

УДК 629.783 – 112:527

Некоторые аспекты проектирования перспективных глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС)

С.Г.Ревнивых, А.И.Сердюков, А.И.Болкунов

Аннотация

Планами развития России и США предусмотрено освоение Луны и Марса. Для решения задачи освоения необходимо создание соответствующей планетарной инфраструктуры, важной частью которой является координатно-временная и навигационная составляющая.

Таким образом, проектирование новых ГНСС и создание адекватных инструментов проектирования являются приоритетными задачами развития цивилизации на данном этапе.

Ключевые слова

перспективные глобальные навигационные спутниковые системы;
многофункциональные системы.

В последние годы ГНСС все больше внедряются во многие отрасли экономики, уверенно входят в повседневную жизнь. Уже сейчас практически весь транспорт, энергетика, связь, транспортировка нефти и газа, разведка месторождений и многие другие отрасли экономики, вплоть до сельского хозяйства и коммунальных служб, используют, а, в будущем, будут только расширять, применение спутниковых навигационных систем для определения координат и синхронизации часов, организации контроля и управления.

Именно поэтому ГНСС, будучи основой систем координатно-временного и навигационного обеспечения (КВНО), являются стратегическим средством, относящимся к особо важной государственной инфраструктуре, которая обеспечивает как национальную безопасность, так и экономическое развитие и, тем самым, становятся неотъемлемой частью мировой глобальной инфраструктуры.

Понимание роли ГНСС в современном мире определило стремление ряда государств к созданию собственных независимых спутниковых навигационных систем и функциональных дополнений к этим системам. В первую очередь это относится к европейской системе GALILEO, по программе развертывания которой уже запущены два экспериментальных спутника. Китай начинает работы по развертыванию собственной навигационной системы «Компас». Активные работы в области спутниковой навигации проводят Япония, Индия, и ряд других государств.

Планами развития России и США предусмотрено освоение Луны и Марса. Для решения задачи освоения необходимо создание соответствующей планетарной инфраструктуры, важной частью которой является координатно-временная и навигационная составляющая.

Таким образом, проектирование новых ГНСС и создание адекватных инструментов проектирования являются приоритетными задачами развития цивилизации на данном этапе.

Возможные направления последующего развития ГНСС представлены на Рис. 1.

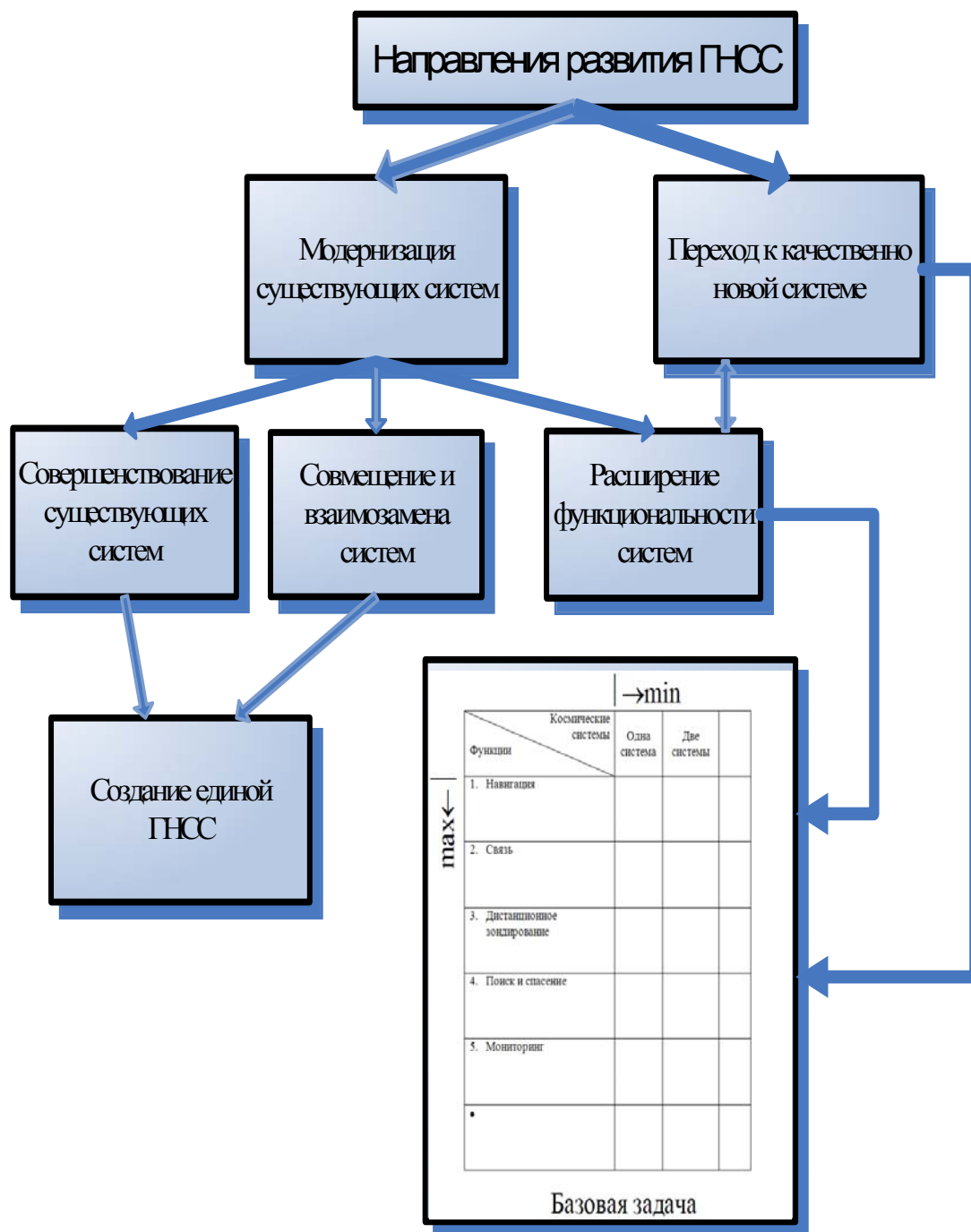


Рис. 1. Направления развития ГНСС

Решение задач повышения функциональности и перехода к качественно другой ГНСС невозможно без решения некоторой «базовой» задачи. При этом переход к такой задаче не всегда очевиден.

Проектирование перспективных ГНСС связано с решением ряда задач, среди которых необходимо в первую очередь отметить такие как:

- анализ условий использования ГНСС;

- определение целевых функций ГНСС;
- выбор орбитальной группировки (ОГ) ГНСС;
- выбор структуры сигнала;
- организация управления системой, включая бортовой и наземный сегменты управления;
- организация системы мониторинга и различных функциональных дополнений (при необходимости).

В настоящее время отсутствуют нормальные системы описания характеристик таких систем, отсутствуют критерии качества, а существующие методы проектирования таких систем сводятся всего лишь к перебору различных вариантов.

Опустимся на следующий уровень иерархии системы – ОГ.

Все более актуальным становится повышение точности навигационных услуг, предоставляемых потребителям. В силу особенностей ОГ систем точность решения навигационной задачи является четырехмерной функцией пространства-времени, а также зависит от ряда системных и внесистемных параметров.

НС системы создают глобальное непрерывное радионавигационное поле (РНП) для определения местоположения и скорости приземных объектов, оснащенных навигационной аппаратурой потребителей.

РНП представляет собой нерегулярную функцию, определенную на четырехмерной пространственно-временной области, и принятым подходом к описанию подобного типа функций является создание модели, с той или иной степенью адекватности, описывающей особенности поведения этой функции. В спутниковой навигации до сих пор отсутствует понятие модели РНП.

Существующий подход к РНП ГНСС ограничивается осредненными по всей поверхности Земли и на интервале времени порядка нескольких суток значениями «доступности» навигации и абстрактной «точности». РНП есть некоторый четырехмерный процесс (объект), который отличается от таких физических полей как гравитационное или магнитное поле только своим искусственным происхождением. Навигационное обеспечение, входными параметрами которого являются параметры РНП в точке установки приёмной аппаратуры, искажаемые помехами распространения, приёма и обработки сигнала, также достаточно сложный процесс.

Именно поэтому представляет особый интерес изучение не осредненных параметров РНП, а реальных параметров, отражающих поведение РНП, представленного в виде модели.

Та же базовая задача выходит на первое место и для проектирования перспективных лунной и марсианской ГСС, так как они скорее всего будут являться multifunctional. Помимо этой проблемы, возникает ряд существенных трудностей, которые необходимо преодолеть и, в частности, задачи изучения устойчивости ОГ, развертывания и поддержания ОГ, эфемеридно-временного обеспечения (ЭВО).

В настоящее время функционируют две ГНСС (ГЛОНАСС, GPS), ожидается развертывание еще двух ГНСС (Galileo, Compass). Вряд ли в ближайшей перспективе следует ожидать появления пятой ГНСС.

Что касается региональных НСС, ожидается развертывание японской РНСС (QZSS), не исключается вариант создания других РНСС. Среди функциональных дополнений к ГНСС космического базирования функционируют два: WAAS, EGNOS; ожидается развертывание GAGAN (Индия); не исключается вариант создания других ФДКБ (Россия)

Сейчас задачи проектирования околоземных НСС можно разделить на следующие группы: модернизация (совершенствование) существующих (спроектированных) ГНСС, включая модернизацию ОГ (пример GPS); проектирование региональных НСС; проектирование функциональных дополнений космического базирования; повышение уровня совместимости и взаимодополняемости ГНСС и их функциональных дополнений.

Можно также выделить задачи перспективного проектирования: проектирование окололунной ГНСС, марсианской ГНСС, модификация околоземных ГНСС для использования их в качестве навигационных на траекториях отлета и возврата лунных и межпланетных полетов.

Цели и задачи проектирования также эволюционируют. Проектирование существующих ГНСС (ГЛОНАСС, GPS, Galileo, Compass) проводилось, исходя из оптимизации основной функции – навигация, с последующим введением (по возможности) дополнительных функций (контроль, спасение).

В ближайшем будущем модернизация ГНСС и проектирование региональных ФД потребует достижения не только повышения точности/доступности, но и эффективного решения вопросов повышения совместимости и взаимодополняемости; выполнения дополнительных функций (не обязательно в остаточном режиме).

В будущем подход к проектированию лунных и планетных ГНСС изначально должен исходить из необходимости “равнозначного” учета требований реализации различных функций (навигации, связи, ДЗ, мониторинга, поиска/спасения).

Таблица 1.

Типы ОГ Функции	1	2	3	n
Связь				
Навигация				
Дистанционное зондирование				
Мониторинг				
Поиск/спасение				
...				

Минимизируются типы ОГ, максимизируется количество выполняемых функций. В идеале для Луны и планет все сводится к одной системе с возможно сложноструктурными ОГ.

Требования к ГНСС также эволюционируют. Теперь в них основными являются максимизация качества выполнения базовых функций, повышение надежности (резервирование), повышение автономности, возможность перераспределения (вариабельности) веса функций по требованию (или по времени)

Проектирование многоцелевых функциональных дополнений (ФД) является хорошим примером проектирования многофункциональных систем. Целями проектирования ФД являются повышение качества навигации, улучшение совместимости и взаимодополняемости, обеспечение совмещение функций (связь+навигация). На Рис.1-2 показаны границы зон обслуживания, а на Рис. 3-4 доступности наблюдения одного спутника для геостационарных и геосинхронных спутников.

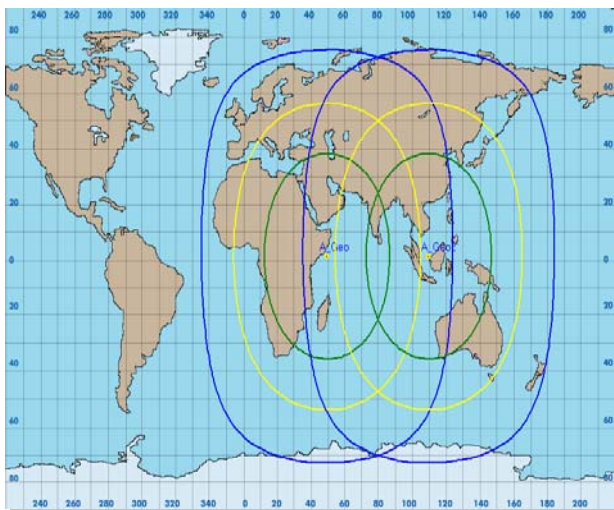


Рис. 1. Границы зон обслуживания для геостационарных спутников для углов места 10, 30, 50 град

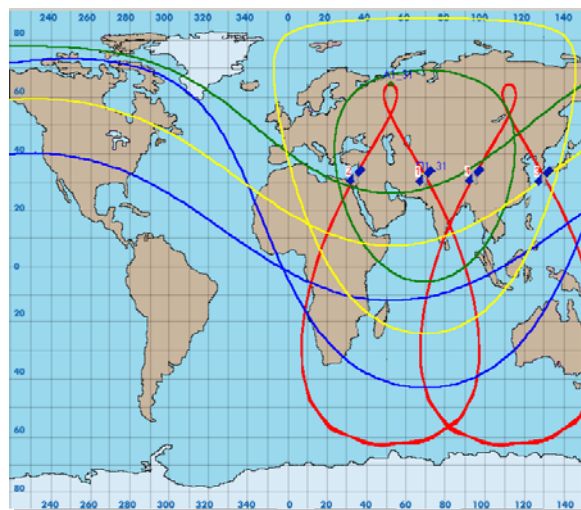


Рис. 2. Трассы полета спутников на геосинхронных наклонных эллиптических орбитах и границы зон обслуживания для углов места 10, 30, 50 град

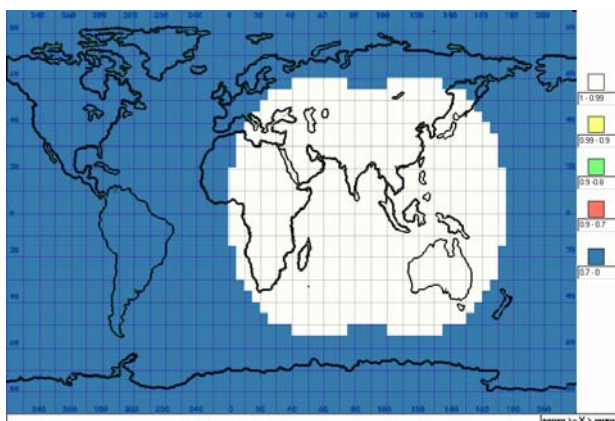


Рис. 3. Доступность наблюдения одного спутника в течение суток. ОГ: 2 ГСО Угол места: 25 град

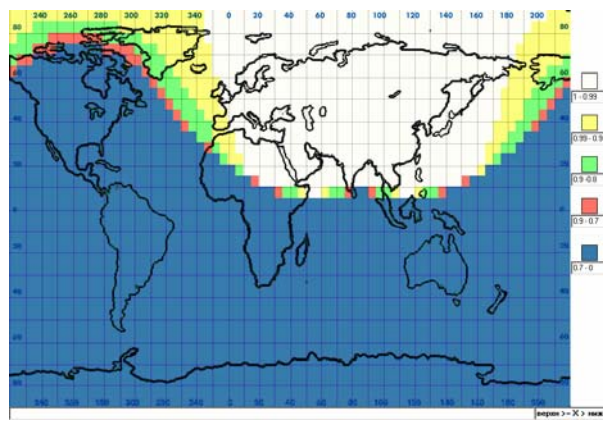


Рис. 4. Доступность наблюдения одного спутника в течение суток. ОГ: 4 ГСО Угол места: 25 град

Система на геосинхронных наклонных орбитах типа Тундра обеспечивает устойчивую связь в северных широтах, повышение качества навигации в северных широтах, дополняет существующие SBAS в высоких широтах.

Проблема проектирования заключается в выборе критериев оптимальности реализации различных функций и выборе методов решения многокритериальных задач.

Пример описания функции навигации является достаточно показательным. Он демонстрирует, неочевидность выбора критериев, связанную она с проблемой адекватного описания оптимизируемого процесса.

Для выбора критерия оптимальности навигационной функции необходимо найти способ адекватного описания (построить модель) характеристик РНП с учетом их

зависимости от пространства-времени и от состояния ОГ (номинальное, реальное с учетом уходов НС из номинальных позиций, выходом НС из строя) и выбрать способ свертывания многомерных функций для упрощения решения задач оптимизации.

На Рис. 4. представлен вариант свертки многомерных функций.

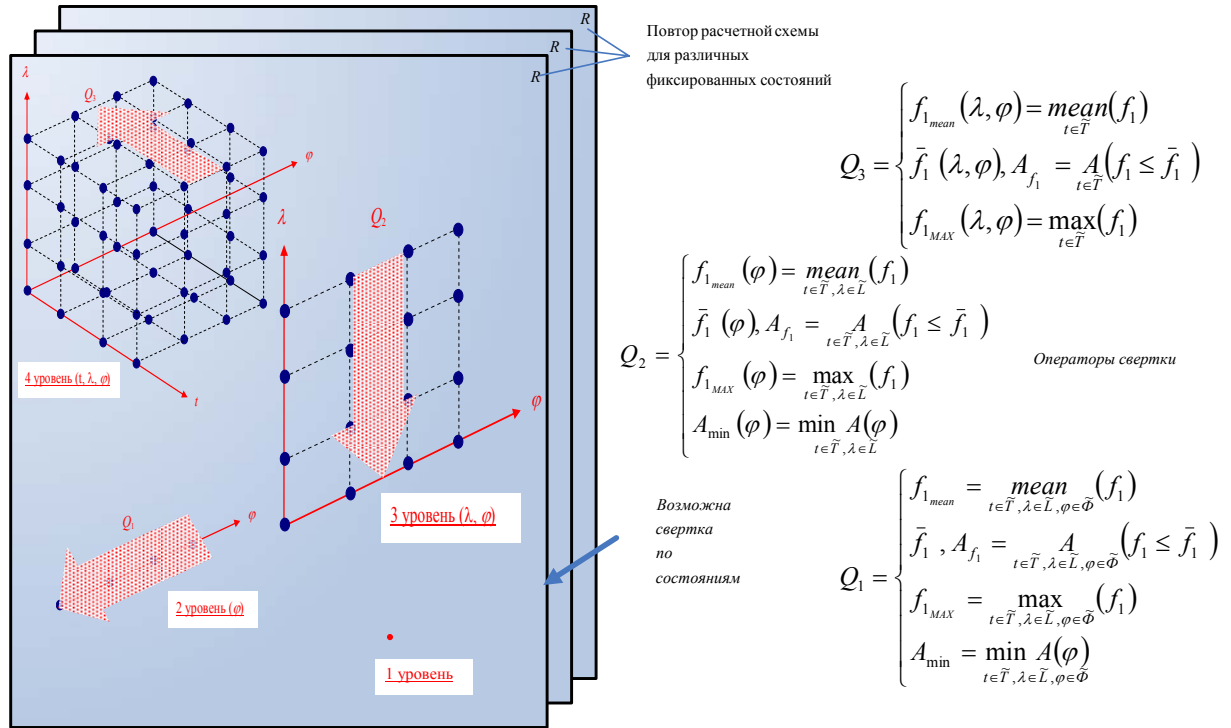


Рис. 4.

Критерий качества связи, ДЗ, поиска и спасения, мониторинга и др. связаны в первую очередь с необходимостью обеспечения той или иной кратности покрытия поверхности наблюдаемого тела, но т. к. реализация функции навигации требует минимум четырехкратного покрытия, то это автоматически ведет к выполнению требований реализации других функций. Поэтому критерий навигационной задачи является основным, а реализация других функций сводится к выполнению дополнительных ограничений на выбор ОГ (по высоте, уровню связного сигнала, условиям наблюдения, габаритно-массовых характеристиках и и др.)

Проблемами построения перспективной лунной Комплексной Обеспечивающей Системы (КОС) являются определение условий применения, выбор функций и элементов системы, выбор критериев качества реализации функций, выбор ОГ, изучение вопросов устойчивости ОГ, выбор стратегии развертывания и резервирования, выбор наземного сегмента (управления, ФД, псевдоспутники), определение способов и методов

информационного обеспечения, включая ЭВО, обеспечение высокой степени автономности системы, установление целесообразности и возможности связи с наземными системами.

На Рис. 5 показан вариант ОГ Лунной комплексной обеспечивающей системы. Для обеспечения минимального условия навигации (4-х кратного покрытия) достаточно 12 спутников. На Рис. 6 представлена зависимость доступности разного количества НС от географической широты

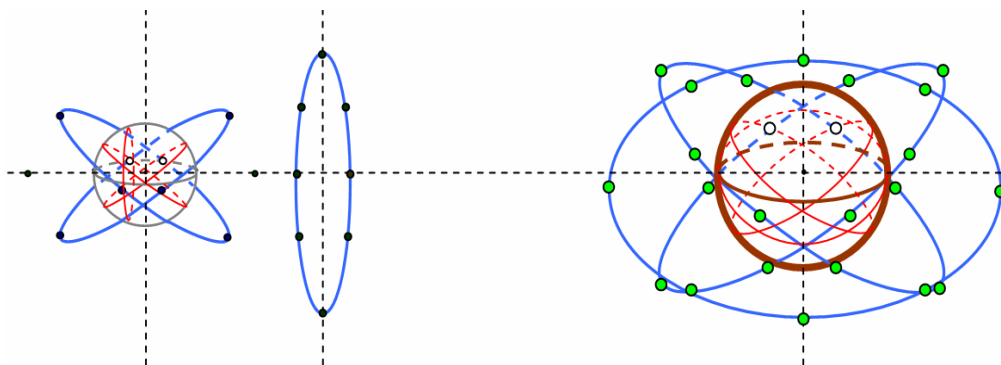


Рис. 5.

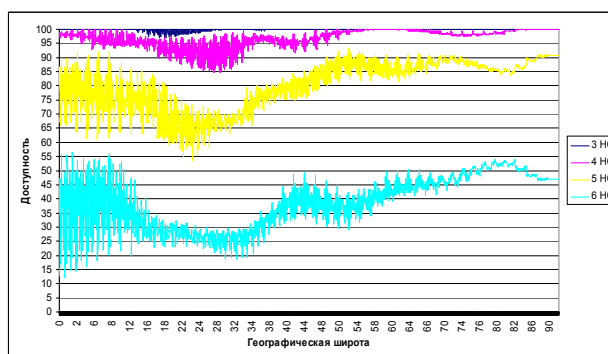


Рис. 6. Зависимость доступности разного количества НС от географической широты

В качестве заключения, можно отметить, что в настоящее время наметилась тенденция перехода от проектирования чисто навигационной системы к проектированию комплексных обслуживающих систем (в первую очередь в целях освоения Луны, Марса), совмещающих функции навигации, связи, ДЗ, поиска/спасения и др. Промежуточным эталоном являются задачи выбора путей модернизации существующих ГНСС и развития их ФД с целью повышения уровня их совместимости и взаимодополняемости и, в конечном счете, повышения уровня предоставляемых навигационных услуг (с ожиданием подключения дополнительных функций). Практически неразработанными в настоящее время являются методы проектирования КОС (способы описания результатов реализации функций,

критерии качества, методы решения многокритериальных задач). Проектирование лунной КОС в полной мере отражает наиболее типичные проблемы и задачи проектирования перспективных ГНСС.

Сведения об авторах

Ревнивых Сергей Георгиевич, ИАЦ КВНО ЦНИИмаш, заместитель генерального директора – начальник ИАЦ КВНО, к. т. н. Контакты: Sergey.revnivykh@mcc.rsa.ru, www.glonass-ianc.rsa.ru, + 7 495 586-90-00

Сердюков Александр Иванович, ИАЦ КВНО ЦНИИмаш, начальник отдела, к. т. н. Контакты: alexander.serdyujiv@mcc.rsa.ru.

Болкунов Алексей Игоревич, ИАЦ КВНО ЦНИИмаш, инженер. Контакты: alexey.bolkunov@mcc.rsa.ru.