

УДК 621.371

А. В. Дегтярев¹, А. Л. Макаров¹, С. А. Матвиенко¹, А. В. Прокопов², В. Н. Романько³

¹ Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне», Дніпропетровськ, e-mail: info@yuzhnoye.com

² Національний університет цивільного захисту України, Харків, e-mail: alexvas49@mail.ru

³ Національний науковий центр «Інститут метрології», Харків, e-mail: sc2@metrology.kharkov.ua

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАСШИРЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УКРАИНСКОГО ГЕОСТАЦИОНАРНОГО СПУТНИКА СВЯЗИ

Розглянуто доцільність розширення функцій українського геостационарного супутника зв'язку з метою реалізації радіофізичного методу вимірювань параметрів гравітаційного поля Землі та удосконалення системи координатно-часового забезпечення країни. При цьому планується використання космічного апарата типу EGNOS як функціональне доповнення для поширення диференціальних поправок до сигналів глобальних навігаційних супутникових систем («Galileo», GPS, ГЛОНАСС), а також як елемент високоточної синхронізації віддаленого еталонного годинника.

ВВЕДЕНИЕ

С начала 1990-х гг. ГП «КБ «Южное» активно участвует в проектах создания геостационарного спутника связи (ГССС), который сначала носил название «Гороскоп», а сейчас «Либідь». На спутник связи был выпущен эскизный проект и разработана конструкторская документация. В настоящее время спутник находится на стадии изготовления, его запуск планируется в середине 2013 г. С учетом высокой стоимости спутника связи (порядка 200—300 млн евро) представляется целесообразным рассмотреть возможность более широкого функционального использования ГССС «Либідь» и возложить на него решение целого ряда как ранее известных, так и вновь формулируемых специальных задач.

Следует заметить, что начиная с 1998 г. Украина в рамках Общегосударственной (Национальной) космической программы целеустремленно приближается к участию в европейских проектах, среди которых самым приоритетным является проект глобальной навигационной спутниковой

системы (ГНСС) «Галилео». Одним из этапов создания ГНСС «Галилео» является проект создания европейской геостационарной службы навигационного покрытия EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), которая предполагает использование трех геостационарных спутников связи для ретрансляции на территорию стран ЕС навигационного сигнала [13, 17]. EGNOS введена в эксплуатацию в 2009 г. В настоящее время Украина продолжает сотрудничать с ЕС в области навигации в рамках проекта ускорения украинско-европейского сотрудничества в космической сфере, первый семинар которого состоялся в Киеве 4—5 февраля 2009 г., а второй — в Евпатории 22—25 сентября 2009 г. На наш взгляд, расширение группировки ГССС службы EGNOS за счет ГССС «Либідь» приведет к увеличению числа потребителей навигационной информации и будет способствовать дальнейшему развитию проекта.

Другой интересной задачей, решение которой возможно с помощью ГССС, является реализация метода сличения наземных часов с использованием сигналов, переизлучаемых геостационарными спутниками, позволяющего на больших расстояниях сличать первичные стандарты

частоты при неопределенности 10^{-15} за сутки. Необходимо отметить лидирующие позиции в области создания спутниковых систем единого времени Национального института информационных и коммуникационных технологий (НИСТ, Япония), где уже созданы оптические и цезиевые стандарты частоты, с относительной стабильностью не хуже 10^{-16} , которые используются для создания и эксплуатации системы точного времени путем установки стандарта частоты на геостационарный спутник связи ETS-8. В настоящее время японская национальная система точного времени связана с европейской РТВ и американской USNO, и таким образом получена замкнутая линия дуплексной синхронизации TWSTFT (Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer) по всему земному шару [14, 16]. В Украине, к сожалению, на сегодняшний день нет национальной системы передачи сигналов единого времени [10].

И наконец, представляет интерес исследовать возможность использования ГССС в качестве базового элемента технической подсистемы мониторинга гравитационного поля Земли, что приобретает особую актуальность в свете последних техногенных событий в Японии. Предпосылками для такого исследования является предложенный одним из авторов настоящей работы радиофизический метод определения характеристик гравитационного поля Земли [6].

Целью настоящей работы является анализ целесообразности расширения функций украинского геостационарного спутника связи с целью реализации радиофизического метода измерения параметров гравитационного поля Земли и совершенствования системы координатно-временного обеспечения страны.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОСТАЦИОНАРНОГО СПУТНИКА СВЯЗИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ

Проведем анализ решений задач мониторинга путем сопоставления возможностей ГССС с возможностями известных ГНСС (GPS, ГЛОНАСС, «Галилео»). В качестве дополнительной функции мониторинга рассматривается контроль гравитационного поля Земли (ГПЗ) с помощью

предложенного недавно радиофизического метода измерения ГПЗ [5, 9], использующего релятивистский эффект смещения частоты электромагнитного сигнала распространяющегося в неоднородном гравитационном поле.

Радиофизический метод измерения гравитационного потенциала базируется на использовании релятивистского эффекта «красное смещение» (смещения частоты электромагнитного сигнала, распространяющегося в неоднородном гравитационном поле).

Основным исходным соотношением в данном случае является известное уравнение теории относительности, связывающее гравитационный потенциал u_0 в точке, где сигнал имеет частоту f_0 , с гравитационным потенциалом u_1 в точке, где частота сигнала равна f_1 [12]:

$$\frac{f_0 - f_1}{f} = \frac{1}{c^2}(u_1 - u_0), \quad (1)$$

где c — скорость света.

Прежде чем перейти к анализу радиофизического метода измерения ГПЗ, оценим величину гравитационного сдвига частоты сигнала с геостационарного спутника связи. В соответствии с (1)

$$\frac{f_0 - f_1}{f_0} = \frac{u_1 - u_0}{c^2} = \frac{\frac{a_{00}}{R_3} - \frac{a_{00}}{R_3 + H}}{c^2} = 5.9085 \cdot 10^{-10},$$

где $a_{00} = 3.986 \cdot 10^5 \text{ км}^3/\text{с}^2$, $R_3 = 6378.136 \text{ км}$, $H = 36400 \text{ км}$, $c = 300000 \text{ км/с}$.

Поскольку в настоящее время в Харьковском ННЦ «Институт метрологии» используется водородный стандарт с относительной погрешностью по частоте до $4 \cdot 10^{-15}$, то технически представляется возможным измерять гравитационное смещение частоты.

Для вывода уравнений измерения радиофизического метода учтем, что в общем случае (с учетом взаимного перемещения источника и приемника сигнала) смещение частоты сигнала определяется известным соотношением теории относительности [13]

$$\frac{f_0 - f_1}{f_0} = \frac{1}{c^2}(u_1 - u_0) + \frac{v^2}{2c^2}, \quad (2)$$

означающим, что сигнал с частотой f_0 , излучае-

мый в точке с гравитационным потенциалом u_0 , приходит в точку с гравитационным потенциалом u_1 с уже измененной частотой f_1 (v — скорость движения источника сигнала относительно приемника).

Таким образом, для сигналов ГНСС смещение частоты вызывают в общем случае два релятивистских эффекта: во-первых, относительное движение источника и приемника сигнала, проявляющееся в виде квадратичного эффекта Доплера, учитываемого последним слагаемым в правой части (2), во-вторых, изменение гравитационного потенциала на пути распространения электромагнитного сигнала, учитываемое первым слагаемым в правой части (2).

Ясно, что для решения интересующей нас обратной задачи — восстановления пространственного профиля гравитационного потенциала по результатам наблюдений смещения частоты — квадратичный эффект Доплера будет мешающим фактором, вклад которого должен быть исключен из результатов измерений. В случае ГНСС («Galileo», GPS, ГЛОНАСС) для такого исключения вместо измерений скорости космических аппаратов (КА) можно воспользоваться передаваемой КА ГНСС эфемеридной информацией (в части параметров скорости КА). В случае КА на геостационарной орбите (ГССС), относительное движение отсутствует, и в уравнении (2) можно просто положить $v = 0$.

Оценим количественно разницу в требованиях к точности измерения релятивистского сдвига частоты, обеспечивающих необходимые характеристики точности восстановления гравитационного потенциала в околоземном космическом пространстве для случаев КА GPS (ГЛОНАСС) и геостационарного КА (далее для краткости — КА ГССС).

Представляя (2) в виде

$$u_1 = u_0 + \frac{f_0 - f_1}{f_0} c^2 - \frac{v^2}{2}$$

и учитывая, что $f_1 \approx f_0 \approx f$, $m_{f_1} \approx m_{f_2} \approx m_f$, получим уравнение погрешности

$$m_{u_1}^2 = m_{u_0}^2 + c^4 \cdot 2 \cdot \frac{m_f^2}{f^2} + v^2 m_v^2. \quad (3)$$

Будем считать, что гравитационный потенциал u_0 в точке, где располагается ИСЗ, известен с погрешностью m_{u_0} , которая дает вклад в уравнение (2), гораздо меньший, чем погрешность измерения частоты m_f . Это вполне оправданно, поскольку для высот порядка 20000—30000 км и более над поверхностью Земли (где и располагаются КА в рассматриваемой нами задаче) достаточно точными оказываются известные модели гравитационного потенциала (например EGM96, EGM2008 [8]). Используя модели [8], будем считать, что при определении u_0 всегда можно выбрать такое количество членов разложения в ряд по полиномам Лежандра в модели геопотенциала, чтобы выполнялось условие

$$m_{u_0}^2 \ll c^4 \cdot 2 \cdot \frac{m_f^2}{f^2},$$

которое позволяет при оценке требований к точности рассматривать упрощенное уравнение

$$m_u^2 = c^4 \cdot 2 \cdot \frac{m_f^2}{f^2} + v^2 m_v^2. \quad (4)$$

Здесь и далее для простоты мы опускаем индекс 1 в обозначении погрешности определения гравитационного потенциала.

Если теперь считать, что

$$v^2 m_v^2 \ll c^4 \cdot 2 \cdot \frac{m_f^2}{f^2} \quad (5)$$

(это справедливо во всех случаях использования ГССС, а также в тех случаях, когда при использовании GPS (ГЛОНАСС) скорость КА определяется достаточно точно), то, пренебрегая последним слагаемым в правой части (4), получаем

$$m_u^2 = c^4 \cdot 2 \cdot \frac{m_f^2}{f^2}. \quad (6)$$

Этот вариант подробно рассмотрен в работе [6].

Таким образом, в своих оценках требований к точности мы можем опираться на результаты [6]. Еще раз подчеркнем, что непосредственно результаты [6] применимы для ГССС, для GPS (ГЛОНАСС) они применимы лишь при выполнении условия (5).

Выясним, как изменятся результаты [6] (т. е., как изменятся требования к точности измерения частоты) в тех случаях, когда необходим учет слу-

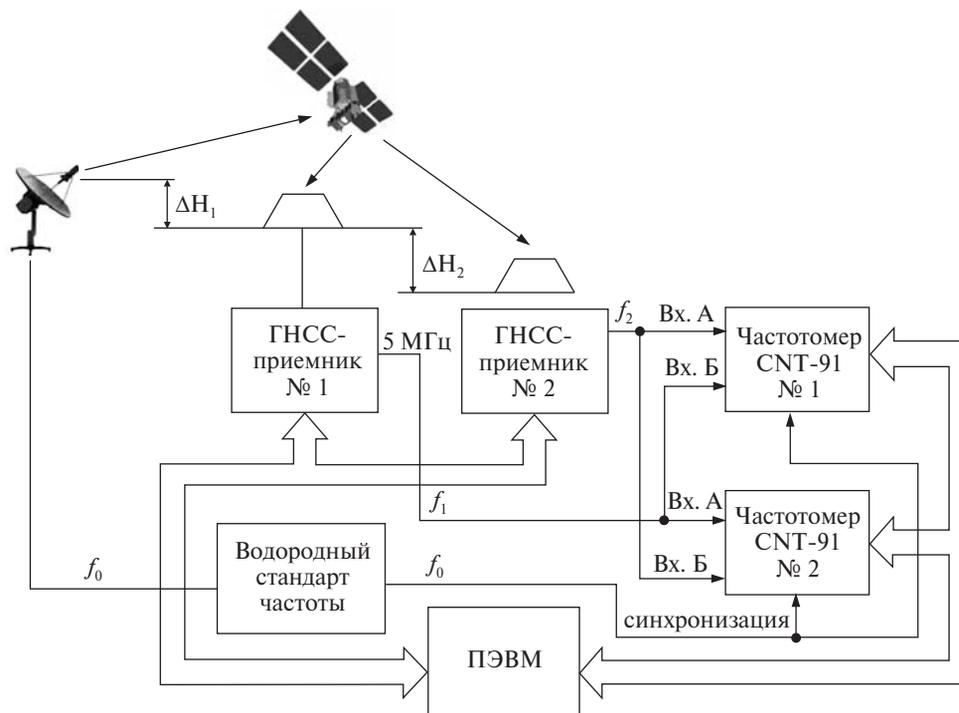


Рис. 1. Структурная схема ПТК «Гравика»

чая $vm_v \neq 0$. Согласно [1, 4] слагаемое vm_v можно выразить через орбитальную v_0 и радиальную v_n составляющие скорости, характеристики которых приведены в названных работах:

$$v = \sqrt{v_0^2 + v_n^2}, \quad v^2 \cdot m_v^2 = v_0^2 \cdot m_{v_0}^2 + v_n^2 \cdot m_{v_n}^2. \quad (7)$$

Для оценки воспользуемся приведенными в работах [1, 2, 4] значениями параметров $v = 3874$ м/с, $v_n = 900$ м/с, $m_{v_0} = 3 \cdot 10^{-4}$ м/с, $m_{v_n} = 2 \cdot 10^{-3}$ м/с, соответствующими по точности эфемеридной информации, поступающей с борта КА ГЛОНАСС при суточном прогнозе. Подставляя приведенные значения в (7), получим оценку вклада неточного определения скорости КА в уравнение (4), определяющее требования к точности измерения частоты: $v^2 \cdot m_v^2 = 4.52$ м⁴/с⁴.

Таким образом, уравнение (4) для GPS (ГЛОНАСС) в условиях, когда для определения скорости КА используется эфемеридная информация с параметрами согласно [4], принимает вид

$$m_u^2 = c^4 \cdot 2 \cdot \frac{m_f^2}{f^2} + 4.52. \quad (8)$$

Данное уравнение имеет решение при $m_u^2 \geq 4.52$. Поэтому вариант с $m_g = 10^{-5}$ м/с², $\Delta x = 100$ км (см. таблицу в работе [6], где для данного варианта $m_u^2 = 0.49$) в рассматриваемом случае, когда для определения скорости ИСЗ используется эфемеридная информация, вообще не реализуется с применением ГНСС. Здесь уместно отметить, что таблица в работе [6] получена для заданных значений m_u , соответствующих определенным значениям m_g , путем расчетов с использованием уравнения (6), т. е. по сути для ГССС. Варианты с другими значениями m_u в данной таблице в принципе могут быть реализованы с применением ГНСС. Но чтобы сделать однозначный вывод об этом и задать необходимые количественные требования к точности, необходимо пересчитать значения m_f / f с использованием уравнения (8). Результаты такого пересчета представлены в таблице,

где для сравнения приведены и табличные данные [6].

Анализ приведенных в таблице требований к погрешности определения частоты сигнала m_f/f при реализации радиофизического метода восстановления профиля гравитационного потенциала с помощью ГНСС показывает, что более перспективным в этом плане является ГССС. Использование ГССС позволяет построить более точные модели гравитационного потенциала при менее жестких, чем в случае ГНСС, требованиях к точности измерения гравитационного смещения частоты. Следует отметить, что и в случае ГНСС можно снизить требования к точности измерения смещения частоты, если обеспечить более точные методы определения скорости движения КА. Этот вопрос, однако, требует специального рассмотрения.

Результаты теоретического анализа были подтверждены экспериментом с программно-техническим комплексом «Гравика», созданным с использованием высокоточных средств измерительной техники, входящих в состав ГПЭ единиц времени-частоты Украины.

На рис. 1 изображена структурная схема программно-технического комплекса (ПТК) «Гравика», предназначенного для определения ускорения свободного падения радиофизическим методом путем дифференциальных измерений.

Результаты одной из сессий экспериментальных наблюдений представлены на рис. 2.

Для определения систематических погрешностей измерительных приборов частотомеры были подключены перекрестным образом. Для уменьшения влияния на результат погрешностей дальномерных измерений и инструментальных погрешностей, имеющих в основном случайный характер, было проведено обесшумливание данных с помощью прямого вейвлет-преобразования (вейвлет db4, 12 уровней декомпозиции), пороговой обработки вейвлет-коэффициентов и дальнейшего восстановления сигнала [3]. После этого построена линия тренда. Значение коэффициента при линейном члене уравнения линии тренда и дает нам величину гравитационного смещения частоты, полученную в результате проведения эксперимента. Принятые меры поз-

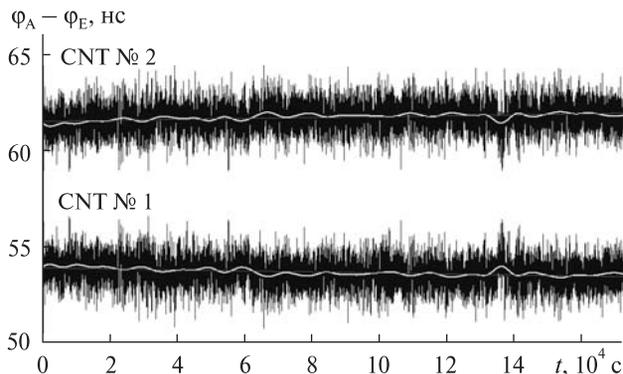


Рис. 2. Разность фаз сигналов с частотой 5 МГц на выходе опорных генераторов приемников FlaxPak при подключении двух частотомеров CNT-91 при разности высот размещения антенн $\Delta H = 7.905$ м на интервале времени измерения двое суток. По записям получены тренды: $\Delta\varphi = -8.73 \cdot 10^{-7}t + 53.9$ нс для CNT № 1 и $\Delta\varphi = 9.039 \cdot 10^{-7}t + 61.52$ нс для CNT № 2

Количественные требования к точности расчетов

m_g , 10^{-5} М/с ²	Δx , км	m_{a0} , М ² /с ²	m_f/f , 10^{-16} (ГССС по данным [6])	m_f/f , 10^{-16} (ГНСС, расчет по формуле (8))
1	100	0.7	0.055	—
	400	2.8	0.22	0.14
5	100	3.5	0.28	0.22
	400	14.0	1.1	1.1
10	100	7.0	0.56	0.53
	400	28.0	2.2	2.2
100	100	70.0	5.6	5.6
	400	280.0	22.0	22.0

воляют утверждать, что ускорение свободного падения на поверхности Земли с помощью двух ГНСС-приемников, имеющих специальный частотный выход, может измеряться на базе 10 м с точностью до 10^{-3} м/с² [7, 11].

В целом проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что для использования ГНСС с целью организации мониторинга гравитационного поля Земли с требуемой точностью измерений (с погрешностью на уровне $(1...2) \times 10^{-5}$ м/с²), необходимо обеспечить относитель-

ную погрешность измерения частоты сигнала ГНСС на уровне $(1...2) \cdot 10^{-17}$.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОСТАЦИОНАРНОГО СПУТНИКА СВЯЗИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ВРЕМЯ-ЧАСТОТНЫХ ЗАДАЧ

Активное развитие ракетно-космической отрасли, наземных и космических телекоммуникационных и радионавигационных систем, решение различных научных и практических задач требует постоянного совершенствования время-частотного обеспечения. Следует отметить, что за последние 50 лет относительная погрешность первичных эталонов уменьшилась с 10^{-10} до 10^{-15} , то есть точность возросла в среднем на порядок каждые 10 лет. Национальные метрологические институты США, Германии, Франции, имеющие в настоящее время эталоны с использованием «цезиевых фонтанов», ведут работы по созданию оптических эталонов частоты и эталонов частоты на основе «плененных» ионов. Проведенные исследования показывают возможность достижения относительных погрешностей частоты $10^{-17}...10^{-18}$ [<http://fsm.jpl.nasa.gov/abstracts.htm>].

Необходимость повышения точности воспроизведения шкал времени и частоты эталонами перманентных станций мониторинга гравитационного поля радиофизическим методом неизбежно требует улучшения качества работы систем синхронизации шкал потребителей время-частотной информации.

На сегодняшний день активный способ двухсторонней связи через ретранслятор ГССС в режиме фазовых измерений обеспечивает самую высокую точность синхронизации удаленных эталонов. Активный способ предполагает наличие приемопередающей аппаратуры как в синхронизирующем (ведущем), так и в синхронизируемых (ведомых) пунктах и двухсторонний (дуплексный) обмен по каналам связи между ведущим и ведомыми пунктами. При этом важна взаимность приемного и передающего каналов либо знание разности задержки в режиме приема и передачи сигнала.

Метод сличения при помощи двусторонней передачи является по существу разностным и

позволяет избежать неопределенностей точных координат часов, определения траекторий распространения сигналов и учета задержек в тропосфере и ионосфере. Этот метод позволяет на больших расстояниях сличать стандарты частоты при неопределенности 10^{-15} за сутки [14, 16]. По соглашению частоты сличаются на определенных интервалах времени в геоцентрической системе координат. Точность сличений возрастает при увеличении интервала до нескольких суток, а при постоянном мониторинге можно достичь точностей, заявленных в первой части работы.

Как правило, при использовании группировок ГССС для целей время-частотной синхронизации делается акцент на следующих достоинствах этих систем для обеспечения высокоточного сличения шкал времени и частоты [15]:

а) геостационарные спутники всегда находятся в поле радиовидимости, что дает возможность постоянно следить за фазой сигнала и использовать преимущества фазовых измерений;

б) при работе с сигналами геостационарных спутников можно использовать направленные антенны с высоким коэффициентом усиления, в результате чего увеличивается выигрыш в отношении сигнал/шум, и следовательно, снижается погрешность измерений;

в) сигналы геостационарных спутников генерируются и контролируются сетью на основе приемников GPS с применением современных стандартов частоты, что обеспечивает высокую стабильность сигналов;

г) в зоне покрытия геостационарных КА можно с применением ионосферной модели использовать оценки задержек сигналов в режиме реального времени и достичь необходимого уровня точности для одночастотных измерений.

Для учета влияния гравитации на частоту принятых сигналов необходимо знать высоту места, где находятся часы, над поверхностью геоида. Чтобы сличить расположенные в разных местах стандарты частоты с нестабильностью 10^{-16} , необходимо знать высоту до долей метра, сличение на уровне 10^{-18} требует знания высот до 1 см, что вполне достижимо с помощью ГНСС «Galileo», если на борту навигационных спутников будут стоять водородные генераторы. Проведенные

оценки показывают возможность измерять возмущения, которые испытывает геоид, вызванные приливными колебаниями земной коры, океаническими приливами и течениями, барическими колебаниями уровня моря, сезонными перераспределениями водных и воздушных масс и долговременными процессами таяния ледников и тектонического движения плит. Однако следует заметить, что повышение точности выше определенного уровня переводит проблему хранения времени в разряд нерешаемых, поскольку сличению таких часов препятствует нестабильность геоида.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования достаточно обосновано показывают возможные направления функционального дополнения сфер применения украинского ГССС «Либідь»:

- расширение группировки ГССС-службы EGNOS, что приведет к увеличению числа потребителей навигационной информации и будет способствовать дальнейшему развитию этого проекта;

- использование в качестве базового элемента ретрансляции эталонных сигналов технической подсистемы мониторинга гравитационного поля Земли радиофизическим методом, что позволит измерять возмущения испытываемые геоидом с достаточной для их идентификации точностью;

- обеспечение высокоточного сличения шкал времени и частоты эталонных средств измерительной техники, что является необходимым условием активного развития ракетно-космической отрасли, наземных и космических телекоммуникационных и радионавигационных систем, решения различных научных и практических задач.

1. Бакитько Р. В., Болденков Е. Н., Булавский Н. Т. и др. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова. — М.: Радиотехника, 2010. — 800 с.
2. Гофман-Велленгоф Б., Лихтенеггер Г., Коллинз Д. Глобальная система визначення місцеположень (GPS). Теорія і практика / Пер. з англ. за ред. акад. НАН України Я. С. Яцківа. — Київ: Наук. думка, 1996. — 380 с.

3. Дьяконов В. П. Вейвлеты. От теории к практике Изд-е 2-е, дополненное и переработанное. — М.: СОЛОН-Пресс, 2004. — 400 с.
4. ИКД ГЛОНАСС. Редакция 5.0. — М.: КНИЦ, 2002. — 57 с.
5. Матвиенко С. А. Система измерения гравитационного поля Земли на базе навигационных спутниковых систем // Космич. техника. Ракетное вооружение: Сб. науч.-техн. ст. — Днепропетровск: ГП «КБ «Южное», 2008. — Вып. 1 — С. 65—80.
6. Матвиенко С. А., Прокопов А. В., Романько В. Н. К теории радиофизического метода определения гравитационного потенциала Земли // Укр. метрологічний журн. — 2009. — № 1. — С. 6—10.
7. Матвиенко С., Сидоренко Г., Романько В. и др. Радиофизический метод измерения параметров гравитационного поля космических тел // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. праць. — Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2011. — Вип. 1 (21). — С. 91—96.
8. Назаренко А. И. Погрешности прогнозирования движения спутников в гравитационном поле Земли / Под ред. Р. Р. Назирова. — М.: ИКИ РАН, 2010. — 226 с. — (Сер. Механика, управление и информатика).
9. Пат. № 84704 Україна, МПК 7: G 01 S 5/14. Супутникова радіонавігаційна система / Матвиенко С. А. — Заявл. 19.12.2005; Опубл. 25.11.2008.
10. Романько В. М. Принципи побудови відомчої служби часу // Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія—2008): Наук. праці 6-ї Міжнар. наук.-техн. конф. — Х.: ННЦ «Інститут метрології», 2008. — Т. 1. — С. 126—129.
11. Сидоренко Г. С., Романько В. Н., Матвиенко С. А., Прокопов А. В. Радиофизический метод измерений ускорения свободного падения с использованием эффекта гравитационного смещения частоты сигналов глобальных навигационных спутниковых систем // Укр. метрологічний журн. — 2010. — Вип. 4. — С. 3—11.
12. Ashby N. Relativity in the Global Positioning System // Living Rev. Relativity. — 2003.— 6.— P.1—45.
13. Basker S., Solari G., Ventura-Traveset J., Motefusco C. The Transition from ESTB to EGNOS: Managing User Expectation // GNSS 2003: The European Navigation Conference, 22 — 25 April 2003, Austria. — Graz, 2003.
14. Bauch A., Achkar J., Bize S. Comparison between frequency standards in Europe and the USA at the 10^{-15} uncertainty level // Metrologia. — 2006. — 43. — P. 109—120.
15. Fenton P., Powers E., Klepczynski B. Capabilities of the WAAS and EGNOS using high gain antennas for time distribution and frequency transfer // Proceedings of the 14th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation ION GPS 2001, Sep-

- tember 11–14, 2001. — Salt Lake City, 2001. — P. 2214–2219.
16. *Schafer W., Pawlitzki A., Kuhn T.* New trends in two-way time and frequency transfer via satellite // Proceedings of the 31st Annual Precise Time and Time Interval (PTTI) Systems and Applications Meeting, 7–9 December 1999 / Ed. by L. E. Breakiron. — Dana Point: USNO, 1999. — 670 p.
17. *Ventura-Traveset J., Michel P., Gauthier L.* Architecture, mission and signal processing aspects of the EGNOS system: the first European Implementation of GNSS // Seventh International Workshop on Digital Signal Processing Techniques for Space Communications: DSP 2001, Sesimbra, Portugal, 1–3 October 2001.

Надійшла до редакції 01.10.11

*A. V. Degtyarev, A. L. Makarov, S. A. Matvienko,
A. V. Prokopov, V. N. Romanko*

AN ANALYSIS OF THE OUTLOOK FOR WIDENING FUNCTIONAL CAPABILITIES OF THE UKRAINIAN GEOSTATIONARY COMMUNICATION SATELLITE

We consider the possibility to enhance the functions of the Ukrainian geostationary communication satellite to realize the radiophysical method of measuring the Earth's gravitational field parameters and improving the system of position and time determination. It is planned to use an EGNOS-type spacecraft as a functional adjunct to the spread of differential corrections in signals of the global navigational satellite systems (Galileo, GPS, GLONASS) and also as an element of high-precision synchronization of remote reference clock.