

УДК 621.396

Концепция создания системы навигационного обеспечения Украины

А. П. Верещак¹, В. В. Пискорж¹, А. А. Жалило¹,
В. А. Литвинов², К. Ф. Волох²

¹Науково-дослідний інститут радіовимірювань, Харків

²Національне космічне агентство України, Київ

Надійшла до редакції 28.04.98

Представлена концепция построения национальной системы координатно-временного обеспечения по сигналам спутниковых радионавигационных систем GPS и ГЛОНАСС. Определен круг задач, приоритетные направления развития и рынок услуг системы. Приведено обоснование выбора принципа построения и ожидаемые характеристики системы навигационного обеспечения Украины.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Радионавигационная и время-частотная техника обеспечивает решение множества насущных народнохозяйственных, оборонных и научных задач. Ее созданию уделяется большое внимание во всех развитых странах. Однако имеющиеся в настоящее время в Украине средства навигации и единого времени морально и физически устарели и не удовлетворяют возросшим требованиям потребителей.

В настоящее время специалисты активно обсуждают пути реализации навигационного обеспечения гражданских и военных потребителей Украины. Некоторые из результатов этих обсуждений нашли свое отражение в предложениях ряда организаций Минпромполитики Украины. В соответствии с этими предложениями перспективное навигационное обеспечение, удовлетворяющее запросам всех потребителей Украины, целесообразно базировать на использовании глобальных навигационных полей, создаваемых среднеорбитальными спутниковыми радионавигационными системами (СРНС) GPS и ГЛОНАСС.

Вместе с тем при таком подходе качество навигационного обеспечения большинства потребителей

ставится в определенную зависимость от политики военных ведомств США и России, которые развернули и контролируют СРНС GPS и ГЛОНАСС и определяют политику их использования. В частности, в системе GPS реализован режим селективного доступа (СД), ограничивающий точность навигационных определений величиной около 100 м. Определенные трудности возникают также при совместном использовании навигационных полей СРНС GPS и ГЛОНАСС из-за того, что эфемеридное обеспечение этих систем базируется на различных и, строго говоря, не связанных системах координат, а временное обеспечение — на различных шкалах системного времени [4]. Существует также проблема надежности навигационного обеспечения, состоящая в том, что в случае отказа навигационного спутника информация об этом поступает к потребителю с большим запаздыванием (до нескольких часов).

Поэтому международное и, в первую очередь, Европейское Сообщество выработали стратегический курс на создание международной гражданской глобальной навигационной спутниковой системы — GNSS, которая войдет в эксплуатацию после 2000 г. и будет контролироваться гражданскими структурами [2, 3]. Основой GNSS на первом этапе

остаются СРНС GPS и ГЛОНАСС, но для повышения надежности и точности навигационных определений, а также для снижения зависимости потребителей от возможных санкций стран-владельцев действующих СРНС система GNSS дополняется собственными космическими средствами в виде нескольких КА на геостационарной орбите INMARSAT-3, а также наземной дифференциальной подсистемой — сетью контрольных станций (КС) — для орбитографии, формирования дифференциальных поправок и сигналов целостности СРНС GPS и ГЛОНАСС и собственного космического дополнения.

Первый этап создания системы GNSS-1 реализуется в настоящее время в рамках европейской программы EGNOS, американской программы WAAS и дальневосточной программы MSAS [1].

Учитывая складывающиеся в мире благоприятные для Украины условия сотрудничества, проблеме навигационного обеспечения в Украине необходимо решать с учетом мирового опыта и возможной интеграции национальной системы навигационного обеспечения (СНО) в европейскую и мировую структуры. Поэтому система навигационного обеспечения Украины видится в будущем как составная часть международной глобальной навигационной спутниковой системы — GNSS, а на первом этапе своего развития — как дополнение к GNSS-1. При этом СНО Украины будет, с одной стороны, входить в мировую сеть GNSS, а с другой — выполнять функции автономной, национальной дифференциальной подсистемы.

ЗАДАЧИ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Система навигационного обеспечения Украины предназначена для решения важнейших народнохозяйственных, научных и оборонных задач, главными из которых являются:

- обеспечение навигационными данными самолетов гражданской авиации и ВВС на маршруте, при заходе на посадку, при инструментальной посадке;
- навигация судов морского и речного флота, кораблей ВМС вдали и вблизи берегов и портов, проводка судов и кораблей в гаванях, каналах и фарватерах;
- определение местоположения и скорости наземного (железнодорожного, автомобильного) транспорта;
- навигация КА различного назначения, траекторные и орбитальные измерения;

навигация образцов вооружения и военной техники, входящих в состав Вооруженных сил Украины;

координатное обеспечение строительства дорог и инженерных сооружений, добычи полезных ископаемых на шельфе, мониторинг подвижек мостов, плотин и других промышленных сооружений в процессе их эксплуатации;

геодезическая привязка объектов, картография, демаркация границ, сейсмосъемка, кадастровая съемка, проведение работ по привязке государственной геодезической сети (ГГС) к глобальной системе координат WGS-84 и европейской сети EUREF;

синхронизация, контроль и метрологическое обеспечение средств и приборов системы единого времени (UTC(UA)) Украины, обеспечение сличения шкал времени и частоты Госэталоны Украины и национальных эталонов времени и частоты развитых стран мира, а также всемирного координированного времени (UTC);

координато-временное обеспечение астрономических и спутниковых определений, обеспечение решения астрофизических, геофизических и геодинамических задач.

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ПОСТРОЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Целью создания СНО Украины является предоставление потребителям на территории Украины навигационной информации для обеспечения навигационно-временных определений по сигналам СРНС GPS и ГЛОНАСС на уровне мировых стандартов и устранения зависимости от возможных санкций стран-владельцев СРНС.

Реализация данной цели предполагает построение СНО Украины на основе метода дифференциальной навигации. Дифференциальный режим измерений широко используется в мире практически с первых дней развертывания глобальных СРНС и основывается на пространственно-временной корреляции основных погрешностей измерений в аппаратуре потребителей и в опорной точке земной поверхности, где устанавливается КС.

Традиционно при реализации дифференциального режима измерений применяются отдельные КС для формирования дифференциальной корректирующей информации (ДКИ) в локальных регионах, где существуют повышенные требования к точности и надежности навигационных определений (НО), в виде поправок к измеряемым потребителя-

ми текущим навигационным параметрам (ТНП) — псевдодальностям и псевдоскоростям.

Как показывает анализ, отдельная КС, реализующая традиционный метод дифференциальной навигации, имеет ограниченную зону действия (50÷150 км) из-за зависимости корреляции основных источников погрешности НО (прежде всего атмосферных и эфемеридных) от величин расстояний между потребителем и КС. Это приводит к необходимости размещения на обеспечиваемой территории группы КС с перекрывающимися зонами действия.

При использовании данного способа построения системы предполагается равномерное размещение на территории государства независимых унифицированных КС, оснащенных средствами передачи ДКИ потребителям, с возможным их объединением в сеть для контроля целостности СРНС, контроля работоспособности КС и передачи «сырой» или частично обработанной измерительной информации одной или нескольких КС в центр обработки GNSS (при условии интегрирования СНО в европейский проект GNSS-1). Размещение КС по территории государства может быть оптимизировано с учетом интенсивности движения транспорта в тех или иных регионах, а также с учетом целевых государственных и ведомственных задач.

Такое построение системы не предусматривает сбора и совместной обработки измерительной информации КС и затрудняет организацию навигации в пределах национальной территории, поскольку зоны действия КС в этом случае должны покрывать всю территорию Украины с той или иной степенью перекрытия. Потребители СРНС, находящиеся на территории Украины, в этом случае должны оснащаться соответствующей аппаратурой приема ДКИ по радиовещательным каналам связи, позволяющей селективировать сигналы ближайшей КС для получения максимальной точности местопределения.

Известными преимуществами использования отдельных унифицированных стандартных КС являются:

- достижение максимальной точности навигационных определений при расположении потребителя на небольших удалениях от КС (10÷50 км);
- высокая оперативность (1 с и менее) оповещения потребителей о спутниках, для которых измерительная информация или навигационные сообщения недостоверны, т. е. оперативность оценки целостности СРНС;
- относительная простота реализации дифферен-

циального режима измерений, возможность быстрого развертывания КС, исполнения КС в мобильном варианте.

Основные недостатки такого построения СНО следующие.

1. Зависимость точности навигационных определений и полноты использования рабочего созвездия навигационных спутников от места расположения потребителя относительно КС, т. е. требования использования одного и того же рабочего созвездия как потребителем, так и КС. Это приводит к необходимости увеличения плотности размещения КС на заданной территории. Так, для равномерного покрытия территории Украины полем ДКИ с использованием КС со средним радиусом действия 100÷150 км и с учетом взаимного перекрытия зон действия КС понадобится 50÷70 КС, а с учетом необходимости увеличения насыщенности КС на отдельных государственных объектах (аэропортах, морских гаванях, участках судоходных рек, военных объектах и др.) общее количество КС может достигнуть сотни. Если принять за основу насыщенность территории таких европейских стран, как Швейцария или Австрия, то общая численность КС в Украине может достигать 1000 и более.

Приведенные оценки количества КС для надежного навигационного обеспечения Украины показывают, что только закупка в развитых странах мира современного оборудования КС с ценой комплекта от 30 до 200 тыс. долл. США (в зависимости от функциональных возможностей, состава и степени резервирования) обойдется Украине в сумму от 5 до 10 млн долл. США, не считая стоимости рекогносцировки, геодезической привязки, обслуживания, проведения ремонтных и регламентных работ, средств передачи ДКИ и т. д. Кроме того, оснащение указанного количества КС радиосредствами передачи дифференциальных поправок существенно усложнит решение задачи электромагнитной совместимости радиосредств.

2. Отсутствие необходимости совместной обработки измерительной информации КС в рассматриваемом варианте построения СНО не требует создания явно выраженного центра СНО и приводит к ограничению возможностей использования СНО в структуре Госэталона времени, управлении движением транспорта, геодезических работах, комплексах управления космическими аппаратами, фундаментальных исследованиях и так далее.

3. Рассматриваемая многоэлементная структура СНО представляется весьма дорогостоящей при проведении модернизации и доработок в целях расширения функциональных возможностей системы.

Опыт развитых стран и тенденции развития спутниковой навигации показывают, что в последние годы в мире существенно возрос интерес к использованию разветвленных сетей КС, которые исключают зависимость потребителей от удаления до КС [5—7]. Интерес в этой области представляют прежде всего сети КС, базирующиеся на принципах широкозонной дифференциальной навигации (ШДН), которые предполагают использование минимального количества КС для охвата и обеспечения высокоточной ДКИ достаточно больших регионов земной поверхности. Обработка измерительной информации и формирование ДКИ в таких сетях осуществляется в едином центре сбора и обработки информации. При этом формируется единая ДКИ для всего охватываемого региона независимо ко всем наиболее значимым погрешностям измерений навигационных параметров (эфемеридная, частотно-временная, ионосферная, тропосферная), что позволяет организовать единый канал передачи ДКИ потребителям. Характеристики точности компенсации погрешностей ТНП при таком подходе несколько ниже, чем при реализации традиционной дифференциальной навигации, однако это в достаточной степени компенсируется меньшим числом КС, требуемых для покрытия региона, возможностью отдельной коррекции основных источников погрешностей измерений и организации единого канала передачи ДКИ. Наиболее выгодным является передача ДКИ через геостационарные спутники связи (ГСС), как это реализовано в системе GNSS-1 с помощью ГСС «Inmarsat-3» [1].

С учетом изложенного оптимальным вариантом построения СНО Украины является вариант, совмещающий преимущества широкозонной дифференциальной навигации и достоинства локальных КС с традиционным способом формирования ДКИ.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УКРАИНЫ

В основу национальной СНО целесообразно положить структуру из 10÷12 КС опорной дифференциальной сети, центра сбора и обработки информации опорной сети (главная КС) и стандартных локальных универсальных КС (или сетей локальных КС), группирующихся вокруг КС опорной сети системы и предназначенных для решения специализированных задач в заданных регионах страны. Опорная сеть КС, как основа структурного построения СНО, реализует принципы широкозонной дифференциальной навигации с передачей ДКИ через ГСС

«Inmarsat-3» (при интеграции национальной СНО в систему GNSS-1) и/или ГСС типа «Либидь» для всей Украины и прилегающих территорий.

Состав ДКИ широкозонной сети КС СНО, формируемой на главной КС системы, будет соответствовать формату ДКИ, передаваемой ГСС «Inmarsat-3». Предусматривается также использовать специально выделенные каналы УКВ-КВ-ДВ-СДВ связи для передачи ДКИ в кодированном виде, для специальных потребителей.

В рассматриваемом способе построения СНО с помощью ограниченного количества специально оснащенных КС и при взаимодействии СНО с международной системой GNSS решаются задачи большинства потребителей на всей территории Украины и прилегающих регионов примерно с одинаковым качеством. Параметры точности НО и целостности СРНС при этом будут незначительно ухудшены по сравнению с использованием одиночных КС при малых (до 50 км) удалениях потребителя от КС.

Для выполнения повышенных требований к точности и надежности НО ряда специальных пользователей наряду с основными элементами СНО планируется использовать в ряде регионов Украины локальные КС (или сети локальных КС), размещенных в непосредственной близости от потребителей (вблизи крупных аэропортов, морских гаваней, военных полигонов, геодезических объектов и т. п.). Локальные пункты (или локальные сети) СНО будут оборудованы аппаратурой стандартных универсальных КС и связаны с близлежащими КС опорной сети для обмена данными о целостности СРНС, измерительной и служебной информацией в пределах региона размещения. Информацию о целостности СРНС и целостности КС предполагается транслировать через элементы опорной сети на главную КС системы для повышения информационной надежности СНО.

Состав ДКИ, формируемой локальными КС и передаваемой по УКВ-, СВ-, ДВ- и телефонным каналам связи, будет соответствовать международным стандартам RTCM SC-104 версии 2.2 и совместимой с ней версии 2.1.

Такое построение СНО позволит потребителю с использованием интегрированного приемника навигационных сигналов СРНС и ГСС реализовать высокоточный дифференциальный режим измерений и улучшить геометрическую конфигурацию текущего рабочего созвездия спутников без дополнительной связной аппаратуры приема ДКИ непосредственно от КС. В случае необходимости потребитель сможет совместить прием ДКИ через ГСС и (с использованием связной аппаратуры) от ближайшей КС непосредственно.

Система, реализующая ШДН, основана на определении и формировании коррекций к различным источникам погрешностей, в частности по эфемеридным и частотно-временным (включая влияние режима оселективного доступа СРНС GPS) составляющим для каждого спутника, а также ионосферным и тропосферным составляющим. Для уточнения передаваемых бортовых эфемерид навигационных спутников, уходов их шкал времени и частоты необходима сеть КС, связанных между собой линиями передачи измерительной информации. С учетом того, что в процессе совместной обработки информации КС требуется уточнять взаимные уходы шкал времени КС, то для определения текущего восьмимерного вектора состояния эфемеридных и частотно-временных параметров (координаты, составляющие вектора скорости, уход и скорость ухода часов) каждого спутника из рабочей зоны радиовидимости системы требуется не менее шести наземных КС. Для исключения влияния атмосферы КС должны проводить двухчастотные измерения с целью исключения влияния ионосферы и должны быть оснащены высокоточной аппаратурой измерения параметров приземного значения показателя тропосферы и, по возможности, — аппаратурой измерения вертикального профиля водяных паров (радиометр водяных паров (РВП)) с целью максимально точного учета влияния тропосферы.

Погрешности эфемерид, параметров уходов шкал времени СРНС, уточненные текущие параметры региональных моделей ионосферы и тропосферы определяются в центре обработки измерительной информации и затем передаются потребителям через навигационный ретранслятор ГСС либо по иным каналам связи. Потребители, получая раздельную дифференциальную информацию, формируют для своего местоположения интегральные дифференциальные поправки к псевдодальностям и псевдоскоростям с учетом уточненных атмосферных моделей.

Для реализации высокоточной ШДН требуется соблюдение следующих условий.

1. Все КС опорной (широкозонной) сети должны быть оснащены аппаратурой высшего класса, т. е. двухчастотными приемниками кодовых и фазовых измерений. Это позволит реализовать высокоточный фазовый метод определений эфемерид навигационных спутников и ГСС, что особенно важно для относительно небольшой территории Украины, когда измерительные базисы в 20÷40 раз меньше расстояний до спутников. Двухчастотные измерения позволяют не только скомпенсировать ионосферный вклад в измерения, но и восстанавливать текущую модель ионосферы для включения ее в

региональную ДКИ и использования одночастотными приемниками потребителей. Реализация фазового метода на больших измерительных базисах (от сотни до тысячи километров) требует точного (на сантиметровом уровне) учета тропосферных поправок, поэтому КС должны быть также оснащены высокоточными измерителями параметров (температуры, давления, влажности) приземного значения показателя преломления и, по возможности, радиометрами водяных паров.

2. Шкалы времени и частоты КС основной сети должны постоянно поддерживаться в режиме синхронизма, что можно осуществить при совместной обработке результатов измерений сети КС. При этом главная КС, как ведущая станция, должна быть оснащена квантовым стандартом частоты, что позволит достаточно просто реализовать высокоточную привязку шкалы времени главной станции к шкалам UTC и СРНС. Слежение за уходами шкал времени остальных КС широкозонной сети относительно шкалы главной КС (в результате обработки измерительной информации сети) в принципе позволяет использовать на остальных КС кварцевые стандарты частоты. В то же время установка на этих КС квантовых стандартов частоты существенно повысит точность оценивания информационных параметров за счет упрощения моделей поведения часов КС. В этом случае на базе эталонов частоты и времени СНО может быть построен статистический эталон частоты и времени Украины, а при подключении главного эталона Украины (НПО «Метрология», г. Харьков) на базе трех групп водородных стандартов частоты к одной из КС сети СНО возможна высокоточная привязка всей сети к шкале времени Госэталона Украины (UTC(UA)).

В связи с изложенным, целесообразно при проведении рекогносцировочных работ по размещению КС широкозонной сети учитывать возможность использования образцовых мер времени и частоты региональных метрологических подразделений (пунктов метрологического контроля), которые входят в состав Государственной службы единого времени и эталонных частот.

3. Геодезическая привязка фазовых центров приемных антенн КС должна быть выполнена на сантиметровом уровне точности для обеспечения не только функций контроля целостности СРНС и ГСС, но и для реализации фазового метода обработки информации. Взаимная привязка (периодическое уточнение взаимных координат) КС сети должна выполняться с высокой точностью ($\sim 10^{-8}$ длины измерительных баз) по результатам фазовых измерений самой системы. Однако при интеграции СНО Украины в GNSS требуется точная абсолют-

ная привязка КС в системах координат WGS-84, EUREF, тем более что система координат WGS-84 с 1 января 1998 г. принята ИКАО как основная система координат для гражданской авиации, и на ней базируется эфемеридное обеспечение системы GPS. С учетом того, что КС должны осуществлять мониторинг и СРНС ГЛОНАСС, в пределах территории Украины должен быть определен точный переход WGS-84↔ПЗ-90 (Россия). Абсолютная геодезическая привязка как минимум трех опорных КС сети (с максимальными базами) должна выполняться с использованием методов спутниковой геодезии как по сигналам СРНС, так и с привлечением лазерных и радиоинтерферометрических измерений в рамках международных научных программ и экспериментов.

Высокоточная геодезическая привязка КС позволит использовать фазовые измерения широкозонной сети и для проведения значительного числа геодезических и картографических работ (сгущение сетей, кадастровые съемки, определение границ, строительство дорог и т.д.), а уточненная эфемеридная информация СРНС позволит повысить точность геодезических наблюдений в пределах всей Украины.

Следует отметить, что предлагаемая к развертыванию система навигационного обеспечения реализует весь потенциал лишь в том случае, если будут решены вопросы открытости координат контрольных станций в системе координат WGS-84 (EUREF).

4. СНО с реализацией ШДН должна быть оснащена аппаратно-программными средствами передачи ДКИ потребителям. Наиболее эффективным путем является передача ДКИ через навигационный ретранслятор ГСС, как это реализуется в системе GNSS-1. Возможны и необходимы альтернативные пути распространения ДКИ в Украине: по телевизионным каналам (в настоящее время телевизионный прием доступен на всей территории Украины); по специальным длинноволновым и средневолновым радиовещательным каналам; по спутниковым каналам. В этом случае потребители должны быть оснащены соответствующей аппаратурой приема и декодирования ДКИ. Это позволит СНО Украины выполнять функции двойного назначения, в том числе и в интересах Вооруженных сил Украины, на основе измерений только национальной сети КС, т. е. при автономном не интегрированном использовании СНО.

При таком варианте построения СНО должна содержать систему сбора, хранения, обработки и передачи информации, в задачи которой входят: сбор измерительной и служебной информации КС

сети в центр сбора и обработки информации (главная КС), ее обработка, хранение и передача в европейский центр обработки GNSS-1 (г. Тулуза, Франция) для последующей обработки, преобразования в принятый формат и передачи ДКИ в составе навигационного сообщения ГСС потребителям;

обмен телеметрической и служебной информацией между КС и главной КС;

сбор и обработка информации локальных сетей КС на КС опорной широкозонной сети о целостности СРНС, исправности локальных КС и передачи этой информации в центр обработки системы.

Проведенный анализ позволяет сформулировать основные достоинства и недостатки альтернативного варианта построения наземного варианта СНО Украины.

К достоинствам этого варианта следует отнести:

1. существенное уменьшение количества КС (до 12 специализированных и 20÷30 универсальных стандартных КС) в СНО, что уменьшает в несколько раз стоимость аппаратуры СНО;

2. удовлетворение всем заданным критериям и требованиям к СНО;

3. возможность размещения основных пунктов СНО на охраняемых и обслуживаемых территориях войсковых частей с имеющейся инфраструктурой энергоснабжения, жизнеобеспечения и т. д.;

4. управляемость системы, возможность интегрирования СНО со службами управления движением пассажирских и транспортных средств, способность к модернизации и расширению функциональных возможностей, применимость в широких областях науки и техники и при реализации современных передовых технологий в ряде Государственных программ; 5. способность к поэтапному наращиванию сети КС и к интеграции в мировую сеть дифференциальной навигации; 6. возможность автономно (на базе только национальной сети КС) обеспечивать навигационной информацией потребителей Вооруженных сил Украины.

К недостаткам данного варианта построения СНО относятся:

1) относительно сложная реализация СНО — необходимость использования специализированных КС в основной сети системы, наличие надежной системы сбора, хранения, обработки и передачи информации, резервирование каналов обмена и передачи информации, сложность программного обеспечения обработки информации;

2) пониженная оперативность (3÷5 с) оповещения о неисправных навигационных спутниках в районах, где локальные КС отсутствуют;

3) необходимость дублирования функций главной КС одной или несколькими КС опорной сети для обеспечения возможности надежного функционирования СНО.

Таким образом, группа основных критериев, которым должна отвечать национальная дифференциальная СНО, включает следующее.

1. Точностные характеристики дифференциальной подсистемы (национальной СНО) должны удовлетворять требованиям основных групп потребителей.

2. Рабочая зона СНО должна охватывать всю территорию страны и прилегающие районы, ее построение должно выполняться с учетом не только национальных интересов, но и международных нормативных и правовых документов с тем, чтобы СНО могла быть использована потребителями любого государства на территории страны-владельца СНО.

3. Элементы СНО должны быть установлены в оптимальных точках с использованием имеющихся сооружений, зданий и каналов передачи данных.

4. Дифференциальные поправки должны формироваться как по СРНС GPS, так и по СРНС ГЛОНАСС в любых сочетаниях спутников, находящихся в зоне видимости потребителей Украины, и передаваться в стандартных кадрах, соответствующих требованиям ИКАО, ИМО и других международных организаций.

5. СНО Украины должна создаваться с учетом ее географического положения на основе широкозонной, региональной и локальной подсистем с возможностью их объединения в единую как государственную, так и межгосударственную систему. Для государств, занимающих небольшие по площади территории, возможно исключение региональной и/или широкозонной подсистем.

Широкозонная дифференциальная подсистема должна включать в себя центр сбора и обработки информации, систему и средства сбора и передачи данных.

Региональная дифференциальная подсистема должна включать в себя управляющую станцию, совокупность КС и каналов передачи ДКИ, объединенных в сеть для обслуживания потребителей на территории региона.

Локальная дифференциальная подсистема должна включать стационарную или мобильную КС с аппаратурой передачи ДКИ потребителям отдельного района.

Каждый уровень дифференциальной подсистемы должен обеспечивать автономное решение задачи.

6. При создании СНО должна быть предусмотрена возможность стандартизации и унификации ти-

пового оборудования, в том числе КС, каналов передачи данных, структуры и содержания информационных сообщений с учетом международных и национальных нормативных документов.

7. Функционирование СНО должно контролироваться уполномоченными государственными организациями с учетом национальных интересов и международных обязательств.

Перечисленные критерии, которым должна отвечать создаваемая национальная СНО, необходимо дополнить требованиями совместимости и взаимосвязки функций СНО и других систем и комплексов, создающихся в Украине в рамках других государственных программ, для избежания дублирования функций систем и комплексов различного назначения.

СОСТАВ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УКРАИНЫ

Система навигационного обеспечения базируется на использовании существующего навигационного поля СРНС GPS, ГЛОНАСС и геостационарных спутников связи «Inmarsat-3» с навигационным дополнением (европейская программа по созданию международной системы GNSS-1) и состоит из наземного и космического сегментов.

В состав наземного сегмента первой очереди системы навигационного обеспечения Украины должны входить:

- центр контроля навигационного поля (ЦКНП) в роли центра сбора и обработки информации (в роли главной КС широкозонной сети и центра обработки и передачи информации);
- региональные пункты контроля навигационного поля (РПКНП), в состав которых входит резервированное оборудование КС, высокостабильный атомный стандарт частоты и времени, автоматизированное оборудование измерения и регистрации параметров тропосферы, а также аппаратура для обмена измерительной и служебной информацией с элементами СНО;
- локальные КС и локальные сети КС;
- автоматизированная система сбора, хранения, обработки и передачи информации.

В дальнейшем, при условии реализации других проектов Государственной космической программы Украины и международных проектов, в состав системы вводится космическое дополнение на базе национального ГСС типа «Либидь» с бортовым навигационным ретранслятором (по аналогии с ГСС «Inmarsat-3»). Основу системы НО Украины составит наземный сегмент — распределенные по терри-

тории Украины региональные пункты, оснащенные контрольными станциями. Эти региональные пункты (до 12 пунктов) совместно с КС ЦКНП образуют основную измерительную сеть системы. Измерительная (частично обработанная) информация РПКНП по линиям связи передается в ЦКНП для специализированной обработки в целях:

сбора, обработки, хранения и отображения текущей информации о целостности СРНС с территории Украины, а также информации о работоспособности составных частей системы;

уточнения взаимных координат РПКНП, контроля текущего состояния их шкал времени, а также уточнения орбит спутников GPS и ГЛОНАСС и орбит ГСС международной системы GNSS;

передачи данных о целостности СРНС (в зоне радиовидимости с территории Украины) и результатов измерений в международный европейский центр обработки информации системы GNSS-1, где реализуется формирование ДКИ по европейскому континенту и обслуживание потребителей навигационной информации через ГСС.

Локальные КС и локальные сети КС, предназначенные для решения целевых задач (навигация в международных аэропортах, крупных морских портах и гаванях и т. п.) с повышенной точностью и надежностью, будут передавать ДКИ потребителям по обычным связным радиоканалам УКВ-, СВ- и ДВ-диапазонов посредством радиостанций или радиомаяков.

Кроме того, по специальным каналам связи передается информация о целостности СРНС и телеметрическая служебная информация о состоянии КС в соответствующий региональный пункт и далее, после обработки, — в ЦКНП.

Локальные КС и локальные сети КС, предназначенные для решения частных ведомственных или коммерческих задач, не входят в наземную инфраструктуру системы НО, однако не исключается возможность их подключения к сети КС системы НО с целью повышения надежности системы НО.

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

По аналогии с GNSS система НО Украины должна создаваться поэтапно, путем последовательного наращивания наземного и космического сегментов.

На первом этапе (1998—2000 гг.) на территории Украины должны быть созданы сеть наземных РПКНП и ЦКНП, в состав которых входят КС для

выработки ДКИ и сигналов целостности СРНС GPS и ГЛОНАСС. Для эффективного использования национальную сеть целесообразно интегрировать в международную систему GNSS-1, использующую связные спутники «Inmarsat-3» в качестве средства доставки ДКИ.

На втором этапе (1998—2002 гг.) создания системы НО Украины на базе национального геостационарного спутника связи типа «Либидь» с навигационным дополнением реализуется космический сегмент системы НО, целевым образом предназначенный для нужд Украины.

Дальнейшее развитие СНО Украины (третий и последующие этапы) предполагает ее интеграцию в GNSS-2 — гражданскую СРНС. Развертывание GNSS-2 планируется Европейским сообществом в начале следующего тысячелетия. В настоящее время работы по созданию GNSS-2 находятся на стадии формирования требований к ней и определения ее облика.

Научно-технический потенциал Украины позволяет ей внести весомый вклад в реализацию этого проекта. В частности, группой предприятий космической отрасли предложен вариант GNSS-2 на базе группировки низкоорбитальных микроспутников, обеспечивающий безболезненный для потребителя плавный переход от GNSS-1 к GNSS-2, а также реализацию имеющегося в Украине задела по КА требуемого класса и средствам развертывания и поддержания соответствующей космической группировки.

Ввод в эксплуатацию национальной системы НО позволит формировать в Украине навигационное поле, соответствующее действующим и перспективным мировым стандартам по безопасности воздушных, морских и наземных перевозок. Учитывая географическое положение Украины, современное навигационное обеспечение будет играть важную роль при формировании новых транспортных маршрутов между Европой и азиатскими странами и принесет значительную экономическую выгоду, а также позволит решать задачи координатно-временного обеспечения в интересах национальной космической программы, системы единого времени, метрологической службы, землепользования и национальной обороны.

ОЖИДАЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УКРАИНЫ

СНО Украины, реализующая предлагаемый метод широкозонной дифференциальной навигации, после развертывания наземного сегмента (первой оче-

реди СНО) позволит потребителям в любой точке Украины и прилегающих областей осуществлять навигационные определения с вероятностью 95 % (2σ) с погрешностями, не превышающими:

по координатам

4.5—6 м по сигналам СРНС GPS,
2.5—4.5 м по сигналам СРНС GPS
и ГЛОНАСС;

по составляющим вектора скорости
(при скорости потребителя $V \leq 1.0$ км/с)

2.4—3.6 см/с по сигналам СРНС GPS,
1.4—2.4 см/с по сигналам СРНС GPS
и ГЛОНАСС.

Эфемеридно-временное обеспечение СРНС, формируемое СНО Украины, позволит проводить относительные геодезические определения в пределах Украины с погрешностью $(1...2) \cdot 10^{-8}$ (2σ), а синхронизацию эталонов времени и частоты Украины с погрешностью $2\sigma \leq 1$ нс по времени и $10^{-13}—10^{-14}$ по частоте (относительно шкалы времени Госэталона Украины).

Задержка выдачи сообщений сетью КС СНО Украины о целостности СРНС не превысит 10 с при передаче ДКИ через ГСС «Inmarsat-3».

Ожидаемые погрешности 2σ навигационных определений потребителей с использованием ДКИ локальных КС составят:

по координатам — от 1.5 м до 5 м

при удалениях АП от локальной КС от 0 до 150 км;

по составляющим вектора скорости — 1.5÷3.5 см/с.

Погрешность 2σ местоопределения потребителей, использующих аппаратуру, способную функционировать в реальном масштабе времени по фазе несущих навигационных сигналов СРНС (в режиме RTK — real time kinematic), составят 5÷10 см на удалениях АП от КС 5÷10 км.

Задержка выдачи сообщений потребителям о целостности СРНС в зонах действия локальных КС СНО по УКВ и СДВ каналам связи — не более 0.2 с.

Развертывание космического сегмента СНО на базе ГСС «Либидь», оснащенного бортовым навигационным оборудованием для передачи широкозонной ДКИ и дополнительного навигационного сигнала, позволит:

обеспечить дополнительные каналы связи передачи широкозонной ДКИ потребителям Украины и других стран, на основе чего возможно существенное расширение коммерческих услуг СНО Украины;

повысить точность и надежность НО за счет допол-

нительного источника НС;

уменьшить задержку выдачи сообщений широкозонной сети КС СНО Украины о целостности СРНС с 10 с до 5 с;

реализовать простые и надежные услуги по синхронизации сетей связи, национальных систем единого времени и т. д.

Участие в реализации и использовании перспективной гражданской глобальной спутниковой навигационной системы GNSS-2, в которой каждый навигационный КА совмещает функции космической КС (третья очередь создания СНО Украины), позволит:

достичь точности местоопределения 1 ± 1.5 м по координатам и 0.5 ± 1 см/с по скорости;

уменьшить задержку сообщений о целостности спутников системы GNSS до 1 с.

РЫНОК УСЛУГ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УКРАИНЫ

Рынок услуг СНО Украины в настоящее время только формируется. Существующий сравнительно небольшой спрос на аппаратуру для гражданской авиации, для проведения геодезических работ и других покрывается за счет импорта АП, использующей сигналы СРНС GPS.

До конца столетия ожидается устойчивое увеличение объема мирового рынка услуг, связанных с СРНС GPS, от 3 млрд долл. США в 1998 г. до 7÷8 млрд долл. США в 2000 г. Темпы увеличения объема мирового рынка, по прогнозам специалистов, могут превысить 50 % после развертывания GNSS-1 в связи с повышением качества услуг, а прогнозируемый объем продаж аппаратуры спутниковой навигации на мировом рынке в 2005 г. составит 32 млрд долл. США. По мере стабилизации экономики Украины ожидается не менее интенсивный рост и внутреннего рынка услуг системы навигационного обеспечения.

Освоение внутреннего и внешнего рынка навигационных услуг национальной системы НО Украины не только принципиально возможно, но и экономически реально для Украины. Соответствующие инвестиции окупятся в кратчайшие сроки, что гарантирует высокий научно-технический потенциал промышленности Украины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная структура построения СНО Украины оптимальна по эффективности, стоимости и

соответствует тенденциям развития служб навигационного обеспечения в развитых странах мира.

Предполагается, что СНО будет включать опорную сеть региональных пунктов (включая центр сбора информации), которая реализует широкозонную дифференциальную навигацию, и унифицированные локальные КС (сети локальных КС).

Реализация принципов широкозонной дифференциальной навигации в СНО позволит национальной системе наиболее полно осуществлять взаимодействие с создаваемой в настоящее время глобальной навигационной системой GNSS и при достижении договоренностей с Евросоюзом безболезненно интегрироваться в ее структуру. Дополнение опорной сети отдельными унифицированными локальными КС обеспечит повышенные требования специализированных потребителей к точности и надежности НО.

Ожидаемые характеристики точности навигационных определений потребителей с использованием информации СНО Украины составят 2.5 ± 4.5 м по координатам и 1.4 ± 2.4 см/с по скорости при использовании широкозонной ДКИ и 1 ± 1.5 м по координатам и 1.5 ± 3.5 см/с по скорости при использовании ДКИ локальных КС (при удалении потребителей от КС менее чем на 150 км), соответствуют требованиям основных групп потребителей и мировым стандартам в области навигационного обеспечения. Дополнение СНО Украины космическим сегментом низкоорбитальных навигационных КА (реализация элементов системы GNSS-2) позволит повысить точность навигационных определений потребителей при использовании широкозонной ДКИ до уровня 1 ± 1.5 м по координатам и 0.5 ± 1 см/с по скорости. Погрешность синхронизации эталонов времени и частоты не превысит 1 нс.

Анализ мирового уровня спроса на услуги систем навигационного обеспечения и тенденций его развития позволяет сделать вывод о перспективности национальной СНО и быстрой окупаемости предполагаемых затрат на ее создание. Для эффективной реализации представленной концепции необходима координация деятельности и совместные усилия НАКАУ, НАНУ, Госстандарта Украины, Министерства транспорта, ГУГКиК и Министерства обороны Украины.

1. Киналь Ю., Разумовский О. Доклад о навигационной деятельности в компании INMARSAT // Планирование

глобальной радионавигации: Сб. тр. II-й Междунар. конф.; 24—26 июня 1997 г. — Т. 1.—С. 91—103.

2. Толл Б. Концепция радионавигации Еврокомиссии: GNSS и EGNOS // Планирование глобальной радионавигации: Сб. тр. II-й Междунар. конф.; 24—26 июня 1997 г. — Т. 1.—С. 68—71.
3. Шагас Ж. Взгляд ИКАО на перспективы авиационной радионавигации // Планирование глобальной радионавигации: Сб. тр. II-й Междунар. конф.; 24—26 июня 1997 г. — Т. 1.—С. 58—67.
4. Шебшаевич В. С., Дмитриев П. П. и др. Сетевые спутниковые радионавигационные систем / Под ред. В. С. Шебшаевича. — М.: Радио и связь, 1993.—408 с.
5. Ashkenazi V., Chao C., Chen W., et al. High precision wide area DGPS // Proc. of the 5-th International Conference on Differential Satellite Navigational System; St. Peterburg, Russia, May 20—24, 1996. — St. Peterburg, 1996.—Vol. 1, paper № 8.
6. Ilkaev G., Filatchenkov S., et al. The Main Principles of Russian DGNS Development / Proc. of the 5-th International Conference on Differential Satellite Navigational System; St. Peterburg, Russia, May 20—24, 1996. — St. Peterburg, 1996.—Vol. 2, paper № 56.
7. Okkes R. The Application of Multi Reference Station DGPS Correction Data Enhancing User Position Accuracy in a Wide Area / Proc. of the 5-th International Conference on Differential Satellite Navigational System; St. Peterburg, Russia, May 20—24, 1996. — St. Peterburg, 1996.—Vol. 2, poster № 14.

CONCEPT OF THE DEVELOPMENT OF THE UKRAINIAN NAVIGATION SERVICE SYSTEM

A. P. Vereshak, V. V. Piskorz, A. A. Zhalilo,
V. A. Litvinov, and K. F. Voloh

The Ukrainian national navigation service is supposed to be based on the signals from the global navigational GPS and GLONASS systems and the geostationary INMARSAT-3 satellites. The differential navigation in Ukraine will be provided by a multifunctional network of reference stations which is supposed to be integrated into the European segment of the international GNSS-1 system. The basis of the Ukrainian differential system will be a ground-based segment including the main network of regional reference stations (RS) network and local RS networks. The regional RS network (12 RS) will be built on the principles of wide-area navigation using the complex processing of code and carrier-phase L1, L2 observations. The observations will be transmitted to the European GNSS-1 processing data centre for the formation and transmission of DCI and integrity through the INMARSAT-3 geostationary satellite. The local RS networks will be used to solve the navigation service problems in the areas of intense transport movement. Regional and local RS networks will operate jointly. The possibilities of DCI transmission through a national geostationary communication satellite with a board navigation transponder are also discussed. The injection of this satellite into orbit will give us a possibility of increasing the reliability and potentialities of GNSS-1.