

Детализируя рассмотрение характеристики доступности, выделим уровни и «границы» этого интегрального понятия (*puc*. 6).



Рис. 7. Дополнительная классификация понятий «доступности»

В соответствии с рассматриваемой структурой можно выделить следующие уровни доступностей:

- уровень доступности радионавигационного поля (РНП);
- уровень доступности РНП с использованием функциональных дополнений (ФД);
- уровень доступности РНП с использованием ФД и системы высокоточного определения эфемеридновременной информации поправок (СВО ЭВИ);
- уровень доступности РНП с использованием ФД, СВО ЭВИ и ассистирующих и дополняющих систем (АДС);
- уровень доступности навигационной услуги (навигационного обеспечения) при использовании, как правило, всего комплекса систем и элементов навигационного обеспечения.

Каждый из указанных уровней определяется соответствующей вероятностью (или соответствующими вероятностями) выполнения заданных характеристик элементами космического сегмента, космического сегмента и функциональных дополнений и далее в соответствии с рис. 6.

Кроме того, классификация рассматриваемых доступностей (*puc.* 7) может быть дополнена в соответствии с рассмотрением выбывания навигационных КА из ГНСС, а также по областям усреднения на заданном интервале для необходимой точки навигации, региона и в целом поверхности Земли (околоземного пространства).

При этом под *локальной доступностью* понимается осреднение на заданном временном интервале навигационной функции для фиксированной пространственной точки S, задаваемой параметрами широты  $\phi$  и долготы  $\lambda$  исследуемой пространственной точки.

Под региональной доступностью понимается осреднение навигационной функции на заданном регионе. Региональная доступность определяется как среднее по площади региона от значений локальных доступностей на этом регионе. Соответственно глобальная доступностей по всей поверхности Земли, а широтная (долготная) доступность – осреднение на заданном временном интервале по долготе (широте) при заданной широте (долготе).

Мгновенная доступность определяется значением навигационных функций в каждой точке рассматриваемой пространственно-временной области. Наконец обобщенная доступность связана с возможностью выбывания навигационных КА орбитальной группировки из целевого функционирования.

# Системно-методические основы решения нестандартных навигационных задач

Характеристики системы координатно-временного и навигационного обеспечения определяются не только заданием исходных данных и математическими

# Объект-система «Задача КВНО-инструмент решения(АС КВНО)»

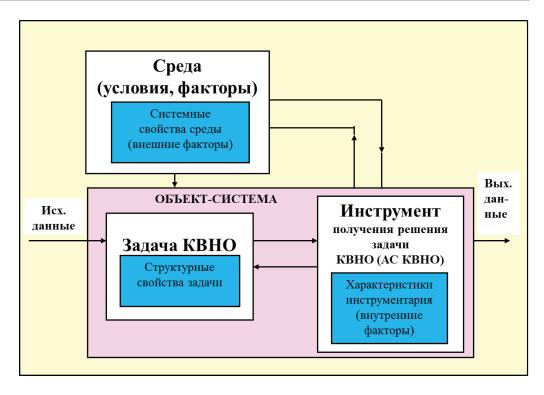


Рис. 8. Объект-система «задача – инструмент решения» навигационного обеспечения

аспектами решения навигационных задач. В значительной мере результат определения выходных данных зависит от «физического» (системного) рассмотрения процесса решения рассматриваемых задач. В частности, предметная область обсуждаемого процесса обеспечения значительно «приближается» к реальной при введении объект-системы «задача КВНО – инструмент решения)» (рис. 8).

Автоматизированная система координатно-временного и навигационного обеспечения (АС КВНО), являясь сложным инструментарием решения задач данного класса, содержит ряд подсистем: математического, программного, информационного, технического, организационного, метрологического, лингвистического, правового назначения [6]. Указанные подсистемы инструментария позволяют решать сложные задачи навигационного обеспечения сложных динамических объектов. Вместе с тем, отмеченные подсистемы вносят «свои» деформации в решение рассматриваемых задач и могут рассматриваться «каналами проводимости» уязвимости ГНСС (рис. 9).

Кроме указанных подсистем автоматизированной системы координатно-временного и навигационного обеспечения должны быть учтены *условия* функционирования инструментария (среда) и комбинированные направления воздействия.

В свою очередь в подсистеме математического обеспечения, представленной совокупностью методов,

моделей и алгоритмов, инструментарий должен быть представлен совокупностью решения задач в «особых» условиях.

Замечания по общим требованиям задачи гарантированного навигационного обеспечения потребителя (см. рис. 4) конкретизируются в математической формулировке обобщенных условий решения навигационной задачи. Обобщенные условия решения подразумевают учет их реализации в объект-системе «задача - инструмент решения». При этом в значительной мере учитывается решение обобщенных некорректных задач навигационно-баллистического обеспечения различного рода <sup>3</sup> [17, 18]. При этом результаты работ академика А. Н. Тихонова и его учеников обобщаются на рассматриваемый случай «объект-системы». В последнем случае могут быть использованы современные методы математической информатики, предложенные проф. А. В. Чечкиным и его научной школой [18, 20] (puc. 10).

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> *См.*: Программно-математическое обеспечение АСУ космическими аппаратами: Учебник / Д. А. Ловцов, В. В. Бетанов, А. В. Лобан и др. Под общ. ред. Д. А. Ловцова. – М.: ВА им. Петра Великого, 1995. – 412 с.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> *См., например*: Соболева Т. С., Чечкин А. В. Дискретная математика: Учебник / Под ред. А. В. Чечкина. – М.: Изд. центр «Академия», 2006. – 256 с.

# Элементы уязвимости ГНСС по параметрам объект-системы «задача КВНО-инструмент решения (АС КВНО)»

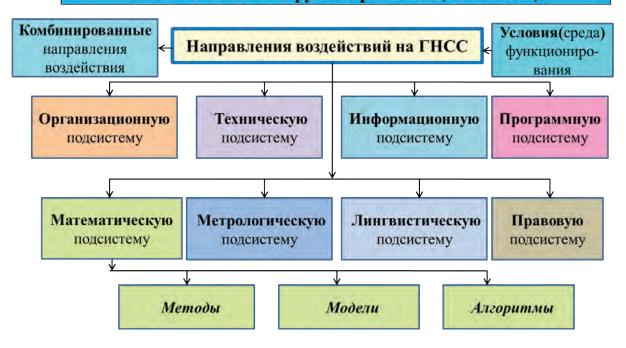


Рис. 9. Элементы уязвимости глобальных навигационных спутниковых систем

# Математическая формулировка обобщенных условий решения навигационной задачи

**Определение 1.** 1. Априори известно, что решение задачи как объект-системы существует и принадлежит **M**°;

2. Для любых  $z_1^o$ ,  $z_2^o \in M^o$  и любого числа  $\varepsilon^o > 0$  существует  $\partial (\varepsilon^o) > 0$ , такое, что из неравенства  $\rho_U(Az_1^o,Az_2^o) < \partial (\varepsilon^o)$  следует неравенство  $\rho_Z(z_1^o,z_2^o) < \varepsilon^o$ , т.е. оператор  $A^{-1}$  непрерывен на образе множества  $M^o$ . Множество  $M^o$  при этом назовем множеством обобщенной устойчивости навигационных определений.

При этом величина  $ho_U(Az_1^o,Az_2^o)$  рассматривается как результат влияния совокупности погрешностей (искажений, деформаций)  $\Xi$ :

 $\Xi = \sum_{k=1}^{N} \xi_k$ 

Причем, N определяется количеством факторов, изменяющих решение (для автоматизированных систем по видам обеспечения N=8).

3. Результат решения и процесс его получения должен удовлетворять допустимым ограничениям вида:  $\left\{\Delta x_i\right\}_j \leq \left\{\Delta x_{i\partial on.}\right\}_j, \left\{\Delta V_i\right\}_j \leq \left\{\Delta V_{\partial on.i}\right\}_j, \left\{\Delta \tau\right\}_j \leq \left\{\Delta \tau_{\partial on.}\right\}_j, \Delta t_{\text{получ. решения.} j} \leq \Delta t_{\partial on.j},$  где  $\left\{\Delta x_i\right\}_j, \left\{\Delta t_i\right\}_j$  - i-ые компоненты отклонений оценки вектора положения и скорости потребителя j-го класса от реальных;

нотребителя ј-го класса от реалоных,  $\left\{\Delta \tau\right\}_i$  - отклонение оценки времени потребителя ј-го класса от системного,

 $\Delta t_{\it nony4.pewehus.j}$  - интервал времени получения решения навигационной задачи потребителем j-го класса;

 $\{\Delta x_{i \wr on.}\}_{j}$  ,  $\{\Delta V_{\wr on.i}\}_{j}$  - допустимые отклонения оценки компонентов вектора положения и скорости потребителя j-го класса,

 $\left\{ \Delta au_{\delta on.} 
ight\}_{j}$  - допустимое отклонение в оценке времени пользователя j-го класса. а параметр  $\Delta t_{\delta on.j}$  задает временные ограничения решения навигационной задачи потребителем j-го класса.

Индекс j характеризует класс потребителя.

Рис. 10. Формулировка обобщенных нестандартных условий решения навигационной задачи

# Классификация воздействий на ГНСС



Рис. 11. Общая классификация деструктивных воздействий различного рода на глобальные навигационные спутниковые системы

При этом общую классификацию воздействий различного рода по областям и причинам деструктивного возникновения воздействий различного рода, характеру их действия, объектам воздействия, а также с учетом подсистем инструментария решения навигационной задачи можно представить в виде концептуальной схемы (рис. 11).

Для снижения уязвимости ГНСС используются различные методы и способы.

На этапе *обоснования требований* к элементам системы и их проектированию можно выделить следующие основные эффективные научно-организационные и методические мероприятия:

- модернизация орбитальной группировки и альманаха системы;
- разработка требований и принятие специальных мер повышения помехоустойчивости аппаратуры потребителя и элементов комплексов ГНСС;
- обязательная сертификация навигационной аппаратуры на соответствие этим требованиям для критичных областей применения;
- исследования «чувствительности» к уязвимости отдельных подсистем (элементов) навигационной системы;
- разработка методов (методик, моделей, алгоритмов) навигационного обеспечения, позволяющих находить наилучшие решения навигационной задачи в

аппаратуре потребителя при заданных условиях обстановки.

На этапе функционирования системы навигационного обеспечения могут быть проведены следующие организационно-технические мероприятия:

- обучение персонала критичных применений правилам обнаружения неверного функционирования навигационной аппаратуры потребителей и порядку использования запасных систем и эксплуатационных процедур;
- своевременное информирование заинтересованных служб критичных применений о фактах обнаружения помех;
- жесткое регулирование соблюдения установленных норм на радиоизлучения, представляющие потенциальную помеховую опасность для сигналов ГНСС;

использование дублирующих (запасных) систем и эксплуатационных процедур;

применение вариантов увеличения мощности сигналов, излучаемых навигационными КА, а также использование дополнительных сигналов (L2, L3).

#### Заключение

Системный подход к реализации гарантированного координатно-временного и навигационного обеспечения потребителя с помощью глобальных нави-

# Информационные и автоматизированные системы и сети

гационных спутниковых систем позволяет структурировать меры достижения указанной цели и выделить ключевые элементы реализующего инструментария. Предложенный подход вносит существенную новизну в традиционную схему переработки поступающих данных в навигационной аппаратуре потребителя, что дает возможность значительно улучшить качество решения функциональных задач наземно-космической связи и передачи данных через спутникиретрансляторы, а также целевых задач в подсистемах

крупномасштабных информационно-аналитических систем типа ГАС РФ «Правосудие», «Выборы», «Управление» и др.

Особая роль при этом принадлежит идее введения в рассмотрение объект-системы «задача – инструмент решения», позволяющей учесть погрешности всех элементов инструмента навигации. В качестве такого инструмента служит автоматизированная система координатно-временного и навигационного обеспечения с соответствующими подсистемами.

Рецензент: **Сухов Андрей Владимирович,** профессор, доктор технических наук, профессор кафедры радиоэлектроники, телекоммуникаций и нанотехнологий Московского авиационного института (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия. E-mail: avs57@mail.ru

# Литература

- 1. Андреев Г. И., Летунов В. В., Андреева Д. В. Эффективная спутниковая телесигнализация в подсистеме безопасности ГАС РФ «Правосудие» // Правовая информатика. 2018. № 3. С. 23 27. DOI: 10.21681/1994-1404-2017-1-23-27.
- 2. Бетанов В. В., Ступак Г. Г., Ревнивых С. Г., Игнатович Е. И., Куршин В. В., Панов С. С., Бондарев Н. З., Чеботарев В. Е., Балашова Н. Н., Сердюков А. И., Синцова Л. Н. Исследование вариантов совершенствования структуры орбитальной группировки ГНСС ГЛОНАСС до 2020 г. и далее до 30 КА // Вестник СибГАУ им. М. Ф. Решетнева. 2013. № 6 (52). С. 23 31.
- 3. Дворкин В. В., Карутин С. Н. Высокоточные навигационные определения по сигналам ГНСС // Вестник СибГАУ им. М. Ф. Решетнева. 2013. № 6 (52). С. 70 76.
- 4. Дворкин В. В., Карутин С. Н., Куршин В. В. Методика мониторинга глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС с помощью системы дифференциальной коррекции и мониторинга // Измерительная техника. 2012. № 3. С. 32 37.
- 5. Канушкин С. В. Синергетический подход в управлении группой беспилотных летательных аппаратов интеллектуальной системы охранного мониторинга // Правовая информатика. 2018. № 3. С. 25 37. DOI: 10.21681/1994-1404-2018-3-25-37.
- 6. Ловцов Д. А. Информационная теория эргасистем: Тезаурус. М.: Наука, 2005. 248 с. ISBN 5-02-033779-X.
- 7. Ловцов Д. А. Определение информационных условий наблюдаемости и управляемости космических аппаратов // Труды Всеросс. конф. с междунар. участием «Современные проблемы теоретической астрономии» в 3-х т. Т. 3 / РАН, Ин-т теор. астрон. СПб.: ИТА РАН, 1994. С. 61 62.
- 8. Ловцов Д. А., Андреев Г. И. Прецизионное прогнозирование движения техногенных объектов в околоземном космическом пространстве // Информация и космос. 2015. № 2. С. 103 110.
- 9. Ловцов Д. А., Карпов Д. С. Динамическое планирование навигационных определений объектов ракетно-космической техники в АСУ лётными испытаниями // Вестник НПО им. С. А. Лавочкина. 2010. –№ 1. С. 53 60.
- 10. Ловцов Д. А., Лобан А. В. Новая эффективная технология распределенной пере-работки измерительной информации в АСУ космическими аппаратами // Вестник НПО им. С. А. Лавочкина. 2014. № 4. С. 81 88.
- 11. Ловцов Д. А., Панюков И. И. Информационная технология автома-тизированного планирования определения навигационных параметров объектов ракетной техники // Автоматика и телемеханика. 1995. № 12. С. 32 46.
- 12. Ловцов Д. А., Чернов В. В. Оптимизация бортового антенного комплекса объекта испытаний при обмене телеметрической информацией через спутник-ретранслятор // Вестник НПО им. С. А. Лавочкина. 2019. № 3. С. 64 73. DOI: 10.26162/LS.2019.45.3.009.
- 13. Ловцов Д. А., Шевляков А. С. Информационно-математическое обеспечение оперативной радиационной защиты космических аппаратов специального назначения // Вестник НПО им. С. А. Лавочкина. 2017. № 4. С. 96 101.
- 14. Потюпкин А. Ю., Чечкин А. В. Интеллектуализация сложных технических си-стем: Монография. М.: ВА им. Петра Великого, 2013. 208 с.
- 15. Современные и перспективные информационные ГНСС-технологии в задачах высокоточной навигации / Под ред. В. А. Бартенева, М. Н. Красильщикова. М.: Физматлит, 2014. 192 с.
- 16. Тюлин А. Е., Бетанов В. В. Летные испытания космических объектов. Определение и анализ движения по экспериментальным данным // Под ред. А. Е. Тюлина. М.: Радиотехника, 2016. 336 с. ISBN 978-5-93108-125-0.

# Гарантированное координатно-временное и навигационное обеспечение...

- 17. Тюлин А. Е., Бетанов В. В., Кобзарь А. А. Навигационно-баллистическое обеспечение полета ракетно-космических средств. Кн. 1. Методы, модели и алгоритмы оценивания параметров движения: Монография. М.: Радиотехника, 2018. 479 с. ISBN 978-5-93108-168-7.
- 18. Тюлин А. Е., Бетанов В. В., Юрасов В. С., Стрельников С. В. Навигационно-баллистическое обеспечение полета ракетно-космических средств. Кн. 2. Системный анализ НБО: Монография. М.: Радиотехника, 2018. 486 с. ISBN 978-5-93108-176-2.
- 19. Тюлин А. Е., Бетанов В. В., Яшин В. Г. Орбитальные сегменты космических систем пространственно-временного обеспечения. Часть І. Орбитальное движение, маневры и методы определения параметров орбит космических аппаратов / Под ред. А. Е. Тюлина. М.: Инновационное машиностроение, 2020. 336 с.
- 20. Чечкин А. В. Математическая информатика. М.: Наука, 1991. 416 с.

# GUARANTEED COORDINATE-TIME AND NAVIGATION SUPPORT FOR CONSUMERS OF SATELLITE SYSTEM INFORMATION

**Andrey Tyulin,** Dr.Sc. (Economy), Ph.D. (Technology), Corresponding Member of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences, Director General of AO (JSC) "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation.

E-mail: contact@spacecorp.ru

**Vladimir Betanov**, Dr.Sc. (Technology), Professor, Member-correspondent of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences, Deputy Head of the Centre AO (JSC) "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation.

E-mail: vlavab@mail.ru

**Keywords:** global navigation satellite systems, coordinate-time support, navigation support, navigation services, availability of the navigation service, continuity, integrity, object-system «task-solution tool», accuracy, operativeness, consumers

#### Abstract.

**Purpose of the article:** improving of scientific and methodical base of the theory of the guaranteed coordinate-time and navigation support.

**Method used:** system analysis of the guaranteed coordinate-time and navigation support through a global navigation satellite systems.

Results: it's shown that the conclusions and classifications obtained on the basis of system analysis make it possible to structure measures to achieve the stud-ied goal and identify key elements of the tools that implementation solutions; the proposed approach introduced a significant novelty to the traditional scheme of processing incoming information in the consumer's navigation equipment, which makes the quality of solving target tasks in the subsystems of large-scale infor-mation and analytical systems such as GUS of the Russian Federation «Justice», «Elecions», «Control»; a special role in this case belongs to the idea of introduction to the review object-system «task-solution tool», which allows us to take into account the errors of all elements of the navigation tools; an automated system of coordinate-time and navigation support acts as such a tool.

#### References

- 1. Andreev G. I., Letunov V. V., Andreeva D. V. E`ffektivnaia sputneykovaia telesignalizatciia v podsisteme bezopasnosti GAS RF «Pravosudie» // Pravovaia informatika. 2018. № 3. S. 23 27. DOI: 10.21681/1994-1404-2017-1-23-27.
- 2. Betanov V. V., Stupak G. G., Revnivy`kh S. G., Ignatovich E. I., Kurshin V. V., Panov S. S., Bondarev N. Z., Chebotarev V. E., Balashova N. N., Serdiukov A. I., Sintcova L. N. Issledovanie variantov sovershenstvovaniia struktury` orbital`noi` gruppirovki GNSS GLONASS do 2020 g. i dalee do 30 KA // Vestneyk SibGAU im. M. F. Reshetneva. 2013. № 6 (52). S. 23 31.
- 3. Dvorkin V. V., Karutin S. N. Vy`sokotochny`e navigatcionny`e opredeleniia po signalam GNSS // Vestneyk SibGAU im. M. F. Reshetneva. 2013. № 6 (52). S. 70 76.
- 4. Dvorkin V. V., Karutin S. N., Kurshin V. V. Metodika monitoringa global`noi` navigatcionnoi` sputneykovoi` sistemy` GLONASS s pomoshch`iu sistemy` differentcial`noi` korrektcii i monitoringa // Izmeritel`naia tekhnika. 2012. № 3. S. 32 37.

## Информационные и автоматизированные системы и сети

- 5. Kanushkin S. V. Sinergeticheskii` podhod v upravlenii gruppoi` bespilotny`kh letatel`ny`kh apparatov intellektual`noi` sistemy` okhrannogo monitoringa // Pravovaia informatika. 2018. № 3. S. 25 37. DOI: 10.21681/1994-1404-2018-3-25-37.
- 6. Lovtcov D. A. Informatcionnaia teoriia e`rgasistem: Tezaurus. M.: Nauka, 2005. 248 c. ISBN 5-02-033779-X.
- 7. Lovtcov D. A. Opredelenie informatcionny`kh uslovii` nabliudaemosti i upravliaemosti kosmicheskikh apparatov // Trudy` Vseross. konf. s mezhdunar. uchastiem «Sovremenny`e problemy` teoreticheskoi` astronomii» v 3-kh t. T. 3 / RAN, In-t teor. astron. SPb.: ITA RAN, 1994. S. 61 62.
- 8. Lovtcov D. A., Andreev G. I. Pretcizionnoe prognozirovanie dvizheniia tekhnogenny`kh ob``ektov v okolozemnom kosmicheskom prostranstve // Informatciia i kosmos. 2015. № 2. S. 103 110.
- 9. Lovtcov D. A., Karpov D. S. Dinahmicheskoe planirovanie navigatcionny`kh opredelenii` ob``ektov raketno-kosmicheskoi` tekhniki v ASU lyotny`mi ispy`taniiami // Vestneyk NPO im. S. A. Lavochkina. 2010. − № 1. S. 53 − 60.
- 10. Lovtcov D. A., Loban A. V. Novaia e`ffektivnaia tekhnologiia raspredelennoi` pererabotki izmeritel`noi` informatcii v ASU kosmicheskimi apparatami // Vestneyk NPO im. S. A. Lavochkina. 2014. № 4. S. 81 88.
- 11. Lovtcov D. A., Paniukov I. I. Informatcionnaia tekhnologiia avtoma-tizirovannogo planirovaniia opredeleniia navigatcionny`kh parametrov ob``ektov raketnoi` tekhniki // Avtomatika i telemehanika. 1995. № 12. S. 32 46.
- 12. Lovtcov D. A., Chernov V. V. Optimizatciia bortovogo antennogo kompleksa ob``ekta ispy`tanii` pri obmene telemetricheskoi` informatciei` cherez sputneyk-retransliator // Vestneyk NPO im. S. A. Lavochkina. 2019. № 3. S. 64 73. DOI: 10.26162/LS.2019.45.3.009.
- 13. Lovtcov D. A., Shevliakov A. S. Informatcionno-matematicheskoe obespechenie operativnoi` radiatcionnoi` zashchity` kosmicheskikh apparatov spetcial`nogo naznacheniia // Vestneyk NPO im. S. A. Lavochkina. 2017. № 4. S. 96 101.
- 14. Potiupkin A. lu., Chechkin A. V. Intellektualizatciia slozhny`kh tekhnicheskikh sistem: Monografiia. M.: VA im. Petra Velikogo, 2013. 208 s.
- 15. Sovremenny`e i perspektivny`e informatcionny`e GNSS-tekhnologii v zadachakh vy`sokotochnoi` navigatcii / Pod red. V. A. Barteneva, M. N. Krasil`shchikova. M.: Fizmatlit, 2014. 192 s.
- 16. Tyulin A. E., Betanov V. V. Letny'e ispy'taniia kosmicheskikh ob''ektov. Opredelenie i analiz dvizheniia po e'ksperimental'ny'm danny'm // Pod red. A. E. Tyulina. M.: Radiotekhnika, 2016. 336 s. ISBN 978-5-93108-125-0.
- 17. Tyulin A. E., Betanov V. V., Kobzar` A. A. Navigatcionno-ballisticheskoe obespechenie poleta raketno-kosmicheskikh sredstv. Kn. 1. Metody`, modeli i algoritmy` ocenivaniia parametrov dvizheniia: Monografiia. M.: Radiotekhnika, 2018. 479 s. ISBN 978-5-93108-168-7.
- 18. Tyulin A. E., Betanov V. V., Iurasov V. S., Strel`nikov S. V. Navigatcionno-ballisticheskoe obespechenie poleta raketno-kosmicheskikh sredstv. Kn. 2. Sistemny`i` analiz NBO: Monografiia. M.: Radiotekhnika, 2018. 486 s. ISBN 978-5-93108-
- 19. Tyulin A. E., Betanov V. V., lashin V. G. Orbital`ny`e segmenty` kosmicheskikh sistem prostranstvenno-vremennogo obespecheniia. Chast` I. Orbital`noe dvizhenie, manevry` i metody` opredeleniia parametrov orbit kosmicheskikh apparatov / Pod red. A. E. Tyulina. M.: Innovatcionnoe mashinostroenie, 2020. 336 s.
- 20. Chechkin A. V. Matematicheskaia informatika. M.: Nauka, 1991. 416 s.