

УДК 629.7

## **Технические и кадровые аспекты применения ГЛОНАСС при мониторинге объектов наземной космической инфраструктуры**

И.В. Бриндикова, А.С. Бушанский, И.А. Милюков, А.А. Толстов, А.А. Харин

### **Аннотация**

Авторами проведен подробный анализ объектов наземной космической инфраструктуры космического ракетного комплекса. Определены факторы, влияющие на основные параметры, характеризующие состояние объектов комплекса. На основании результатов анализа потенциальных возможностей ГЛОНАСС разработаны практические рекомендации по применению современных навигационных технологий на наземных объектах космического ракетного комплекса и рекомендации по организации системы подготовки кадров, владеющих спутниковыми технологиями.

### **Ключевые слова:**

ГЛОНАСС, спутниковые технологии, мониторинг, космический ракетный комплекс, наземная космическая инфраструктура.

Для реализации стратегических приоритетов России и развития партнерских отношений с Республикой Казахстан в космической сфере необходимо эффективно использовать результаты космической деятельности. Основу этих отношений составляет эксплуатация космодрома Байконур. Кроме того, в настоящее время здесь совместными усилиями двух стран создается новый космический ракетный комплекс (КРК) "Байтерек" [1]. Проект КРК не предусматривает широкого применения навигационных технологий при эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры (НКИ). В то же время в России уже достигнут высокий уровень этих технологий – создана Глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС) [2].

Существующий уровень эффективности и безопасности эксплуатации объектов НКИ может быть повышен за счет расширения областей применения и развития спутниковых технологий на основе российской ГЛОНАСС. Востребованность спутниковых навигационных технологий для решения практических задач на объектах КРК определяется возможностями использования сигналов для точного определения координат местоположения, трех составляющих вектора скорости и положения временной шкалы потребителя относительно системного времени ГЛОНАСС. Применение ГЛОНАСС для мониторинга объектов НКИ является решением задачи повышения эффективности и безопасности функционирования КРК.

Для выработки обоснованных рекомендаций по применению ГЛОНАСС для мониторинга состояния объектов наземной космической инфраструктуры КРК необходимо учитывать, что все объекты находятся в зоне влияния климатических факторов, обусловленных географическим местоположением КРК, и эксплуатационных факторов, связанных с особенностями процесса запуска ракет космического назначения.

Космические ракетные комплексы космодрома Байконур находятся в равнинной полупустынной местности с резкоконтинентальным климатом, характеризующимся значительными суточными и сезонными перепадами температур (от +40°C летом до -35°C зимой), сильными ветрами, песчаными бурями, высокой агрессивностью почв, специфической гидрологической обстановкой, обусловленной близостью крупной реки Средней Азии - Сырдарьи.

Отмеченные факторы оказывают существенное отрицательное влияние на многие параметры и характеристики, определяющие состояние объектов наземной космической инфраструктуры КРК, вызывая значительные температурные деформации объектов и систем, силовые нагрузки (в том числе ветровые), вибрацию и деформацию земной поверхности в непосредственной близости от стартовых установок, вблизи водных источников и другие воздействия.

На основании анализ объектов наземной инфраструктуры, включая технический стартовый комплексы, определен состав, назначение и особенности объектов и технологического оборудования, выполнена классификация объектов наземной космической инфраструктуры КРК с позиций мониторинга их состояния и проведена оценка целесообразности и необходимости мониторинга положения, взаимного пространственного линейного и углового расположения, целостности, деформации, отклонений, колебаний, вибрации, скорости перемещения объектов, их временных и других параметров. Результаты анализа приведены в таблице 1.

Федеральная целевая программа «Глобальная навигационная система» [3], утвержденная постановлением Правительства Российской Федерации от 20 августа 2001 года № 587,

направлена на дальнейшее развитие и эффективное использование глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС за счет внедрения передовых технологий спутниковой навигации в интересах социально-экономического развития страны и обеспечения национальной безопасности, а также сохранение Россией лидирующих позиций в области спутниковой навигации.

Таблица 1 – Объекты НКИ, их свойства и контролируемые параметры

Тип объектов	Объекты НКИ	Цель внедрения навигационных технологий	Контролируемые параметры объектов
Здания	<ul style="list-style-type: none"> <li>- здания кислородно-азотного завода;</li> <li>- здание монтажно-испытательного комплекса;</li> <li>- здания наземного комплекса управления;</li> <li>- здания ж/д станций;</li> <li>- другие здания технического назначения.</li> </ul>	<p>Предотвращение деформации, нарушения условий штатного функционирования, разрушения, нарушения экологической обстановки, экономического ущерба, связанного с потерей ракетно-космической техники, человеческих жертв.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- пространственное и взаимное линейное и угловое положение элементов здания;</li> <li>- деформация (изгиб, кручение), смещение элементов здания;</li> <li>- вертикальность стен здания;</li> <li>- горизонтальность фундамента здания;</li> <li>- осадка фундамента;</li> <li>- параметры вибрации элементов здания (частота, амплитуда).</li> </ul>
Инженерные сооружения	<ul style="list-style-type: none"> <li>- хранилища компонентов ракетного топлива;</li> <li>- подъемное оборудование и сооружения;</li> <li>- агрегат и фермы обслуживания РКН;</li> <li>- станция термостатирования;</li> <li>- стартовые сооружения, опорная рама и сменный пусковой стол;</li> <li>- насосная станция водоснабжения;</li> <li>- резервуары запаса воды и другие вспомогательные инженерные сооружения данного типа.</li> </ul>	<p>Предотвращение деформации, нарушения условий штатного функционирования, разрушения, нарушения экологической обстановки, экономического ущерба, связанного с потерей ракетно-космической техники, человеческих жертв.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- смещение объектов в горизонтальной и вертикальной плоскостях;</li> <li>- отклонение от вертикальности;</li> <li>- деформации (кручение, изгиб);</li> <li>- осадка основания сооружения;</li> <li>- смещение и крен сооружения;</li> <li>- параметры вибрации элементов конструкции (частота, амплитуда).</li> </ul>

<p style="text-align: center;">Автомобильные и железные дороги</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- железнодорожные линии и ветки для транспортировки СЧ РКН, компонентов ракетного топлива, рабочих сред (жидкостей и газов);</li> <li>- железнодорожные линии для транспортировки собранной РКН с ТК на УСК;</li> <li>- автомобильные дороги;</li> <li>- взлетно-посадочные полосы (ВЗП) аэродромов для доставки спецгрузов и людей.</li> </ul>	<p>Предотвращение деформации, разрушения дорожного покрытия и рельсовых путей, нарушения условий штатного функционирования, экономического ущерба, связанного с поломкой или потерей ракетно-космической техники.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- план и профиль полотна дороги;</li> <li>- протяженность;</li> <li>- ширина проезжей части и колеи;</li> <li>- продольный и поперечный уклоны;</li> <li>- радиус кривизны дороги в плане;</li> <li>- пространственные координаты точек поверхности дороги или железнодорожного полотна (контроль состояния полотна);</li> <li>расстояние до различных инженерных сооружений, в том числе расположенных над дорогой, или линий электропередач (высокий габарит).</li> </ul>
<p style="text-align: center;">Линейные сооружения</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- надземные и подземные трубопроводные магистрали подачи компонентов ракетного топлива, рабочих сред (жидких и газообразных), воды;</li> <li>- линии электропередач;</li> <li>- оградительные сооружения.</li> </ul>	<p>Предотвращение деформации, нарушения условий штатного функционирования, разрушения, нарушения экологической обстановки, экономического ущерба, связанного с потерей ракетно-космической техники, человеческих жертв.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- изменение геометрических размеров в трех измерениях и во времени;</li> <li>- колебания и вибрация (частота, амплитуда);</li> <li>- целостность коммуникации;</li> <li>- осадка основания опор сооружения;</li> <li>- смещение и крен опор сооружения.</li> </ul>

<p style="text-align: center;">Специальный транспорт</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- транспортно-установочный агрегат;</li> <li>- железнодорожные тягачи (тепловозы);</li> <li>- железнодорожный и автомобильный спецтранспорт для перевозки компонентов ракетного топлива (топливозаправщики), криогенных компонентов системы охлаждения РН и других жидких и газообразных рабочих сред;</li> <li>- железнодорожный и автомобильный транспорт, предназначенный для выполнения различных технологических задач при подготовке РКН к пуску;</li> <li>- железнодорожный и автомобильный транспорт для перевозки персонала.</li> </ul>	<p>Предотвращение деформации, нарушения условий штатного функционирования, разрушения, нарушения экологической обстановки, экономического ущерба, связанного с потерей ракетно-космической техники, человеческих жертв.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- координаты местоположения объекта;</li> <li>- скорость движения объекта;</li> <li>- контроль и управление движением транспортных объектов (оптимизационные и логистические задачи);</li> <li>- контроль безопасности передвижения.</li> </ul>
<p style="text-align: center;">Поверхность Земли</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- естественные и искусственные элементы ландшафта (котлованы, насыпи);</li> <li>- ландшафт местности (низменности, возвышенности).</li> </ul>	<p>Предотвращение разрушение и нарушение условий штатного функционирования объектов, находящихся в зоне воздействия земной коры, нарушения экологической обстановки.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- локальные взаимные перемещения элементов земной поверхности (в трех координатах).</li> </ul>

В настоящее время развитие ГЛОНАСС достигло достаточного для эффективной эксплуатации уровня, как с точки зрения расчетной точности навигационного сигнала (функционируют 24 спутника), так и с позиции наличия навигационной аппаратуры пользователя. Интенсивное внедрение спутниковых навигационных технологий в различных отраслях экономики поддержано государственным финансированием для обеспечения кадрового сопровождения этих мероприятий. Тем не менее, применение спутниковых систем для мониторинга объектов наземной космической инфраструктуры и в других областях экономики затруднено из-за отсутствия необходимого количества специалистов, в том числе высшей квалификации, имеющих теоретические знания и практические навыки применения современных спутниковых технологий [4].

Оценивая масштабы и темпы внедрения спутниковых навигационных технологий и специализированной аппаратуры пользователя, можно утверждать, что потребность в быстрой и качественной подготовке специализированных кадров в области применения навигационных технологий может быть уменьшена за счет эффективного применения системы повышения квалификации специалистов в области спутниковых навигационных технологий.

Дополнительная профессиональная подготовка (повышение квалификации и переподготовка) специалистов должна проводиться в короткие сроки и, в основном, без отрыва от производства, что может быть достигнуто только за счет широкого применения современных образовательных и информационных технологий, в том числе методов дистанционного обучения, которые до настоящего времени практически не имели широкого применения в системе профессионального аэрокосмического образования. Это, в свою очередь, вызывает необходимость разработки большого количества электронных учебных и учебно-методических материалов дополнительных профессиональных образовательных программ и электронных интерактивных учебно-методических средств, обеспечивающих практическое обучение специалистов.

В рамках опытно-конструкторской работы, выполненной по заданию Федерального космического агентства, проведена разработка аппаратно-программных и учебно-методических средств подготовки и повышения квалификации специалистов по спутниковой навигации по направлениям: "Применение ГЛОНАСС для мониторинга инженерных сооружений", "Применение ГЛОНАСС в строительстве", "Применение ГЛОНАСС на транспорте". Для системы повышения квалификации специалистов по спутниковой навигации с интенсивным использованием современных технологий дистанционного обучения разработаны следующие дополнительные профессиональные образовательные программы: "Использование спутниковой навигации на железнодорожном и автомобильном транспорте", "Применение современной навигационной угломерной аппаратуры для оперативного контроля состояния дорожного покрытия в процессе строительства и эксплуатации", "Использование спутниковой навигации при проведении мониторинга деформаций строительных сооружений", "Спутниковая аппаратура для мониторинга крупных инженерных сооружений", "Использование спутниковых технологий в сейсмоопасных районах" и ряд других.

Помимо теоретических знаний качественная подготовка квалифицированных специалистов, владеющих теоретическими знаниями и практическими навыками применения методов и специального оборудования для мониторинга состояния объектов наземной космической инфраструктуры КРК с помощью ГЛОНАСС, требует разработки и внедрения соответствующих интерактивных электронных учебно-методических средств, обеспечивающих эффективную практическую подготовку и приобретение необходимых навыков применения

спутниковых систем для решения конкретных задач на объектах КРК. С этой целью разработаны такие базовые учебно-методические средства, как "Основы спутниковой навигации", "Исследование основных характеристик навигационной аппаратуры потребителя", "Спутниковая навигационная аппаратура потребителя с угломерным каналом", "Использование ГЛОНАСС для решения задач геодезии и картографии". обучения и скорость восприятия учебного материала. К преимуществам применения разработанных специализированных базовых учебно-методических средств в системе дистанционного обучения при повышении квалификации специалистов, по сравнению с традиционными методами проведения практических занятий на реальном оборудовании следует отнести:

- наглядное и детализированное представление изучаемых объектов, процессов, оборудования;
- подробное ознакомление с функционированием элементов различных систем;
- взаимодействие с моделями (в т.ч. программно) и использование этой возможности при проверке знаний;
- снижение затрат на подготовку обучаемых вследствие проведения занятий не на реальных объектах (без риска вывода оборудования из строя);
- высокую степень конструктивной и функциональной схожести реального оборудования и электронного тренажера;
- возможность отработки необходимых действий в различных штатных и нештатных ситуациях;
- отсутствие или малая продолжительность адаптационного периода при переходе пользователя от тренажера к реальному оборудованию;
- сравнительно невысокую стоимость и возможность развития и наращивания функциональных возможностей интерактивных учебно-методических средств;
- возможность коллективного доступа пользователя (обучающихся) в системе дистанционного обучения.

В настоящее время осуществляется опытная эксплуатация разработанных аппаратно-программных и учебно-методических средств повышения квалификации специалистов по спутниковым системам, по результатам которой будет выполнена доработка, адаптация и расширение функциональных возможностей и направлений подготовки специалистов с использованием разработанной системы дистанционного обучения.

## **Библиографический список**

1. Межправительственное соглашение Российской Федерации и Республики Казахстан «О создании на космодроме «Байконур» космического ракетного комплекса «Байтерек» (от 22 декабря 2004 г.).
2. Малышев В.В., Куршин В.В., Ревнивых С.Г. Введение в спутниковую навигацию: Учебное пособие. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2008. –192 с.
3. Федеральная целевая программа «Глобальная навигационная система» (утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 20 августа 2001 года № 587).
4. Алифанов В.П., Соколов В.П., Милюков И.А. Перспективы развития новой научной специальности "Инновационные технологии в аэрокосмической деятельности".- Материалы международной конференции "Человек – Земля – Космос", посвященной 50-летию со дня полета в космос Ю.А. Гагарина. – Калуга: ООО "Ваш домЪ", 2011. с. 6-7.

## **Сведения об авторах**

Бриндикова Инна Васильевна, заместитель генерального директора ОАО "Российские космические системы", e-mail:contact@rniikp.ru

Бушанский Алексей Сергеевич, младший научный сотрудник Российского государственного университета инновационных технологий и предпринимательства, e-mail:rassiec@mail.ru.

Милюков Игорь Александрович, доцент Российского государственного университета инновационных технологий и предпринимательства, к.т.н., e-mail:rassiec@mail.ru

Толстов Александр Анатольевич, инженер Российского государственного университета инновационных технологий и предпринимательства, e-mail:[rassiec@mail.ru](mailto:rassiec@mail.ru)

Харин Александр Александрович, ректор Российского государственного университета инновационных технологий и предпринимательства, д.т.н., профессор, e-mail:info@itbu.ru