

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИЕМНИКОВ ГНСС ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ИОНОСФЕРЫ

В.В. Алпатов (Институт прикладной геофизики им. академика Е.К. Федорова)

В 1974 г. окончил Московский авиационный институт имени Серго Орджоникидзе (в настоящее время — Московский авиационный институт — национальный исследовательский университет) по специальности «инженер-электромеханик». После окончания института работал в НИИ измерительной техники, Шведском институте космической физики. В настоящее время работает в ФГБУ «Институт прикладной геофизики им. академика Е.К. Федорова» Росгидромета заведующим отделом. Кандидат физико-математических наук.

А.Е. Васильев (Институт прикладной геофизики им. академика Е.К. Федорова)

В 2009 г. окончил физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «физик». С 2010 г. работает в ФГБУ «Институт прикладной геофизики им. академика Е.К. Федорова» Росгидромета, в настоящее время — научный сотрудник. Кандидат физико-математических наук.

▼ Цели и задачи создания сети

Основной целью создания сети, представленной в статье, было получение современного инструмента дистанционного мониторинга состояния ионосферы над всей территорией РФ [1], в том числе в отдаленных и труднодоступных районах. Эта цель обусловлена рядом особенностей ионосферы. Известно, что ионосфера является хорошим индикатором процессов, происходящих на Земле. Поэтому изучение и контроль ее состояния важно как для исследовательских целей, так и для практического использования. Значительная изменчивость параметров ионосферы и возникающие при этом многочисленные прикладные задачи в различных сферах деятельности обуславливают необходимость получения текущей информации о параметрах ионосферы в режиме реального времени специальными средствами, обладающими повышенной чувстви-

тельностью и информативностью, с высоким пространственным и временным разрешением.

Для изучения и контроля состояния ионосферы традиционно применяются ионозонды наземного вертикального и наклонного зондирования, радары некогерентного рассеяния и ряд других средств. Их недостатком является возможность проведения только локальных измерений. В силу того, что РФ занимает значительную по площади территорию, на которой присутствуют районы с крайне низкой плотностью населенных пунктов и неразвитой технической инфраструктурой, представляется технически трудно-реализуемым и экономически неэффективным решить все необходимые задачи мониторинга ионосферы путем количественного наращивания числа станций наблюдений в сети ионозондов.

Проведенные в последнее десятилетие теоретические и экспериментальные исследова-

ния показали, что глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) GPS, ГЛОНАСС и Galileo, а также низкоорбитальные навигационные спутниковые системы типа «Космос» и Transit (США), наилучшим образом могут быть приспособлены для осуществления дистанционного мониторинга ионосферы при оптимальном соотношении затрат и полученных при этом результатов.

Таким образом, создание сети приемников, принимающих сигналы спутников ГНСС, позволяло решить проблему дистанционного мониторинга состояния ионосферы над всей территорией РФ. Для этого было необходимо выбрать оптимальные методы мониторинга с использованием приемников ГНСС, разработать соответствующую аппаратуру и программное обеспечение.

▼ Особенности практической реализации

Проведенные сотрудниками ФГБУ «Институт прикладной гео-

физики им. академика Е.К. Федорова» (ИПГ) Росгидромета ряд НИР и ОКР, позволили разработать концепцию создания сети.

Было показано, что при мониторинге ионосферы радиотомографическим методом одним из наиболее перспективных направлений является использование сигналов спутников ГНСС. Томографическое радиопросвечивание ионосферы позволяет решать ряд научных и прикладных задач:

— исследование пространственного распределения и временной динамики электронной концентрации в ионосфере;

— определение региональных особенностей вариации поля электронной концентрации в ионосфере для уточнения существующих ионосферных моделей;

— изучение эволюции и определение механизмов формирования неоднородностей электронной концентрации в ионосфере в связи с солнечной, сейсмической и антропогенной активностью.

Кроме того, было предусмотрено комплексное использование радиотомографических и других методов на основе приема и обработки сигналов спут-

ников ГНСС, поскольку аппаратура, установленная на наблюдательных пунктах сети, во всех случаях будет одинаковой.

Результатом проведенных НИР и ОКР стало создание структуры сети, разработка программно-аппаратных комплексов (ПАК) радиотомографии и серверного программного обеспечения. На заключительном этапе работ 130 пунктов наблюдений на метеостанциях Росгидромета (от Калининграда до Анадыря и от Диксона до Лазо) были оснащены разработанными ПАК, включающими многочастотные приемники ГНСС геодезического класса.

Таким образом, была построена государственная сеть ионосферного радиотомографического мониторинга, на основе данных которой создаются ежедневные 3D-карты ионосферы для территории РФ и другая производная продукция, в частности, карты критических частот слоя F2 ионосферы, карты погрешностей одночастотной навигации, значительных отклонений от медиан и др. (рис. 1, 2). Примеры оперативных результатов размещены на web-сайте ФГБУ «ИПГ» (<http://ipg.geospace.ru>), в разделе «Данные сети радиотомографии». Более подробная информация о методе получения абсолютного электронного содержания в пространственном объеме из относительных двухчастотных измерений доступна на web-сайте Центра мониторинга гелиогеофизической обстановки над территорией РФ (<http://space-weather.ru>), в разделе «Ионосфера».

Ввиду того, что при мониторинге состояния ионосферы с помощью построенной сети основным и наиболее информативным является метод радиотомографии [2], в различных публикациях ее часто называют сетью радиотомографии.

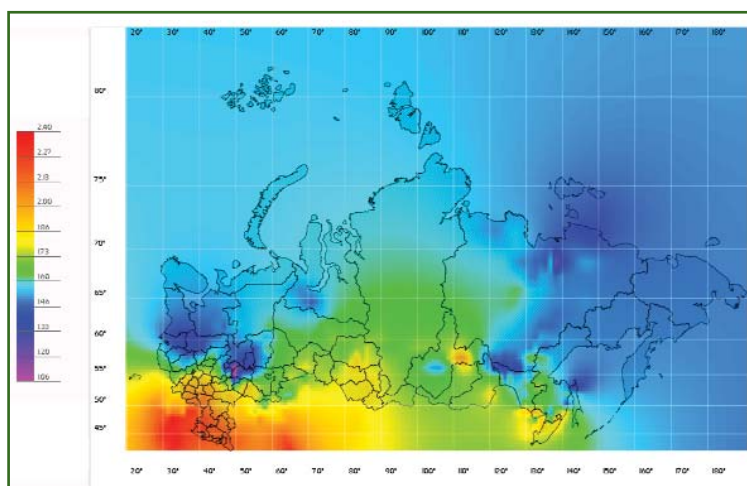


Рис. 1

Вертикальная задержка сигнала в ионосфере на частоте L1 на 15 августа 2016 г. 13:00 UTC по данным сети радиотомографии ФГБУ «ИПГ», м

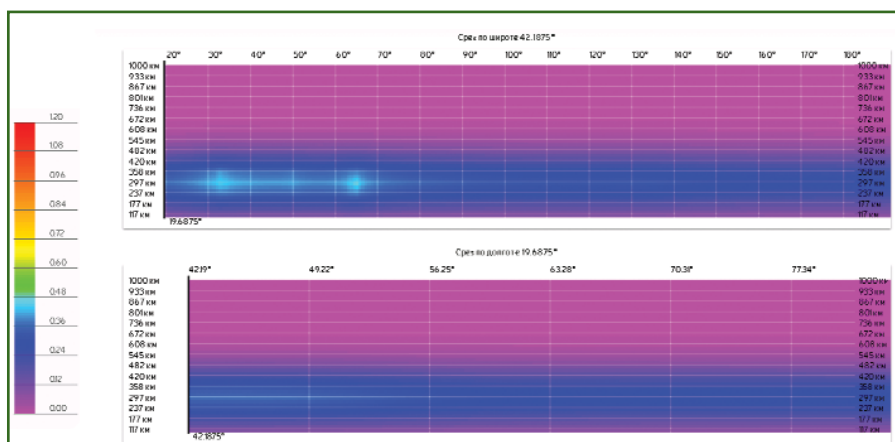


Рис. 2

Срезы распределения электронной концентрации по широте и долготе на 15 августа 2016 г. 13:00 UTC по данным сети радиотомографии ФГБУ «ИПГ», 10^{12} эл./м³

В основе получения ионосферной томографической продукции лежат результаты оперативного инструментального измерения фазовых задержек сигналов спутников ГНСС, передаваемых на разных частотах. В связи с этим, в сеть ионосферного радиотомографического мониторинга включено 130 многочастотных (L1, L2, L5) многосистемных (ГЛОНАСС/GPS/SBAS/QZSS) приемников серийного производства (Javad Alpha G3T). Они установлены на метеостанциях Росгидромета и на большинстве пунктах наблюдений передают данные через выделенную ведомственную сеть связи «МЕКОМ», поддерживаемую ФГБУ «Авиаметтелеком» Росгидромета.

В состав ПАК входят не только приемники ГНСС, но и электронно-вычислительные машины промышленного образца (ЭВМ), позволяющие поддерживать автономную запись данных на случай продолжительного отсутствия связи. Перерывы связи и электропитания являются нередким явлением на станциях наблюдений, расположенных в отдаленных населенных пунктах, например таких, как Диксон, Тикси, Никель, Усть-Куйга, Певек, Сеяха и ряде других. Безопасность связи станций наблюдений с сервером (Центром обработки данных) высокоорбитальной радиотомографии в случае отсутствия выделенных линий также обеспечивается ЭВМ.

▼ Технические аспекты производства и развертывания сети

Развертывание государственной сети ионосферного радиотомографического мониторинга прошло многие этапы от проектирования и моделирования до физического монтажа и ввода в эксплуатацию с получением конечной продукции мониторинга. Был решен ряд организационных и технических задач.

Одна из проблем касалась получения внешних IP-адресов для станций, где отсутствуют выделенные линии связи. Плотный календарный план монтажа оборудования требовал выработки общего решения для подобных случаев. Им стало создание виртуальной частной сети (VPN), по которой ЭВМ из локальных сетей автоматически подключаются к серверу и поддерживают защищенное соединение. Внутри такого соединения становится возможным подключаться к станции сквозь шлюз локальной сети без использования услуги внешних IP-адресов провайдеров. Это избавляет от потери времени на настройку маршрутизаторов и дополнительных расходов на коммерческие услуги сторонних организаций.

ЭВМ играют значительную роль в работе сети. Они не только поддерживают безопасные соединения в отсутствие выделенных линий связи и накапливают данные, но и обеспечивают совместимость с другими компонентами ведомственной инфраструктуры. Возможность программирования позволяет переименовывать файлы в соответствии со стандартами учета в филиалах Управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС) Росгидромета — Центрах по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ЦГМС). Ответствие имен файлов и пересылка через специальные узлы коммутации файлов помогает УГМС и ЦГМС самостоятельно отслеживать объемы и актуальность сетевого трафика в своих сетевых туннелях.

ЭВМ также используются в ряде случаев для сбора и передачи информации с других измерительных приборов, благодаря наличию свободных входов COM и USB-портов и готовых механизмов передачи.

Решение подобных вопросов и работа на перспективу требу-

ют определенных усилий, однако облегчают поддержание и формируют опыт, который в будущем сможет использоваться при реализации новых проектов в интересах государственных и частных предприятий.

▼ Разработка программного обеспечения для управления сетью

При проектировании сети радиотомографии были заложены программные основы, позволившие реализовать собственные механизмы передачи данных и управления приемниками ГНСС и ЭВМ, входящими в состав ПАК.

Была выбрана модель приемника ГНСС, допускающая разработку собственного программного обеспечения по общедоступному описанию протокола управляющих команд и настроек внутри приемника.

Для управления всей аппаратурой, включая ЭВМ и приемники ГНСС, использовалась среда PowerShell Remoting, с помощью которой происходит управление всей сетью как единым целым (помимо адресных подключений Remote Desktop на любую станцию сети).

Программное обеспечение для управления сетью основано на правилах распределения ролей специалистов, которых можно разделять на программистов API и программистов задач сети. Для этого в среде PowerShell Remoting на сервере созданы объекты станций, их свойства по таблице учета SQL, а также операции, которые можно применять к объектам станций. Среди них, удаленное выполнение блоков кода на ЭВМ, посылка команд приемникам (с возвратом ответов), загрузка файлов с сервера на станции и др.

Прослойка готовых операций со станциями в виде специализированного API обеспечивает легкость последующего программирования сети для новых

условий силами разных специалистов. Разделение задач высококвалифицированного проектировщика на простые операции, которые могут выполнять линейные администраторы и программисты, является важным шагом в поддержании постоянно действующей инфраструктуры сети.

▼ Локализация зарубежных сервисов и разработка аналогов программного обеспечения

Система управления сетью радиотомографии представляет один из возможных аналогов зарубежного программного обеспечения для организации геодезических спутниковых сетей референчных станций. Отличительной чертой разработанного для управления сетью программного обеспечения является гибкость, приспособленность к конкретным условиям и организационная структура поддержания функционирования станций: удаленных и непосредственных восстановительных действий персоналом после отказов в получении данных.

Центральные серверы Международного ГНСС-сервиса — IGS располагаются только в передовых по экономическому развитию странах, что вынуждает геодезические и геофизические службы развивающихся государств обращаться за дополнительной информацией к зарубежным источникам. Возможность развития отечественного государственного центра позволила бы создать региональный центр на случай технических кризисов, подобного отключению серверов IGS в 2013 г.

Серийное изготовление ПАК для сети радиотомографии стало одним из примеров комплектования оборудованием распределенных измерительных сетей, а на ряде пунктов сети они уже служат для сбора информации с других измерительных приборов через цифровые

интерфейсы ЭВМ. Такие программно-аппаратные комплексы в готовом виде на практике являются показательным примером развития технического опыта отечественного приборостроения и системной интеграции.

Возможности приемников ГНСС, входящих в сеть радиотомографии, позволяют организовывать локальные службы времени для синхронизации вычислительной техники по сетевому протоколу NTP, а также фиксировать время событий с других приборов с точностью до наносекунд при прямом соединении. В настоящее время по умолчанию большинство пользователей синхронизируют время по сети Интернет, используя зарубежные источники.

▼ Потенциал сети и возможности межведомственной кооперации и интеграции

Приемники ГНСС сети радиотомографии принадлежат к геодезическому классу, что позволяет использовать сеть не только для получения информации о состоянии ионосферы, но и в других перспективных направлениях ряда гражданских отраслей. В частности, результаты развертывания сети заинтересовали некоторые государственные структуры из-за возможности ее применения для решения прикладных задач при условии незначительных доработок.

В настоящее время интерес представляет не только используемое спутниковое оборудование геодезического класса, но также налаженный порядок технического обслуживания и учета, собственная инфраструктура сетевого управления и передачи данных. Уникальность такой сети придает опыт использования выделенных линий ведомственной связи без выхода в Интернет, возможность работы всех пунктов в автономном режиме только по ГЛОНАСС, ремонт приемников производителем на территории России.

Учитывая количество станций в сети и централизацию созданного ресурса, существуют предпосылки для формирования многофункциональной сети, способной совместить интересы ряда ведомств и отраслей при доработках в интересах конкретных потребителей. Такая работа в настоящее время начата рядом организаций. Это связано с тем, что на территории Российской Федерации, по некоторым данным, установлены и используются в качестве одиночных или объединенных в локальные сети около 1400 корректирующих станций ГЛОНАСС/GPS, принадлежащих различным юридическим и физическим лицам. Многие из них построены за счет средств государственного бюджета федерального и регионального уровней. В условиях ниспадающей фазы экономического цикла особенно важно рациональное использование материальных ресурсов. Объединение результатов, полученных при реализации различных государственных программ, может стать одним из инструментов дальнейшего развития геодезического и картографического обеспечения в области инженерных изысканий, строительства, кадастровых работ, управления земельным комплексом, объектами капитального строительства и транспорта в период сжатия сырьевого и финансового секторов экономики.

▼ Список литературы

1. Алпатов В.В., Куницын В.Е., Лапшин В.Б., Романов А.А., Тасенко С.В. Опыт создания Росгидрометом сети радиотомографии для исследования и мониторинга ионосферы // Гелиогеофизические исследования. — 2012. — № 2. — С. 60–71.
2. Куницын В.Е., Нестеров И.А., Падохин А.М., Туманова Ю.С. Радиотомография ионосферы на базе навигационных систем GPS/ГЛОНАСС // Радиотехника и электроника. — 2011. — № 11. — Т. 56. — С. 1285–1297.