

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

улучшена на порядок – с 35 до 2,8 м. У GPS пока чуть-чуть получше, но уже абсолютно сопоставимые параметры...»

Слова руководителя государства фактически подводят итоги напряженной работы больших коллективов специалистов различного профиля за период 2002–2011 годы.

12 октября 2012 года исполнилось 30 лет со дня запуска первого космического аппарата (КА) системы ГЛОНАСС. За эти годы система прошла различные стадии в своем развитии. Динамика состава орбитальной группировки системы ГЛОНАСС представлена на рис. 1. Систему ГЛОНАСС до 2003 г. на орбите представляли спутники «Глонасс», спроектированные и созданные еще в 70–80-х гг. прошлого века. С 2003 г. начаты запуски космических аппаратов системы второго поколения «Глонасс-М» с существенно лучшими, чем у предшественника техническими характеристиками, которые сегодня и составляют основу орбитальной группировки системы. В 2008 г. начат массовый выпуск навигационной аппаратуры потребителей (НАП). 26 февраля 2011 г. в рамках проводимых летно-конструкторских испытаний успешно осуществлен запуск первого космического аппарата третьего поколения с улучшенными характеристиками «Глонасс-К».

В состав системы ГЛОНАСС входят пять основных постоянно совершенствующихся элемента (рис. 2), а именно: космический комплекс; средства фундаментального обеспечения; комплекс функциональных дополнений; система апостериорного высокоточного определения эфемерид и временных поправок; комплекс аппаратуры потребителей навигационной и временной информации.

Система ГЛОНАСС, являясь навигационной системой двойного назначения, обеспечивает решение навигационных и координатно-временных задач

в интересах как специальных, так и гражданских потребителей. Федеральная целевая программа на период 2012–2020 гг. служит основой для поддержания, развития и эффективного использования системы ГЛОНАСС.

Совершенствование системы ГЛОНАСС необходимо для удовлетворения возрастающих требований всех групп потребителей и обеспечения ее конкурентоспособности. При этом работы по развитию системы ГЛОНАСС целесообразно проводить с учетом мировых тенденций развития глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), основными направлениями которых являются:

- исследование перспективных методов и технологий повышения точности навигации в абсолютном режиме до субметрового уровня;
- исследование прецизионной дифференциальной навигации;
- разработка методов и технологий для обеспечения навигации в сложных условиях;
- расширение зоны функционирования;
- комплексирование спутниковых и других методов (технологий) навигации;
- интегрирование навигационных и связанных технологий на системном и потребительском уровнях, в том числе, использование межспутниковых навигационно-связных линий в различных диапазонах.

Целью поддержания и развития системы ГЛОНАСС является доведение характеристик ГЛОНАСС до конкурентоспособного уровня и обеспечение их стабильности, а также дальнейшее улучшение характеристик ГЛОНАСС, развитие ее орбитальной группировки, расширение областей применения, обеспечение использования системы ГЛОНАСС как на территории Российской Федерации, так и за рубежом.

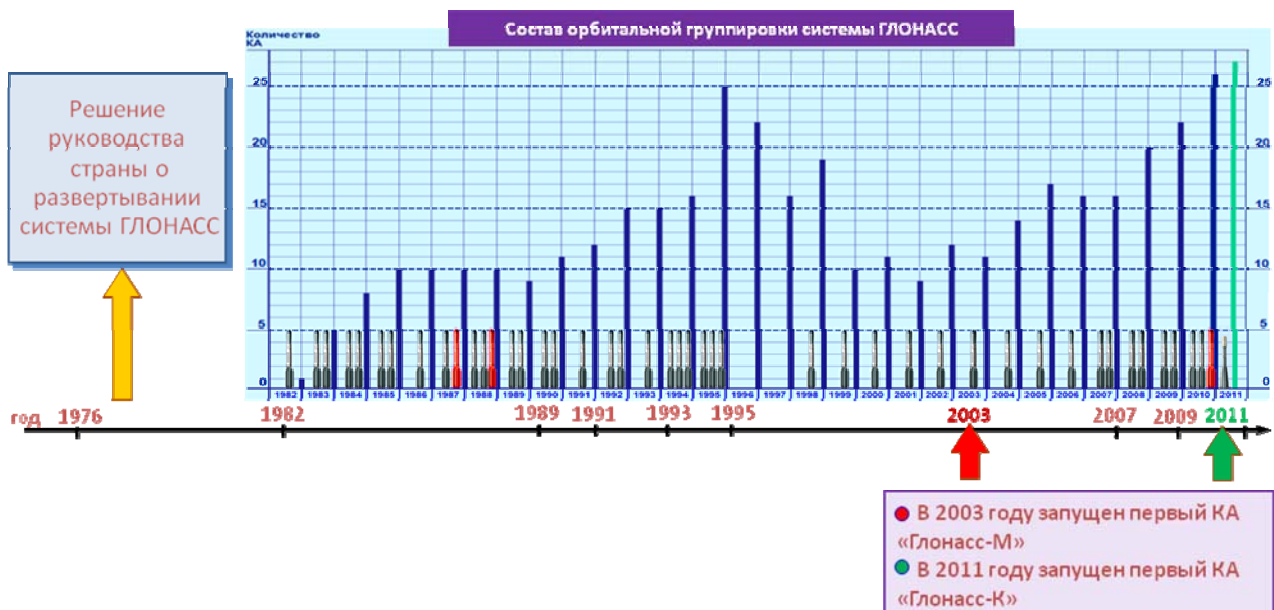


Рис. 1. Состав орбитальной группировки системы ГЛОНАСС



Рис. 2. Состав системы ГЛОНАСС

Кроме того, стратегия развития системы ГЛОНАСС связана с дополнительным решением следующих основных задач:

- сертификацией системы ГЛОНАСС;
- развитием функциональных дополнений;
- развитием средств фундаментального обеспечения;
- обеспечением совместимости и взаимодополняемости ГНСС;
- созданием опережающего научно-технического задела для развития ГЛОНАСС;
- расширением функциональных возможностей ГЛОНАСС (навигация, связь, дистанционное зондирование Земли), использованием «интеллектуально-го» ресурса орбитального построения;
- разработкой технологий и средств навигации для освоения дальнего космоса (Луны и других планет Солнечной системы);
- разработкой новых принципов построения систем навигации.

Улучшение характеристик системы ГЛОНАСС связано:

- с вводом перспективных КА, завершением модернизации и вводом в эксплуатацию наземного комплекса управления (НКУ) системы ГЛОНАСС, что обеспечит повышение точности навигационно-временных определений;
- реализацией технологии сокращения периодичности «обновления» эфемеридно-временной информации на КА системы ГЛОНАСС (до 8 часов – НКУ, до 1–2 часов – бортовая аппаратура межспутниковых измерений (БАМИ), межспутниковая лазерная навигационно-связная система (МЛНСС). Указанное направление также позволит повысить точности навигационно-временных определений;

- завершением испытаний и вводом в эксплуатацию космического сегмента системы дифференциального контроля и мониторинга (СДКМ) на базе КА «Луч-5А» и «Луч-5Б», обеспечивающих не только повышение точности навигационно-временных определений, но и контроль целостности системы;

- внедрением сигнала L3OC с кодовым разделением на КА «Глонасс-М», обеспечивающего повышение помехозащищенности и точности навигационно-временных определений;

- эфемеридно-временным обеспечением более 24 КА (до 30 КА) средствами модернизированного НКУ системы ГЛОНАСС, повышающего эффективное использование КА орбитального резерва;

- модернизацией орбитального построения системы ГЛОНАСС и альманаха системы, обеспечивающих эффективное использование по целевому назначению более 24 КА, связанного с повышением точности навигационно-временных определений, доступности в условиях городской застройки, эффективным обеспечением летно-конструкторских испытаний новых КА;

- развертыванием сети измерительных средств за рубежом, улучшающих возможности и характеристики наземного комплекса управления и системы дифференциальной коррекции и мониторинга.

Критически важными элементами для создания перспективной системы ГЛОНАСС, использующей не менее 24-х космических аппаратов (в ближайшей перспективе до 30-ти КА) по целевому назначению, являются способ построения орбитальной группировки (ОГ), структура и состав альманаха системы, определяющие целевые возможности ГНСС, а также элементов космического комплекса, комплекса функциональных дополнений (КФД) и комплексов средств

навигационной аппаратуры потребителей, учитывая «внесенные» дополнительные возможности при модификации отдельных ее составных частей.

Обоснование и разработка предложений по указанным элементам имеет первостепенное значение. Для внедрения концепции модернизации глобальной навигационной спутниковой системы в жизнь необходимо соответственно реализовать решение следующих задач:

1) осуществить модернизацию альманаха системы для сигналов с частотным разделением:

- разработать и согласовать модифицированный альманах системы;
- экспериментально проверить корректность применения модифицированного альманаха системы;
- разработать, согласовать и выпустить соответствующий модифицированный интерфейсный контрольный документ (ИКД);

2) доработать (модернизировать) систему ГЛОНАСС:

- космический комплекс (наземного и бортового комплексов управления, бортовую специальную аппаратуру);
- комплекс функциональных дополнений (систему дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ), региональные и локальные дифференциальные системы и др.);
- систему высокоточного определения эфемерид и временных поправок (СВОЭВП);
- комплексы средств навигационной аппаратуры потребителей;

3) модернизировать орбитальное построение системы ГЛОНАСС:

- разработать и исследовать оптимальные (рациональные) варианты состава, структуры и характеристик группировки навигационных космических аппаратов;
- осуществить корректировку тактико-технических требований к глобальной навигационной спутниковой системе, выпустить интерфейсный контрольный документ;

- доработать (модернизировать) соответствующие элементы системы ГЛОНАСС и корректировку специальной и эксплуатационной документации в соответствии с изменениями орбитальной группировки системы.

Общие данные по структурам орбитального построения существующих и перспективных глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) приведены в табл. 1.

Достоинствами жесткой структуры орбитального построения спутниковых навигационных систем являются:

- удобство формирования и поддержания орбитальной структуры;
- обеспечение эквивалентного уровня возмущений, обусловленных действием гравитационного поля Земли, как наиболее значимого для движения КА (одинакового для всех КА) орбитальной группировки (ОГ);
- уход от гравитационного резонанса, который обеспечивает более благоприятные условия эфемеридного обеспечения при региональных схемах наземного комплекса управления (НКУ).

По этим причинам космическим аппаратам системы ГЛОНАСС целесообразно оставаться в «жестких» структурах орбитального построения.

Лучшая орбитальная структура системы ГЛОНАСС (по сравнению с системой GPS), удобная к формированию и поддержанию орбитальной структуры, не чувствительная к гравитационному резонансу на орбите, тем не менее требует своего дальнейшего совершенствования.

Мировой тенденцией развития глобальных навигационных спутниковых систем является увеличение количества навигационных КА в составе ОГ свыше минимально необходимого (штатного) при условии их оптимального (рационального) размещения.

Использование по целевому назначению более 24 КА системы ГЛОНАСС связано с преодолением ряда проблем, представленных в табл. 2.

Интегральное рассмотрение требований к современным навигационным системам и тщательный анализ мировых тенденций развития ГНСС показывает, что модернизацию орбитальной группировки системы ГЛОНАСС целесообразно проводить с целью:

1. Повышения точности (уменьшение геометрического фактора) и доступности навигационных услуг за счет увеличения общего количества КА и рационального их размещения в ОГ системы.
2. Обеспечения конкурентоспособности ГЛОНАСС глобально и на территории Российской Федерации.
3. Эффективного использования КА орбитального резерва на начальном этапе.
4. Эффективного проведения летных испытаний КА новых поколений (без нарушения штатного функционирования системы).

Таблица 1

Структура орбитального построения глобальных навигационных спутниковых систем

ГНСС	Количество орбитальных плоскостей	Количество КА в ОГ (номинальное /фактическое)	Структура орбитального построения	Наличие орбитального резерва
ГЛОНАСС	3	24/31	жесткая	есть
GPS	6	24/30	условно-произвольная	нет
GALILEO	3	27/4	жесткая	есть
COMPASS	3	27/4	жесткая	нет

Использование по целевому назначению более 24 КА системы ГЛОНАСС

Проблемные вопросы (препятствия)	Направления разрешения (преодоление)
Излучения навигационных сигналов с частотным разделением (<i>ограничение количества литерных частот</i>)	Использование всех «разрешенных» литерных частот и реализация дополнительных навигационных сигналов с кодовым разделением
Существующий альманах системы позволяет использовать по целевому назначению не более 24 КА	Модификация существующего альманаха сигналов с частотным разделением, разработка «нового» альманаха сигналов с кодовым разделением
Жесткая структура орбитального построения КА системы ГЛОНАСС (штатно 24 КА в трех плоскостях в однозначно определенных системных точках)	Модернизация орбитальной группировки системы ГЛОНАСС

Рассмотрение ГЛОНАСС с точки зрения теории систем позволяет отнести ее к классу больших систем с соответствующим описанием, признаками, этапами создания, эксплуатации (функционирования) и развития. В этой связи и с учетом целей совершенствования могут быть сформулированы основные принципы модернизации орбитальной группировки (ОГ) системы ГЛОНАСС, а именно:

1. Эволюционного развития ОГ системы ГЛОНАСС и преемственности существующими потребителями. Указанный принцип предполагает сохранение существующей структуры ОГ и использование ее как базовой, в том числе для обеспечения функционирования существующего парка НАП специального и массового назначения.

2. Открытой перспективы: приведения ОГ системы ГЛОНАСС к открытой и незамкнутой структуре. Принцип предполагает обеспечение эффективного применения по целевому назначению «произвольного» количества КА, в том числе проведения летных испытаний.

3. Антиподности размещения КА в плоскостях. Таким образом, осуществляется обеспечение оптимального использования ограниченного ресурса литерных частот, всего 15 (–7...+7).

4. Устойчивости структуры ОГ расширенного состава в течение срока активного существования КА (~10 лет). Указанным принципом достигается минимизация затрат рабочего тела и соответствующих запасов характеристической скорости на построение и поддержание структуры ОГ

1. Минимизации сроков и затрат на модернизацию ОГ системы ГЛОНАСС, а также возможных рисков при модернизации.

2. Повышение (не снижение) эффективности функционирования систем, базирующихся на КА ГЛОНАСС (КОСПАС-САРСАТ, Лира и др.).

Основные направления развития системы ГЛОНАСС предполагают гармоничное скоординированное развитие всех ее составных частей, а именно: космического комплекса, средств фундаментального обеспечения, комплекса функциональных дополнений, системы апостериорного высокоточного определения эфемерид и временных поправок, а также

комплекса аппаратуры потребителей навигационной и временной информации. Направления совершенствования должны быть в русле мировых тенденций создания и развития спутниковых навигационных систем. К таким тенденциям в настоящее время, прежде всего, следует отнести стремление синергетического объединения всех элементов глобальных и региональных спутниковых систем, их функциональных дополнений, а также ассистирующих систем с целью гарантированного предоставления высококачественных навигационных услуг.

Главными побудителями развития системы ГЛОНАСС являются постоянно возрастающие требования широкого круга специальных и гражданских потребителей к качеству навигационно-временного обеспечения, а также необходимость сохранения за Россией лидирующих позиций в области спутниковой навигации. С другой стороны, развитие ГЛОНАСС порождает новые возможности, трансформирующиеся в новые технологии и услуги, которые, в свою очередь, ассоциируют у пользователей новые потребности (рис. 3). Такие связи обуславливают непрерывность и цикличность развития ГЛОНАСС.

Спутниковая навигация является технологической основой многих разрабатываемых интеллектуальных систем.

На международном уровне создается Международная аэрокосмическая система глобального мониторинга (проект «МАКСМ»). К настоящему времени заключено более 80 соглашений о сотрудничестве с различными организациями в 36 странах мира.

На федеральном уровне идет создание проектов системы экстренного реагирования при авариях «ЭРА-ГЛОНАСС». По данным Европейского совета безопасности дорожного движения (ETSC) Россия занимает первое место в списке стран, где участников дорожного движения подстерегают наибольшие опасности. Так, по статистике в нашей стране от 26 до 35 тыс. человек в год погибает при ДТП, 76 % из них – доля лиц трудоспособного возраста из числа погибших; 476 млрд руб. (2,6 % ВВП) – ущерб в результате ДТП; 56 % пострадавших в ДТП умирает до прибытия в лечебные учреждения.

Система ГЛОНАСС развивается непрерывно



Рис. 3. Непрерывное и циклическое развитие системы ГЛОНАСС

Поэтому создание системы экстренного реагирования при авариях «ЭРА ГЛОНАСС» на базе многофункциональных приемных устройств отечественного производства, развитие рынка услуг ГЛОНАСС играет огромную роль.

Другой важный проект федерального уровня – проект «Социальный ГЛОНАСС», целью которого является повышение качества жизни инвалидов на основе использования новейших навигационных и информационных технологий. Ведь реальные данные показывают, что:

- количество инвалидов в России к 2015 г. превысит 15 млн человек;
- по данным на 2011 г. количество инвалидов в Москве составляет 1,3 млн человек, из них 26 тыс. – дети, более 60 тыс. инвалидов не выходят из дома;
- по данным всероссийского центра изучения общественного мнения 87 % россиян убеждены в несправедливости по отношению к инвалидам.

Далеко не полный перечень проектов рассматриваемого уровня дополняют проекты специализированной навигационно-информационной системы, обеспечивающей сохранность документов в период избирательных кампаний; Федеральной системы мониторинга критически важных объектов и (или) потенциально опасных объектов инфраструктуры Российской Федерации и опасных грузов; государственной автоматизированной системы мониторинга инфраструктуры и ресурсов Российской Федерации (проект ГАС «МИР»); системы целевой подготовки и повышения квалификации специалистов по спутниковой навигации и другие.

На региональном и муниципальном уровнях разрабатываются и внедряются типовые базовые элементы (для тиражирования в регионах) интеллектуальной транспортной системы; системы высокоточ-

ного мониторинга смещений инженерных сооружений с использованием технологий ГЛОНАСС/GPS; системы мониторинга рыбопромысловых судов; системы высокоточного спутникового позиционирования; системы управления пространственными данными; системы мониторинга дорожно-транспортной инфраструктуры; мобильной платформы высокоточных измерений.

Объективными предпосылками для международного сотрудничества в области ГНСС является совместимость и взаимодополняемость ГНСС, интеграция наземной инфраструктуры функциональных дополнений, внедрение российских технологий и оборудования за рубежом, обеспечение совместимости функциональных дополнений, координация выпуска многосистемной аппаратуры, участие в организации и проведении международных мероприятий по спутниковой навигации.

Анализ текущего состояния и перспектив развития глобальной навигационной спутниковой системы показывает, что развитие системы ГЛОНАСС – приоритетное направление в политике Правительства Российской Федерации. Федеральная целевая программа «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 гг.», утвержденная Постановлением Правительства Российской Федерации № 189 от 3 марта 2012 г., открывает новые возможности дальнейшего совершенствования системы.

Библиографические ссылки

1. Ступак Г. Г. Состояние и основные направления развития системы ГЛОНАСС // Системный анализ, управление и навигация : тр. 17 Междунар. науч. конф. Крым, Евпатория. 1–8 июля 2012 г. С. 11–14.

2. Урличич Ю. М., Меньшиков В. А., Перминов А. Н. Глобальные проблемы человечества и космос : монография. М. : МАКД., 2010. 570 с.

3. Ракетно-космическое приборостроение и информационные технологии. 2009–2010 // Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий : тр. II Всерос. науч.-техн. конф., посвященной 100-летию со дня рождения М. С. Рязанского. 2–4 июня 2009 г. / под ред. Ю. М. Урличича, А. А. Романова. М. : Радиотехника, 2010. 272 с.

4. Ступак Г. Г., Шмудевич М. М. ГЛОНАСС – непрерывно развивающаяся система // VI конф. по уязвимости ГНСС и возможным решениям : тез. доклада. г. Башка, Хорватия. 2012.

5. Ревнивых С. Г. ГЛОНАСС : достижения, перспективы и проблемы развития. // Мир измерений. 2012. № 4 (134). С. 4–11.

References

1. Stupak G. G. *Trudy 17 Mezhdunar. nauch. konf. "Sistemnyy analiz, upravleniye i navigatsiya"* (Proceedings of the "The System Analysis, Management, and Navigation" 17-th International Science Conference). Yevpatoria, Crimea. 1–8 July 2012, p. 11–14.

2. Urlichich Y. M., Menshikov V. A., Perminov A. N. *Globalnyye problemy chelovechestva i kosmos* (The mankind global problem and the outer space). Monograph. Moscow, MAKD, 2010, 570 p.

3. *Trudy II Vseros. nauch.-tekhn. konf., posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya M. S. Ryazanskogo "Aktual'nyye problemy raketno-kosmicheskogo priborostroyeniya i informatsionnykh tekhnologiy"* (Proceedings of the "Actual problems of the Space-Rocket Instrument Engineering and Information Technologies" II All-Russian Science and Research Conference devoted to the 100-year anniversary of M.S. Ryasansky), 2–4 June 2009, under the editorship of Urlichich Y. M., Romanov A. A. Moscow : Radiotechnocs, 2010. 272 pp.

4. Stupak G. G., Shmulevitch M. M. The GLONASS as the continuously developing system [GLONASS – nepreryvno razvivayushchayasya sistema]. *6 konf. po uyazvimosti GNSS i vozmozhnym resheniyam : tez. Doklada* (6-th Conference devoted to GNSS vulnerability and possible decisions). Theses of Mr. Bashka, Croatia. 2012.

5. Revnivykh S. G. *Mir izmereniy*. 2012, no. 4 (134), pp. 4–11.

© Данилюк А. Ю., Ревнивых С. Г., Тестоедов Н. А., Ступак Г. Г., Урличич Ю. М., 2013

УДК 629.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАНТОВ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ ГНСС ГЛОНАСС ДО 2020 ГОДА И ДАЛЕЕ С УЧЕТОМ ДОВЕДЕНИЯ ЕЕ СОСТАВА К 2020 ГОДУ ДО 30 КА

Г. Г. Ступак¹, С. Г. Ревнивых², Е. И. Игнатович², В. В. Куршин¹, В. В. Бетанов¹, С. С. Панов³,
Н. З. Бондарев⁴, В. Е. Чеботарев⁴, Н. Н. Балашова², А. И. Сердюков², Л. Н. Синцова²

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: evgeniy.ignatovich@glonass-iac.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. Железнодорожск Красноярского края, ул. Ленина, 52

Проведен анализ характеристик существующей орбитальной группировки системы ГЛОНАСС и тенденций развития зарубежных глобальных навигационных спутниковых систем, выработаны подходы и требования для разработки модернизированной структуры орбитальной группировки. Проанализированы различные варианты модернизации орбитальной группировки ГЛОНАСС, исследована эволюция и методы ее компенсации для рассматриваемых вариантов орбитальных группировок. Разработаны предварительные предложения по структуре орбитальной группировки системы ГЛОНАСС к 2020 г.

Ключевые слова: система ГЛОНАСС, доступность, орбитальная группировка (ОГ), структура ОГ, устойчивость ОГ.