

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИИ В РОССИИ

Н. А. Тестоедов, В. Е. Косенко, С. В. Сторожев, В. Д. Звонарь,
В. И. Ермоленко, В. Е. Чеботарев

ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева»
Россия, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52
E-mail: chebotarev@iss-reshetnev.ru

Отмечаются основные моменты на пути создания глобальных космических навигационных систем первого и второго поколений: объем и содержание работ, этапы и сроки проведения работ, основные характеристики спутников этих систем.

Приводятся основные результаты модернизации космического сегмента отечественной глобальной космической навигационной системы второго поколения, полученные в процессе реализации федеральной целевой программы «Глобальная навигационная система».

Раскрываются основные направления развития и модернизации космического сегмента отечественной глобальной космической навигационной системы, определенные в федеральной целевой программе «Поддержка, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 гг.».

Ключевые слова: навигационный спутник, метод навигации, точность навигации.

HISTORY OF CREATION AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF SPACE NAVIGATION IN RUSSIA

N. A. Testoedov, V. E. Kosenko, S. V. Storozhev, V. D. Zvonar, V. E. Ermolenko, V. E. Chebotarev

JSC “Academician M. F. Reshetnev “ Information Satellite Systems”
52 Lenin str., Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russia. E-mail: chebotarev@iss-reshetnev.ru

The report dwells upon the milestones on the way of creation of global space systems of the first and the second generations: scope and volume of work, workflow phases and implementation periods, main characteristics of satellites of this system.

The authors present the main results of modernization of the space segment of the home global space navigation system of the second generation, obtained in the process of carrying-out the Federal Program “The Global Navigation System”.

The report shows the main principal directions of development and modernization of the space segment of the home global space system, which are directed with the Federal Program “Maintenance, development and exploitation of the GLONASS system for the period of 2012–2020”.

Keywords: navigation satellite, method of navigation, navigation accuracy.

Возможность использования искусственных спутников Земли в качестве подвижных радиоориентиров для определения местоположения привлекла внимание специалистов уже после их первых успешных запусков.

Спутниковая радионавигация обладает рядом существенных преимуществ в сравнении с традиционными методами, использующими в качестве ориентиров небесные светила или радиомаяки наземного базирования.

Следует отметить, прежде всего, глобальность обслуживания, независимость навигационного обеспечения от времени года, суток, метеоусловий, оперативность и точность определения пользователями своего местоположения, скорости и времени [1–3].

Исторически, с начала разработок отечественных спутниковых навигационных систем ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева» (ранее ОКБ-10, КБ ПМ, НПО при-

кладной механики) на правительственном уровне было определено головным в кооперации разработчиков, ответственным не только за космические сегменты этих систем, но и за системы в целом, в том числе и за их основные характеристики: точность, доступность, целостность и т. п. Начиная с середины 1960-х годов, кооперацией при головной роли ОАО ИСС разработаны и созданы спутниковые радионавигационные системы двух поколений, отличающиеся принципами построения, методами, оперативностью и точностью навигационных определений, орбитальным построением, зоной обслуживания и пр. [4; 5].

1. Спутниковые радионавигационные системы первого поколения. Необходимость создания навигационной спутниковой системы была, в первую очередь, обусловлена требованием достижения паритета в морской составляющей триады ядерных вооружений СССР и США. К тому времени (в 1962 г.) в США уже была развернута и в 1964 году сдана на вооруже-

ние ВМС спутниковая навигационная система, получившая название NNSS (Navy Navigational Satellite System) в составе четырех спутников «Транзит» на низких (1000 км) полярных орбитах, наземной системы контроля и управления и корабельного приемника-индикаторного оборудования. NNSS была разработана Лабораторией прикладной физики университета Дж. Гопкинса по заказу ВМС США для подводных лодок, вооруженных баллистическими ракетами Polaris в рамках единой с созданием ракет и строительством подводных ракетоносцев программы. Но уже в 1967 г. на международном уровне было объявлено о предоставлении возможности использования NNSS также гражданскими судами, и не только принадлежащими США, но и другим странам (кроме социалистических стран).

С каждого спутника Transit излучались по два когерентных фазоманипулированных навигационных сигнала с несущими частотами 150 и 400 МГц, содержащих в своем составе навигационную (эфемериды соответствующего спутника), временную (оцифрованные метки времени) и телеметрическую (о состоянии бортовых систем) информацию.

Проведенные научные исследования и имевшиеся в ОКБ-10 в начале 1960-х годов отрывочные сведения об американских спутниках Transit свидетельствовали об актуальности создания аналогичной отечественной спутниковой навигационной системы для обеспечения паритета с США в обеспечении точной доставки боеголовок к целям. Поэтому в 1963 г. ОКБ-10, создавшее к тому времени ракету космического назначения (РКН «Космос-3М») и первые отечественные спутники связи «Стрела-1» и «Стрела-2», выводимые этим носителем на круговые орбиты высотой до 1500 км [2] вышло с инициативой разработки такой системы, которая руководством Госкомитета по оборонной технике, в структуру которого тогда предприятия, была воспринята без особого энтузиазма. Признавая ее актуальность, требовалось одновременно признать, что в действующих директивных документах по ракетно-космической тематике задачи спутниковой радионавигации были упущены.

Чтобы обойти бюрократические препоны, руководство ОКБ-10 вынуждено было искать решение в рамках уже запланированных директивными документами космических программ. Одной из таких космических программ была создание в интересах ВМФ спутниковой системы радиосвязи с использованием КА под условным наименованием «Молния-2» на круговых орбитах высотой порядка 800 км. Прошло четыре года, но ответственное за разработку спутника «Молния-2» ОКБ-1 (С. П. Королев) так к ней и не приступило.

В поисках решения родилась идея повышения эффективности боевого применения кораблей ВМФ, в первую очередь подводных ракетоносцев, совмещением в рамках единого спутника типа «Молния-2», функций связного ретранслятора и навигационного радиомаяка. С тем, чтобы за одно подвсплытие в перископное положение подводные лодки имели бы

возможность осуществить одновременно как сеанс двусторонней радиотелеграфной связи с береговыми пунктами управления, так и определение как своего местоположения, так и курса, как азимута фиксированного направления для прицеливания ракет. Это предложение руководства ОКБ-10 было поддержано С. П. Королевым, предприятие которого было перегружено реализацией пилотируемых и межпланетных программ, а затем и Заказчиком системы спутниковой связи для ВМФ, в лице Начальника Управления связи ГШ ВМФ вице-адмирала Г. Г. Толстолуцкого и Главным конструктором систем спутниковой связи М. Р. Каплановым.

В результате разработка отечественной спутниковой навигационно-связной системы в интересах военных морских потребителей была поручена ОКБ-10 и проводилась на основании постановления ЦК КПСС и СМ СССР от 11 сентября 1964 г. № 0762-319. После выхода директивных документов ОКБ-10 приступило к созданию первого в мировой практике совмещенного навигационно-связного спутникового комплекса «Циклон».

Спутниковая навигация с помощью космических систем первого поколения использовала радиально-скоростной (доплеровский) метод навигационных определений морскими потребителями вне зависимости от ведомственной принадлежности, а для специальных потребителей – дополнительно и угломерно-дальномерный. Проведение в одном сеансе радиально-скоростных и дальномерных измерений, кроме определения азимута, существенно повышало точность, надежность и, главное, помехозащищенность обсерваций КА, так как угломерно-дальномерный сигнал принимался узконаправленной антенной с углом раствора сканирующей диаграммы направленности 1,2 град.

По навигационным сигналам низкоорбитного спутника потребитель мог определить только две своих горизонтальных координаты и только на поверхности Земли, что приемлемо в основном только для морских пользователей, со сравнительно низкой, особенно на начальных этапах, точностью определения местоположения (до 1000...1500 м) и с периодичностью 1,5...2,0 часа в приэкваториальных и средних широтах. Такая периодичность возможных обсерваций спутников и глобальность образуемого ими навигационного поля определяются высотой и наклоном орбит (круговые, приполярные с высотой ~ 1000 км) и количеством спутников в орбитальной структуре (4–6). Причем высота орбиты – это результат компромисса между диаметром зоны радиообзора, минимально необходимой продолжительностью сеанса обсервации, а также энергетикой радиолиний. Запуск первого экспериментального навигационно-связного спутника «Циклон» был осуществлен 23.11.67 г. с космодрома «Плесецк» ракетой-носителем «Космос-3М». После успешных летных испытаний экспериментальная система из 4-х спутников «Циклон» с шифром «Залив» в 1971 г. была принята в опытную эксплуатацию, в ходе которой Военно-Морским Флотом обрабатыва-

лись принципы ее применения и набиралась статистика по точности навигационных определений и оперативности двусторонней радиосвязи.

Затем на основании правительственных директивных документов (постановление ЦК КПСС и СМ СССР от 21 июля 1967 г. № 715-240 и от 30 декабря 1971 г. № 940-319) с учетом результатов летных испытаний и опытной эксплуатации была проведена глубокая модернизация спутника «Циклон» и системы «Залив» в целом и на их основе была создана и в 1976 г. принята в эксплуатацию навигационно-связная спутниковая система «Парус» в составе 6-ти модернизированных навигационно-связных спутников «Циклон-Б». Гарантированный срок активного существования (САС) спутника был увеличен вдвое, повышена также продолжительность излучения навигационных сигналов на витке (табл. 1). Модернизации подверглись не только сами спутники, но практически и все элементы системы: командно-измерительная радиолиния переведена из метрового в дециметровый диапазон, разработаны новые комплектации корабельной навигационной аппаратуры, завершено аппаратно-программное оснащение командного пункта системы.

На момент сдачи в эксплуатацию система «Парус» обеспечивала определение двух плановых координат со среднеквадратической погрешностью 250...300 метров, которая почти в четыре раза была меньше заданной. Такое улучшение точности стало возможным благодаря ряду мероприятий по повышению точности определения и прогнозирования параметров орбит, предложенных методически проработанных нашим предприятием (выбор оптимальной схемы проведения сеансов радиоконтроля орбиты, определения требуемой для достижения наивысшей точности суточного прогнозирования параметров орбит продолжительности мерного интервала, применения оригинальных численно-аналитических методов интегрирования параметров движения навигационных КА, уточнения для этих спутников значение так называемого баллистического коэффициента, учитывающего их атмосферное торможение). Эти мероприятия были внедрены под руководством полковника В. Д. Ястребова в практику баллистико-эфемеридного обеспечения в баллистическом центре системы (в/часть 32103).

Дальнейшее развитие низкоорбитальной отечественной навигации шло в направлении создания на базе системы «Парус» моноцелевой навигационной системы «Цикада», а в дальнейшем на ее основе – отечественной части космического сегмента международной спутниковой системы обнаружения и определения географических координат терпящих бедствие судов и самолетов (КОСПАС-SARSAT).

Необходимость разработки и создания в СССР моноцелевой, только навигационной спутниковой системы по аналогии с американской NNSS со спутниками «Транзит», стала очевидной еще до конца 1960-х годов, поскольку навигационно-связные спутники «Циклон-Б» («Парус»), как уже упоминалось выше, из-за комплексирования в рамках единого спутника навигационных и радиосвязных задач, име-

ли ограничения по ежевитковой продолжительности излучения навигационных радиосигналов. Безусловно, такое комплексирование существенно повышало эффективность боевого применения системы, особенно подводными атомными ракетноносцами, но именно оно и стало причиной этих ограничений из-за нехватки на спутниках энергоресурсов. В то же время, для массового беззаявочного свободного использования навигационного сигнала неограниченным количеством гражданских (да и военных тоже) судов в любом районе Мирового океана требовалось обеспечить в спутниковой системе непрерывное излучение каждым спутником навигационных сигналов на каждом витке и в течение всего времени активного существования.

Поэтому по инициативе НПО ПМ были подписаны правительственные директивные документы (постановление ЦК КПСС и СМ СССР от 12 мая 1974 г. № 353-126) о разработке специального моноцелевого навигационного спутника «Цикада», излучающего непрерывно на витке только один двухчастотный навигационный радиосигнал в диапазонах 150 и 400 МГц, и развертывании на его основе низкоорбитальной навигационной системы одноименного названия. Спутник «Цикада» разрабатывался на базе навигационно-связного спутника «Циклон-Б» с исключением из его состава связного ретранслятора и угломерно-дальномерного передатчика. Появившиеся при этом резервы массы и энергопотребления были использованы для обеспечения непрерывной на каждом витке в течение всего САС работы доплеровского навигационного передатчика и увеличения срока службы самого спутника до двух лет путем избыточного резервирования бортовой аппаратуры.

В ходе разработки навигационной системы «Цикада» по инициативе и с участием НПО ПМ также были проведены работы по определению согласующей модели движения спутников по «навигационным» (1000 км, 83°) орбитам за счет исследования движения специально запущенных на «навигационные» орбиты двух геодезических спутников «Сфера» (Космос-842 и Космос-911). Набор измерительной информации производился сетью специальных пунктов наблюдения ВТУ ГШ и 5-ю океанографическими судами ВМФ, оборудованными радиогеодезической измерительной аппаратурой. Внедрение такой согласующей модели в баллистико-эфемеридное обеспечение навигационных спутников первого поколения повысило точность определения местоположения по их радиосигналам в три раза – с 250...300 м (1976 г.) до 80...100 м (1979 г.).

Постановлением ЦК КПСС и СМ СССР от 20.11.79 г. № 1029-305 навигационная система «Цикада» в составе четырех одноименных КА, наземного комплекса управления (общего с НКУ системы «Парус») и корабельного (судового) навигационного оборудования была принята в эксплуатацию для навигационного обеспечения кораблей ВМФ, других силовых ведомств, а также и гражданских судов.

Использование навигационных спутников в системе своевременного оповещения о факте и координ-

натах бедствия имеет исключительно важное значение в деле спасания человеческих жизней и аварийных объектов (судов, самолетов и др.). Начало международного сотрудничества по созданию спутниковой системы обнаружения и определения местоположения судов и самолетов, потерпевших аварию, было заложено на двусторонней (СССР и США) встрече, состоявшейся в Вашингтоне в марте 1977 года. В ноябре 1979 г. в Ленинграде представителями СССР, США, Франции и Канады был подписан Меморандум, подтвердивший желание сторон сотрудничать в совместном проекте создания спутниковой системы поиска и спасания «КОСПАС-САРСАТ», состоящей из двух взаимодополняющих и технически совместимых по эксплуатационным характеристикам радиотехнических подсистем: КОСПАС (создается Советским Союзом) и SARSAT (создается США, Францией и Канадой) [6; 7].

Для решения задачи спасания транспортное средство (морское, воздушное...) снабжается аварийным буем, который автоматически или принудительно включается в момент аварии и непрерывно (до двух суток) передает сигналы на одной из двух частот: 121,5 и 406 МГц или на обеих одновременно. Эти сигналы на частоте 1544,5 МГц ретранслируются через спутник на наземный навигационный центр, который выделяет доплеровское приращение частоты и определяет координаты аварийного бую. В России наземные навигационные центры размещены в городах: Москва, Архангельск, Новосибирск, Владивосток, а центр управления системой находится в Москве. На спутнике также предусмотрен режим обработки и запоминания принятого от бую сигнала на частоте 406 МГц с последующей его ретрансляцией в наземный навигационный центр при входе спутника в зону радиовидимости центра. Это расширяет область действия системы до глобальной. Полученная информация передается в Центр международной системы «КОСПАС-SARSAT», который через соответствующие службы поиска и спасания организует работы по выходу спасательных средств в район бедствия и оказания помощи.

Благодаря предусмотренным при разработке возможностям модернизации, некоторые навигационные спутники «Цикада» в порядке создания космического сегмента международной системы стали дооснащаться ретрансляторами аварийных сигналов, выполняя при этом функции по излучению двухчастотных навигационных сигналов в составе системы «Цикада». Такие спутники назывались «Цикада-Н» или просто «Надежда». Первый КА «Надежда», изготовленный в ПО «Полет», был выведен на навигационную орбиту с космодрома Плесецк ракетой-носителем «Космос-3М» 30.06.1982 г., а уже 10.09.1982 г. с этого спутника (единственного тогда в системе КОСПАС-САРСАТ) были ретранслированы сигналы аварийного радиомаяка канадского самолета, потерпевшего аварию в горах Британской Колумбии, что обеспечило оперативное обнаружение и спасание трех человек.

При заданном сроке службы два года реально этот спутник проработал до марта 1988 г. (почти 6 лет). Полностью система «КОСПАС-САРСАТ» (два отечественных и два американских спутника) была развернута к концу 1984-го года и с 1985-го года началась ее полномасштабная эксплуатация.

По экспертным оценкам, спутниковая система «КОСПАС-САРСАТ» позволяет на порядок (в 10 раз и более) сократить время поиска того терпящего бедствие подвижного объекта (транспортного средства), который оснащен аварийным радиобуем. Особенно важно это для тех, кто перемещается в малонаселенных и экстремальных по климатическим условиям районах (к ним как раз относятся наша северная тундра, тайга, акватория Северного Ледовитого океана, пустыни), где каждый лишний час пребывания без помощи для тяжелораненых или переохлаждающихся людей чреват гибелью. В целом на счету этой системы десятки тысяч спасенных человеческих жизней.

Международная система одобрена международными организациями ИМО (морской) и ИКАО (гражданской авиации), которые приняли решения об обязательном ее использовании морскими судами (с 1995 г.) и самолетами (с 2005 г.).

Спутниковые навигационные системы 1-го поколения («Парус» и «Цикада») к концу 1970-х годов обеспечивали получение данных о двух плановых координатах местонахождения объекта с точностями в пределах ста метров (табл. 1).

В процессе создания спутниковых навигационных систем первого поколения была разработана базовая конфигурация спутника, положенная в основу унифицированного ряда КАУР-1 со следующими техническими характеристиками (рис. 1).

2. Спутниковые радионавигационные системы второго поколения. Успешная эксплуатация спутниковых навигационных систем первого поколения привлекла широкое внимание со стороны других потенциальных потребителей. Возникла необходимость создания спутниковой навигационной системы второго поколения, единой для всех типов потребителей: наземных, морских, воздушных и космических, в интересах как обороны страны, так и народного хозяйства. Спутниковые навигационные системы второго поколения должны обеспечить оперативное (в реальном масштабе времени) высокоточное трехкоординатное (по широте, долготе и высоте) определение местоположения и трех составляющих вектора скорости пользователя, поправок к местному времени пользователя относительно Госэталопа и относительно Всемирного времени UT-1, связанного с неравномерностью вращения Земли глобально по земной поверхности, в воздушном и околоземном космическом пространстве. Кроме того, система должна также обеспечивать и определение поправки курсоуказания (азимута фиксированного направления) в полярных и приполярных районах Северного полушария.

Выполнить перечисленные требования с помощью низкоорбитальных навигационных систем не представляется возможным в силу принципов, заложенных в основу их построения.

Характеристики навигационных спутников первого поколения

№	Наименование	«Циклон»	«Циклон-Б»	«Цикада»	«Надежда»
1	Решаемые задачи (% на витке)				
	– навигация (доплеровская)	25	50	100	100
	– навигация (угл.–дальном.)	10	15	–	–
	– связь	100	100	–	–
	–обнаружение аварийных объектов	–	–	–	100
2	Точность определения местоположения, м				
	– по навигационному сигналу	500–600	250	80–100	80–100
	– по сигналу АРБ	–	–	–	1000–2000
3	Ресурс, лет	0,5	1,0	2,0	2,0
4	Масса, кг	850	850	850	850
5	Энергопотребление, Вт	100	100	100	100
6	Дата первого запуска	23.11.1967	26.12.1974	15.12.1976	30.06.1982
7	Количество запусков КА	25	97	20	10

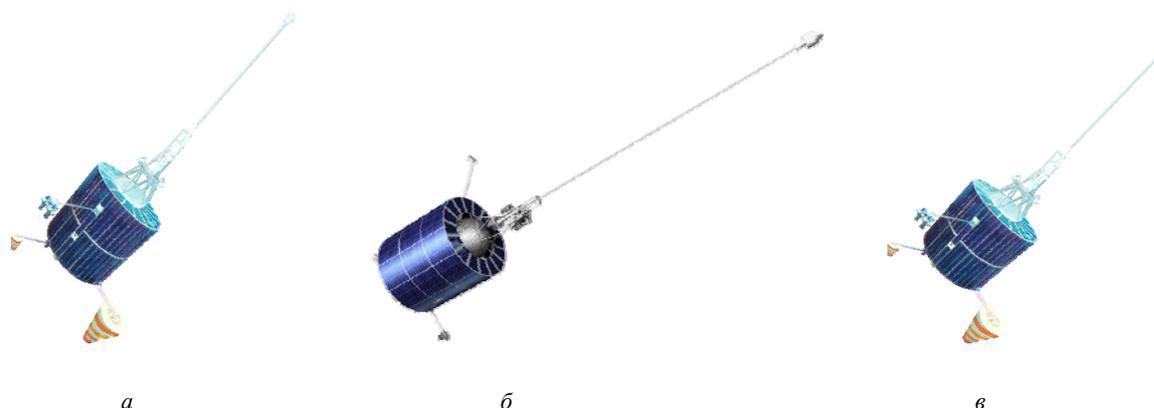


Рис. 1. Космические аппараты навигационных систем первого поколения:
 а – КА «Циклон»; б – КА «Циклон-Б»; в – КА «Цикада»; г – КА «Надежда»

Поэтому в середине 1970-х годов началась разработка единой космической навигационной системы страны. В 1976 г. были разработаны технические предложения, в 1977 г. – дополнение к ТП в части специальных применений системы, а в 1978 г. – эскизный проект навигационной спутниковой системы второго поколения ГЛОНАСС. Дальнейшие работы по созданию системы второго поколения проводились согласно правительственным директивным документам: постановления ЦК КПСС и СМ СССР от 29 августа 1979 года № 823-247 и четырех решений военно-промышленной комиссии СМ СССР [1–4].

Исходя из принципа навигационных определений, псевдодальномерным методом (одновременные измерения псевдодальностей до четырех или более спутников) математическим моделированием была выбрана структура спутниковой системы: 24 КА на круговых орбитах высотой 19140 км, наклонением 64,8°, трехплоскостная с фазовым сдвигом орбитальных позиций КА между плоскостями 0°, 15°, 30°. Для экономичного развертывания многоспутниковой системы ГЛОНАСС была заложена групповая схема выведения спутников носителем «Протон – К» тяжелого класса с разгонным блоком типа ДМ (по 3 КА), что

позволяло тремя запусками заполнить одну плоскость (один КА в орбитальном резерве).

Однако, ввиду отсутствия на тот момент РН среднего класса для одиночного выведения КА, в целях форсирования начала и повышения надежности реализации программы летных испытаний, а также учитывая значительный объем необходимой летной отработки одиночного КА, запуски первого навигационного спутника «Глонасс» (11Л) с космодрома «Байконур» 12.10.82 г. были произведены в блоке с 2-мя его габаритно-весовыми макетами, а 6 последующих с двумя КА и одним макетом. Это позволило с одной стороны отработать штатную систему отделения трех КА одновременно, а с другой реализовать принцип последовательных доработок КА по результатам летно-конструкторских испытаний предыдущих.

В ходе разработки, летных испытаний и создания навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС разработчики, столкнулись с необходимостью решения довольно объемного перечня проблемных вопросов. В основном все они были обусловлены требующимися высокой (единицы метров) точностью определения и прогнозирования орбитальных параметров (эфемерид) и наносекундной точностью синхронизации

бортовых (спутниковых) шкал времени с системной шкалой и соответственно между собой, а также обеспечением заданного трехлетнего ресурса работы КА в жестких условиях воздействия факторов космического пространства на этих орбитах. Возникла необходимость проведения поэтапной доработки спутников, учитывающей результаты летных испытаний, что повысило надежность и ресурс работы бортовой аппаратуры. В результате был достигнут, а затем превышен заданный 3-х летний срок активного существования спутников «Глонасс» (их средний САС составил 4,3 года при заданном – 3 года).

Для повышения точности определения и прогнозирования параметров движения навигационного спутника (эфемерид) по инициативе НПО ПМ, поддержанной Заказчиком (решение Комиссии Президиума СМ СССР по ВПВ от 06.06.84 г. № 182), был разработан пассивный (без радиотехнической аппаратуры) геодезический спутник «Эталон» [2; 8]. Спутник «Эталон» представлял собой компактное (диаметр 1 294 мм) массивное тело (массой 1 345 кг) сферической формы, что позволило точно рассчитать силу воздействующего на него светового давления и отделить ее от суммарного воздействия на движение спутника гравитационных полей Земли, Луны и Солнца (рис. 2). Измерения орбиты спутника «Эталон» проводились с помощью квантово-оптических средств (лазерных), запросные сигналы от которых отражаются спутником в обратном направлении с помощью угловых отражателей, размещенных на его сферической поверхности (более 2000 шт.). Спутники «Эталон» выводились в составе блока из трех КА вместо одного из КА «Глонасс», запущено два спутника: 10.01.1989 г. (Космос-1989) и 31.05.1989 г. (Космос-2024).

По результатам обработки значительного объема квантово-оптических дальномерных измерений по спутникам «Эталон» была создана согласующая модель движения спутника по «навигационным» орбитам «Глонасс», существенно повысившая точность

расчета эфемерид КА. Работа со спутниками осуществляется отечественными и зарубежными наземными квантово-оптическими средствами и до настоящего времени в интересах фундаментальной геодезии [8].

Одновременно с этим на навигационных спутниках были реализованы мероприятия по снижению уровня немоделируемых сил негравитационной природы за счет:

- исключения применения реактивных систем управления ориентацией КА и использования магнитных систем разгрузки маховиков системы ориентации;
- обеспечения высокоточной (± 1 угл. град.) ориентации солнечных батарей на Солнце и разработка специальных алгоритмов управления при прохождении малых и больших углов «Солнце-спутник-Земля» на теневых орбитах;
- уменьшения утечек вещества из замкнутых полостей КА (гермоконтейнер, привода, баки двигательной установки);
- уменьшение потерь вещества с поверхности космического аппарата за счет выбора мало газящих материалов;
- экранирование от Солнца подвижных механизмов КА, непрогнозируемо меняющих площадь его «солнечного миделя» (жалюзи СТР).

В результате этих работ уровень немоделируемых ускорений снизился до $5 \cdot 10^{-10} \text{ м/с}^2$.

В процессе летных испытаний системы ГЛОНАСС были подтверждены принципы навигационных определений, эфемеридного и частотно-временного обеспечения, создана служба высокоточного эфемеридно-временного обеспечения и соответствующее математическое обеспечение. Подтверждены новые технические решения по построению КА и его бортовых систем: высокостабильного стандарта частоты, магнитной системы разгрузки, гидразиновой двигательной установки, маховичной системы ориентации, одноконтурной (газовой) системы терморегулирования с жалюзи, аварийной закрутки КА для обеспечения живучести.

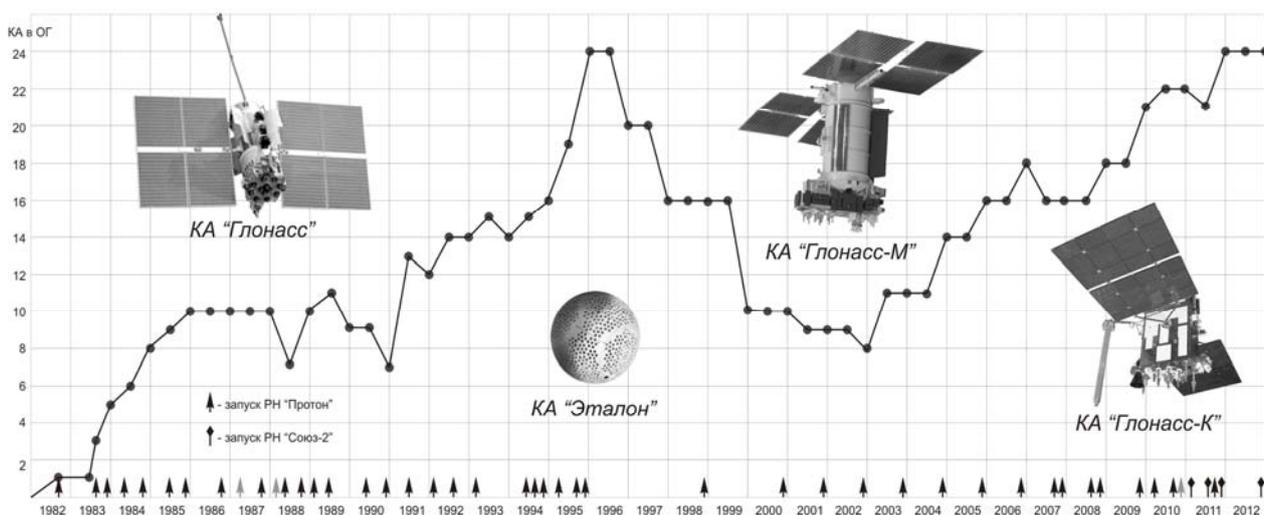


Рис. 2. Диаграмма развертывания орбитальной группировки системы ГЛОНАСС

После завершения в августе 1991 г. летных испытаний и последующего увеличения до 12-ти функционирующих на орбитах спутников система ГЛОНАСС в сентябре 1993 г. распоряжением Президента РФ от 24.09.93 г. № 658-рпс была принята в эксплуатацию. Последующими ежегодными запусками по 9 КА в 1994 г. и к концу 1995 г. система ГЛОНАСС была развернута до полного состава (24 КА) [1; 3; 4; 8]. В марте 1995 г. Решением Правительства РФ система ГЛОНАСС была представлена для гражданского использования в Международные организации (ИКАО, ИМО) на длительный период.

В целях снижения ежегодного количества запускаемых КА (9 КА) началась его модернизация в части увеличения ресурса до 5 лет и улучшения технических характеристик. Спутник «Глонасс-5» разрабатывался на основании решения Комиссии Президиума СМ СССР по ВПВ от 09.10.89 г. № 350. Однако на интервале с 1995 по 2002 гг. в связи с недостаточным финансированием работы по поддержанию количественного состава орбитальной структуры и модернизации системы практически были приостановлены, прекращены изготовление и запуски КА для замены выработавших ресурс. В результате произошла деградация системы ГЛОНАСС (количество КА в орбитальной группировке уменьшилось до 7), исключившая возможность ее использования по целевому назначению.

Всего по программе создания системы ГЛОНАСС было изготовлено 88 КА «Глонасс» (87 запущено, один передан в качестве учебного пособия в Военно-космическую академию имени А. Ф. Можайского), один КА «Глонасс-5» и 2 пассивных КА «Эталон». При этом, осуществлено 34 запуска по групповой схеме (3 КА) с космодрома «Байконур», из них два аварийных.

Признавая, что система ГЛОНАСС является национальным достоянием России, НПО ПМ совместно с кооперацией были предприняты колоссальные усилия по восстановлению и развитию системы ГЛОНАСС, предложив кардинальную модернизацию КА на базе задела по связным спутникам и перевести его изготовление из ПО «Полет» в НПО ПМ:

- установить бортовой процессор и аппаратуру межспутниковых измерений;
- повысить стабильность квантовых стандартов частоты до $1 \cdot 10^{-13}$ о. е.;
- сузить температурный диапазон в гермоконтейнере в районе размещения квантовых стандартов частоты до $\pm 1^\circ\text{C}$ с целью обеспечения стабильности бортовых стандартов частоты в условиях орбитального полета КА;
- расширить номенклатуру применяемых зарубежных ЭРИ, позволившей увеличить до 7-ми лет срок службы КА на орбите.

Предложения НПО ПМ, сформулированные в 1996 г. в материалах дополнения к эскизному проекту, были одобрены и поддержаны Заказчиком и использованы при принятии важных директивных документов, направленных на обеспечение функционирования системы ГЛОНАСС, ее модернизацию.

Конечным итогом этих работ стала разработка и утверждение Федеральной целевой программы «Глобальная навигационная система» (утверждена Постановлением Правительства РФ от 20.08.2001 г. № 587). Срок реализации программы – 2002–2011 гг. [2; 4].

ФЦП «ГЛОНАСС», предусматривает 2 этапа в развитии космического сегмента:

- 1) на основе спутников «Глонасс-М» с 7-летним САС;
- 2) на основе спутников «Глонасс-К» с 10-летним САС.

Возрождение системы ГЛОНАСС началось с декабря 2003 г. запусками КА «Глонасс-М» со сроком службы 7 лет и улучшенными ТТХ в составе блока вместе с двумя КА «Глонасс». Использование комбинированного запуска позволило начать летные испытания КА «Глонасс-М» с одновременным вводом в эксплуатацию КА «Глонасс», что приостановило деградацию космического сегмента. Для ускоренного развертывания ОГ предложено летные образцы КА после испытаний в течение 0,5–1,0 года переводить в опытную эксплуатацию, а темп запусков довести до двух в год с ежегодным изготовлением 6-ти КА на двух рабочих местах одновременно. Это обеспечило в начале 2012 г. возможность развернуть орбитальную структуру ГЛОНАСС навигационными КА «Глонасс-М» до штатного состава и создать орбитальный резерв.

Одновременно была разработана и частично реализована программа упреждающей летной квалификации новых космических технологий, предполагаемых для реализации на перспективных КА. Для этого, в процессе проектирования КА «Глонасс-М» был разработан унифицированный интерфейс, обеспечивающий установку в качестве дополнительной полезной нагрузки экспериментальной бортовой аппаратуры различного характера и целевого назначения с минимальными доработками КА. Программа упреждающей летной квалификации новых космических технологий уже частично реализована (см. табл. 2).

Космический эксперимент с излучением навигационных радиосигналов в диапазоне частот L3 на 5 лет раньше (планируемый срок запуска КА «Глонасс-К» – 2010 г.) позволил России получить приоритет на его использование в системе ГЛОНАСС. Космический эксперимент с межспутниковой лазерной линией подтвердил возможность взаимного прецизионного наведения, измерения и информационного обмена.

Космические эксперименты с рубидиевыми стандартами частоты, бортовой ЦВМ, литий-ионными аккумуляторами подтвердили их работоспособность в реальных условиях космического пространства, что создало предпосылки их надежной эксплуатации в составе перспективного навигационного КА «Глонасс-К» негерметичного конструктивного исполнения. В перспективе предусмотрено проведение экспериментов с датчиками системы ориентации, с системой прецизионной термостабилизации на базе плоских тепловых труб (гипертеплопроводящих пластин), с приемом запросного лазерного сигнала на КА, повторение экспериментов с межспутниковой лазерной линией.

Номенклатура реализованных космических экспериментов

№	Наименование	Номер изделия	Дата запуска
1	Излучение новых радиосигналов в диапазоне L3	№ 14	25.12.05
2	Эксперимент с литий-ионными аккумуляторами	№ 27	26.12.08
3	Эксперимент с межспутниковой лазерной линией	№ 28, 29	26.12.08
4	Эксперимент с бортовой ЦВМ	№ 23	25.12.07
5	Эксперимент с рубидиевым стандартом частоты	№ 33	14.12.09
		№ 32	16.02.10

На спутниках «Глонасс-М» так же реализуется по заявкам программа размещения информационных пластин (табличек). Всего на 15 спутниках «Глонасс-М» отправлены в космос 69 табличек со сведениями, увековечивающими память о более 600 создателях космической техники, важных вехах в истории страны, событиях планетарного масштаба (сайт www.glonass-post.narod.ru).

Всего в рамках ФЦП «Глобальная навигационная система» было изготовлено 36 КА «Глонасс-М». Первые 4 летных КА «Глонасс-М» запущены в составе комбинированного блока совместно с КА «Глонасс». При этом, осуществлено 10 запусков по групповой схеме (3 КА) с космодрома «Байконур» (один аварийный запуск) и два запуска по одиночной схеме (1 КА) с космодрома «Плесецк».

Следующей модификацией навигационных спутников в соответствии с ФЦП «Глобальная навигационная система» является КА «Глонасс-К» с 10-летним сроком службы и с негерметичным приборным блоком [2; 4].

На КА этой модификации, кроме наличия на нем аппаратуры межспутниковой радиолинии и аппаратуры обнаружения и засечки импульсных вспышек, возлагались дополнительные функции:

- излучение 2-компонентного навигационного сигнала в частотном диапазоне L3 (1,2 ГГц);
- излучение сигнала в см-диапазоне (~15 ГГц) для определения поправки курсоуказания как азимута фиксированного направления;
- обнаружение и ретрансляция сигналов аварийных радиобуев с объектов, терпящих бедствие, с целью оповещения о бедствии и местоположении терпящего бедствие объекта (функция спасания).

Запуск КА «Глонасс-К» планировался по групповой схеме (2 КА) с космодрома «Плесецк» РН «Союз-2Б» с РБ «Фрегат» (допустимая масса КА «Глонасс-К» 850кг) или с космодрома «Байконур» РН «Протон-М» с РБ «Бриз-М» (РБ ДМ) в составе комбинированного блока совместно с КА «Глонасс-М» (масса не более 1100 кг).

К сожалению, реальная масса КА «Глонасс-К» выросла до 962 кг, что не обеспечивало групповой запуск (2 КА) РН «Союз-2Б» с РБ «Фрегат». Запуск КА «Глонасс-К» в составе комбинированного блока совместно с КА «Глонасс-М» также был отклонен, так как стояла задача ускоренного развертывания штатной орбитальной группировки (24 КА). Поэтому была реализована схема выведения одного КА «Глонасс-К» с космодрома «Плесецк» РН «Союз-2Б» с РБ «Фре-

гат» (26.02.2011 г). В настоящее время первый летный образец КА «Глонасс-К» проходит летно-конструкторские испытания. В 2013 г запланирован запуск второго летного образца КА «Глонасс-К». Последующие запуски КА «Глонасс-К» пока не планируются.

3. Перспективы развития космической навигации. Дальнейшие работы по системе ГЛОНАСС запланировано проводить в рамках Федеральной целевой программы «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 годы» (Постановление Правительства РФ от 03.03.12 г. № 189).

Основными задачами Программы являются:

1. Поддержание системы ГЛОНАСС с гарантированными характеристиками навигационного поля на конкурентоспособном уровне.

2. Развитие системы ГЛОНАСС в направлении улучшения ее тактико-технических характеристик с целью обеспечения паритета с зарубежными системами и обеспечения лидирующих позиций Российской Федерации в области спутниковой навигации.

3. Обеспечение использования системы ГЛОНАСС, как на территории Российской Федерации, так и за рубежом.

В рамках работ по этой Программе в части космического комплекса необходимо:

1. Разработать и провести летные испытания космического аппарата нового поколения «Глонасс-К2» с улучшенными тактико-техническими характеристиками и расширенными функциональными возможностями.

2. Провести обновление состава орбитальной группировки системы ГЛОНАСС космическими аппаратами «Глонасс-К2».

3. Завершить модернизацию наземного комплекса управления, комплексов средств формирования эфемеридной информации и синхронизации шкал времени и фундаментального сегмента системы ГЛОНАСС (геодезическое обеспечение, прогнозирование параметров вращения Земли, изучение геопотенциала).

На период разработки и проведения летных испытаний КА «Глонасс-К2» (до 2017г.) для поддержания штатной орбитальной группировки необходимо изготовить и запустить на орбиту 14 серийных КА. В ФЦП предусмотрены запуски КА «Глонасс-М» по групповой (3) и одиночной (5) схемам. ОАО «ИСС» проработало альтернативную схему поддержания штатной орбитальной группировки запусками комбинированных блоков совместно КА «Глонасс-М» и КА «Глонасс-К» с помощью РН «Протон-М» с РБ «Бриз-М» (РБ «ДМ»). По этой схеме изготавливаются 7 КА

«Глонасс-М» (№ 47-54) и 7 КА «Глонасс-К» (№ 13-19) и запускаются по одиночной и групповой (комбинированный блок) схемам в зависимости от состояния орбитальной группировки. В результате за счет большего ресурса КА «Глонасс-К» получается экономия, эквивалентная по стоимости трем КА «Глонасс-М», а также ускоряется реализация системой новых функций: спасания и уточнения курсоуказания.

На космическом аппарате нового поколения «Глонасс-К2» должны быть реализованы мероприятия, заданные в утвержденной в 2006 г. Заказчиками «Программе обеспечения и повышения точностных и эксплуатационных характеристик системы ГЛОНАСС», в том числе модернизация излучаемых КА радионавигационных сигналов в направлении расширения номенклатуры и повышения их характеристик, как в интересах санкционированных (специальных), так и гражданских пользователей, а также обеспечения совместимости систем ГЛОНАСС, GPS, GALILEO: по системам координат и единому времени. Согласно этой программе, а также разработанной позже «Концепции развития навигационных сигналов глобальной навигационной системы ГЛОНАСС» пре-

дусматривается излучение сигналов с кодовым и частотным разделением в трех диапазонах L1 (1,6 ГГц), L2 (1,25 ГГц) и L3 (1,2 ГГц) (табл. 3).

По результатам эскизного проектирования (2010 г.) навигационный КА «Глонасс-К2», удовлетворяющий требованиям по расширению номенклатуры навигационных сигналов и решаемых задач получился с увеличенными массовыми и габаритными характеристиками, ограниченными возможностями средств выведения: одиночная схема с помощью РН «Союз-2» с РБ «Фрегат» и групповая схема (2 КА) с помощью РН «Протон-М» с РБ «Бриз-М».

Дальнейшие проработки ОАО ИСС показали возможность размещения трех КА в зоне полезного груза РН «Протон-М» за счет применения оригинальной компоновки негерметичной схемы КА. Этот вариант проектного облика КА «Глонасс-К2» был одобрен Советом главных конструкторов (март 2011 г.) и заложен в реализацию.

К моменту завершения этапа ФЦП (2020 г) космический комплекс системы ГЛОНАСС должен обеспечивать характеристики, сопоставимые с зарубежным аналогом (табл. 4).

Таблица 3

Номенклатура навигационных сигналов

№	Наименование КА	Частотное разделение	Кодовое разделение	Состояние
1	КА «Глонасс»	L1OF, L1SF, L2SF	–	Реализовано
2	КА «Глонасс-М»	L1OF, L1SF, L2OF, L2SF	–	Реализовано
3	КА «Глонасс-К»	L1OF, L1SF, L2OF, L2SF	L3OC	Реализовано
4	КА «Глонасс-К2»	L1OF, L1SF, L2OF, L2SF	L1OC, L1SC, L2SC, L2POC, L3OC,	Реализуется с 2015 г.

Таблица 4

Сравнение характеристик КА систем ГЛОНАСС и GPS

Наименование	«Глонасс-М»	«Глонасс-К»	«Глонасс-К2»	«Блок-ИИР-М»	«Блок-ИИФ»	«Блок-ИИ»
1. Решаемые задачи:						
1.1. Количество и тип навигационных сигналов	L1OF, L1SF, L2OF, L2SF	L1OF, L1SF, L2OF, L2SF, L3OC	L1OF, L1SF, L2OF, L2SF, L1OC, L1SC, L2SC, L2POC, L3OC	L1P/Y, L1C/A, L1M, L2P/Y, L2M, L5	L1P/Y, L1M, L1C/A, L2M, L2P/Y, L2C, L5	L1P/Y, L1M, L1C/A, L1C, L2M, L2P/Y, L2C, L5
1.2. Межспутниковые измерения						
– радиодиапазон	+	+	+	+	+	+
– оптический диапазон	–	–	+	–	–	–
1.3. Задачи КОСПАС-САРСАТ		+	+	+	+	+
1.4. Дополнительные задачи	1	2	6	Н.Д.	заложены резервы ресурсов	
2. Мощность БС в конце САС, Вт	2200	2265	6240	1136	2400	Н. Д.
3. Масса КА, кг	1415	935 (962)	1645	1075	1559	1800
4. Технический полетный ресурс	7	10	12,5	10	12	12
5. Срок активного существования, лет	7	10	10	7,5	9,9	Н.Д.
6. Год первого запуска	2003	2011	2014	2005	2010	2014
7. Точность местоопределения (с вероятностью 0,95), м	7–18	6–12	1	3	3	2,5

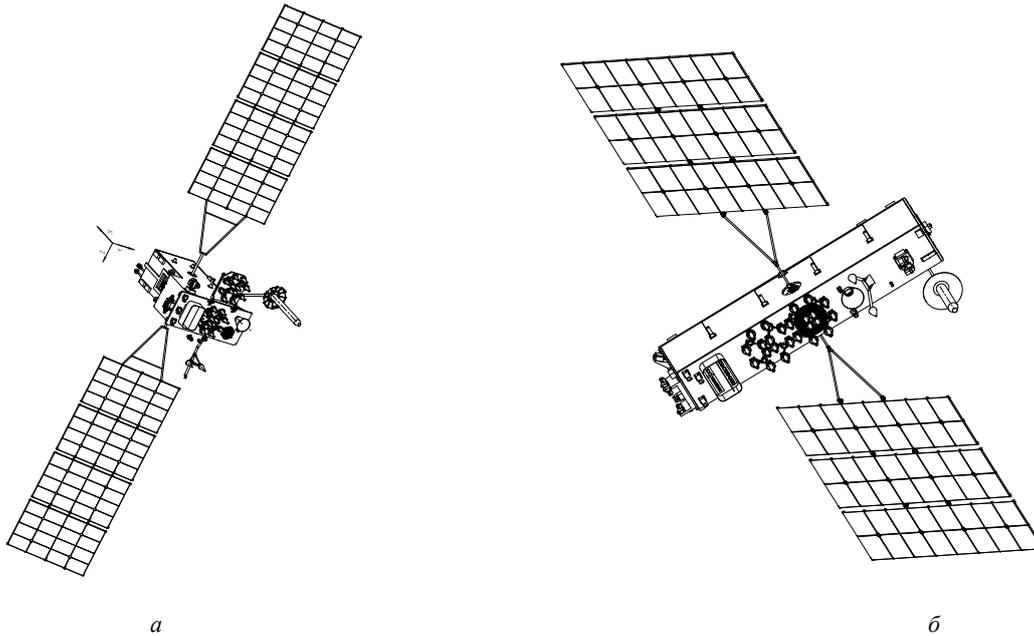


Рис. 3. Перспективные космические аппараты системы ГЛОНАСС:
 а – КА «Глонасс-К2» – эскизный проект; б – КА «Глонасс-К2» – технический проект

Отечественная космическая навигация создавалась поэтапно, усилиями военных и гражданских специалистов из различных организаций и предприятий нашей страны.

В процессе реализации такого крупномасштабного проекта было преодолено множество научно – технических проблем и получено множество технических решений, защищенных авторскими свидетельствами и патентами. Космическая навигационная система ГЛОНАСС является национальным достоянием России и предоставляет услуги отечественным и зарубежным мобильным потребителям на бесплатной основе. Будущее системы ГЛОНАСС связано с эффективной интеграцией с зарубежными навигационными системами для повышения надежности и качества навигационных услуг.

Библиографические ссылки

1. Сетевые спутниковые радионавигационные системы / В. С. Шебшаевич, П. П. Дмитриев, Н. В. Иванцевич [и др.] / под ред. В. С. Шебшаевича. 2-е изд. перераб. и дополн. М. : Радио и связь, 1993. 408 с.
2. Чеботарев В. Е., Косенко В. Е. Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2011. 488 с., [24] с ил.
3. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / В. Е. Косенко, А. И. Перов, В. Н. Харисов, В. Е. Чеботарев [и др.] ; под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова. Изд. 4-е, перераб. и доп. М. : Радиотехника, 2010. 800 с., ил.
4. Космические аппараты информационного обеспечения – успехи преемственного развития / Н. А. Тестоедов, В. Е. Косенко, В. В. Попов и др. // Успехи со-

временной радиоэлектроники. М. : Радиотехника, 2012. № 9. С. 111–118.

5. Академик Михаил Федорович Решетнев / А. Г. Козлов [и др.] ; Науч.-произв. об-ние прикл. механики. Железногорск. 2006. 334 с.
6. Скубко Р. А., Мордвинов Б. Г. Спутник у штурвала. Л. : Судостроение, 1989. 208 с.
7. Международная космическая радиотехническая система обнаружения терпящих бедствие / А. И. Балашов, Ю. Г. Зубарев, Л. С. Пчеляков [и др.]. М. : Радио и связь, 1987. 376 с.
8. Использование пассивных КА для повышения точности фундаментальных геодезических параметров. / В. Е. Косенко, В. Ф. Черемисин, В. Е. Чеботарев [и др.] // Геодезия и картография. 1993. № 12. С. 21–23.

References

1. Shebshaevitch V. S., Dmitriev P. P., Ivantsevitch N. V. et al. *Setevyye sputnikovyye radionavigatsionnyye sistemy* (Network satellite radionavigation systems). Moscow, Radio and communication, 1993, 408 p.
2. Chebotarev V. E., Kosenko V. E. *Osnovy proyektirovaniya kosmicheskikh apparatov informatsionnogo obespecheniya SibGAU* (Foundation of information satellites design: tutorial). Siberian State Aerospace University. Krasnoyarsk, 2011. 488 p.
3. Kosenko V. E., Perov A. I., Kharisov V. N., Chebotarev V. E. et al. *GLONASS. Design and operation concepts*. Moscow, Radiotechnics, 2010. 800 p.
4. Testoyedov N. A., Kosenko V. E., Popov V. V., Zvonar V. D., Chebotarev V. E., Yakovlev A. V. *Uspekhi sovremennoy radioelektroniki* (Progress of modern radioelectronics). Moscow, Radiotechnics, 2012, no. 12, p. 111–118.

5. Kozlov A. G. et al. Academician Mikhail Fedorovitch Reshetnev. Science and Production Association of Applied Mechanics. Zheleznogorsk, 2006. 334 p.

6. Skubko R. A., Mordvinov B. G. Satellite at the helm. Leningrad, Shipbuilding, 1989. 208 pp.

7. Balashov A. I., Zubarev Y. G., Pchelyakov L. S. et al. International space radio-technical system of seafarers in distress. Moscow, Radio and communication, 1987. 376 p.

8. Kosenko V. E., Cheremisin V. F., Chebotarev V. E. et al. *Geodeziya i kartografiya* (Geodesy and mapping), 1993, no. 12. p. 21–23.

© Тестоедов Н. А., Косенко В. Е., Сторожев С. В., Звонарь В. Д., Ермоленко В. И., Чеботарев В. Е., 2013

УДК 629.78

ГЛОНАСС – СТРАТЕГИЧЕСКИЙ РЕСУРС РОССИИ

А. Ю. Данилюк³, С. Г. Ревнивых², Н. А. Тестоедов⁴, Г. Г. Ступак¹, Ю. М. Урличич¹

¹ ОАО «Российские космические системы»
Россия, 111250, Москва, ул. Авиамоторная, 53

² Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения (ИАЦ КВНО ФГУП ЦНИИмаш)
Россия, 141070, Московская область, Королев, ул. Пионерская, 4. E-mail: a-daniluk@mail.ru

³ ФБУ 4 ЦНИИ Министерства обороны России
Россия, 111091, Московская область, Юбилейный, ул. Тихонравова, д. 29

⁴ ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева
Россия, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52

Рассматриваются итоги выполнения Федеральной целевой программы «Глобальная навигационная система» (2002–2011 гг.), цели и задачи ФЦП «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 гг.». В новой ФЦП основной приоритет ее использования направлен на массовое внедрение отечественных навигационных технологий на российском и зарубежном рынках навигационных услуг в интересах всех категорий потребителей. Гарантированное предоставление услуг с учетом непрерывно возрастающих требований к ним обеспечивается лидирующей ролью Российской Федерации в области глобальной спутниковой навигации за счет поддержания и развития системы ГЛОНАСС, улучшения ее характеристик, расширения функциональных возможностей, условий и сфер использования, сбалансированностью развития составных частей системы.

Ключевые слова: навигационная система ГЛОНАСС, орбитальная группировка, дифференциальное дополнение.

GLONASS IS THE STRATEGIC RESOURCE OF RUSSIA

A. Yu. Danilyuk³, S. G. Revnivykh², N. A. Testoedov⁴, G. G. Stupak¹, Yu. M. Urlichich¹

¹JSC «Russian Space Systems»
53 Aviamotornaya str., 111250, Moscow, Russia.

²Information and Analysis Center for PNT of the Central Research Institute of Machine Building
4 Pionerskaya str., Korolev, Moscow Region, 141070, Russia.

³4th Central Research Institute of Defense Ministry
29 Tikhonravova str., Yubileyny, Moscow region, 111091, Russia

⁴JSC “Academician M. F. Reshetnev “Information Satellite Systems”
52 Lenin str., Zheleznogorsk, Krasnoyarsk Region, 662972, Russia

It is considered the final results of the Federal Program “Global Navigation System” (2002–2011), as well as the goals and objectives of the Federal Program “Maintenance, development, and exploitation of the GLONASS system for the period of 2012–2020”. In the new Federal Program the main priority of its application is aimed to the mass native navigation technologies adoption at domestic and foreign markets of navigation services for the good of all categories of users. The service delivery, with the account of continuously growing demands of users, is guaranteed and provided with the leading role of Russian Federation in satellite navigation by means of maintenance, development and performances improvement of the GLONASS system, functional capabilities enhancement, conditions and fields of its application extension, and balanced development of all the system components.

Keywords: the GLONASS navigation system, orbital group, fluxional complement.

На заседании президиума Правительства Российской Федерации 09.02.2012 г. Владимир Владимирович Путин отмечал: «...К концу прошлого года мы сумели развернуть штатную орбитальную группиров-

ку: глобальная навигационная система состоялась... это большой, хороший результат. По сути, в мире это вторая такая глобальная система после американской GPS. За последние пять лет точность ГЛОНАСС