

## ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ В ЦЕЛЯХ УТВЕРЖДЕНИЯ ТИПА ИОНОЗОНДОВ «ПАРУС-А»

В.Т. Минлигарев, Е.А. Панышин, С.Н. Чурилов

Приведены результаты первых в России испытаний ионозондов в целях утверждения типа, проведенные для легитимизации ионосферных наблюдений Росгидромета и относящиеся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений. Рассмотрены перспективы совершенствования эксплуатации ионозондов, для улучшения качества получаемой измерительной информации.

Ключевые слова: ионозонды, ионосферные наблюдения, качество измерительной информации, испытания в целях утверждения типа, Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

### СТАНЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ НАЗЕМНЫЕ (ИОНОЗОНДЫ)

#### ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом повышение качества мониторинга ионосферы приобретает все большую актуальность. Ионосферные наблюдения используются для контроля за состоянием верхней атмосферы, прогнозирования основных характеристик ионосферы. Необходимость качественного мониторинга ионосферы определяется все возрастающими потребностями при техническом обеспечении: связи (практически во всех диапазонах); работы загоризонтных и надгоризонтных радарных систем; навигации с использованием глобальных навигационных систем GPS, ГЛОНАСС, GALILEO и др. [1].

В конечном счете, актуальность повышения качества ионосферных наблюдений в Росгидромете определена необходимостью выдачи достоверных прогнозов об опасных гелиогеофизических явлениях (ОГЯ) потребителям [2]. В связи с этим необходимым условием качества обеспечения указанных направлений является достижение требуемой точности, достоверности и сопоставимости результатов измерений при выполнении наблюдений за состоянием ионосферы [3–6].

Методы радиозондирования ионосферы являются на данный момент основными при осуществлении диагностики и контроля состояния и изменений ионосферной плазмы. Среди известных методов и средств мониторинга ионосферы ключевое место занимает вертикальное зондирование (ВЗ), при котором ионозондом излучаются вертикально вверх импульсные сигналы переменной частоты (как правило, в диапазоне 1 - 20 МГц) и принимаются отраженные от ионосферы эхо-сигналы. Время задержки, в течение которого радиоволны достигают своего уровня отражения и возвращаются обратно, регистрируется и представляются в удобной форме, в виде ионограммы. Указанный метод является беспрецедентным по точности и информативности результатов измерений, поскольку его основу составляет эффект резонансного отражения радиоволн от структурных особенностей ионосферной плазмы.

К основному средству измерений, реализующих данные принципы относятся станции вертикального радиозондирования ионосферы наземные (ионозонды). Современные ионозонды вертикального зондирования ионосферы изготавливаются в циф-

Минлигарев Владимир Тимурович, ФГБУ «ИПГ», главный метролог – ведущий научный сотрудник, т.(499)181-52-15, e-mail: vns32@yandex.ru.

Панышин Евгений Александрович, ФГБУ «ИПГ», научный сотрудник, т.(499)181-36-22, e-mail: pansevgenij@yandex.ru.

Чурилов Сергей Николаевич, ФГУП «ВНИИМ им.Д.И. Менделеева», ведущий инженер т. (812)323-93-75, e-mail: sys@butovo.com

ровом формате с соответствующим программным обеспечением обработки измерительной информации. Разработка и изготовление ионозондов проводится производителями в различных модификациях, с соответствующим антенно-фидерными устройствами (антеннами) – АФУ.

Наиболее известны следующие модификации современных цифровых ионозондов вертикального зондирования ионосферы: «Парус-А» (Россия), «Авгур – К» (Россия), «DPS-4» (США), «САDІ» (Канада) и др. Их основные сравнительные характеристики представлены в табл. 1.

Среди наземных станций вертикального радиозондирования ионосферы в создаваемой системе мониторинга геофизической обстановки над территорией Российской Федерации (СМГФО) в средних широтах наибольшее распространение на перспективу получили ионозонды «Парус-А» (Рис.1).

В соответствии с Федеральным законом № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [7] ионосферные наблюдения в Росгидромете попадают в сферу государственного регулирования обеспечения единства измерений [3-6].

Актуальность данного вопроса на федеральном уровне подтверждает тот факт, что с требованиями незамедлительной реализации положений части 5 статьи 5 Федерального закона "Об обеспечении единства измерений" (об утверждении Перечней) выступил заместитель Председателя Правительства РФ 20 июля 2012 г. Поручение РД-П7-4147 выдано министерствам и ведомствам, в том числе и Росгидромету, по

результатам доклада Правительству Росстандарта «О состоянии работ в области обеспечения единства измерений в Российской Федерации на 01.06.2012 г.».

В связи с этим от ФГБУ «ИПГ» поданы предложения в перечень измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, с установленными обязательными метрологическими требованиями в области гелиогеофизики, смежной областью с гидрометеорологией (далее - Перечень), в соответствии с методикой МИ 3197-2009 [8]. В таблице 2 представлен фрагмент рассмотренного Перечня, касаемого ионосферных наблюдений (с учетом требований ВМО [9]).

Необходимо также отметить, что при формировании Перечня учитывалось, что средства измерений, используемые для выполнения измерений, включенных в сферу государственного регулирования обеспечения единства измерений на основании Федерального закона № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [7] подлежат испытаниям в целях утверждения типа, поверке, а методики (методы) измерений, используемые при этом, должны быть аттестованы.

Таким образом, ионозонды, используемые в Государственной наблюдательной сети, должны быть испытаны и внесены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (государственный реестр).

Таблица 1. Сравнительные технические и метрологические характеристики цифровых ионозондов

Тип ионозонда (Страна-изготовитель)	Диапазон частот, МГц	Диапазон высот, дальности зондирования, км	Мощность излучения, кВт	Длительность зондирующего сигнала, мкс	Длительность сеанса измерения, с	Частота повторения сеансов измерения, мин <sup>-1</sup>
Парус – А (Россия)	1 - 20	85 - 900	12 - 15	50 - 200	7-30	1,5 15
Авгур – К (Россия)	1-32	1200	0,3 - 15	10 - 600	30	15
САDІ (Канада)	1 - 20 2 – 32	1024	0,6	40	180	1,5 15
DPS-4 (США)	1-30	650	0,15×2	533,33	120-180	15

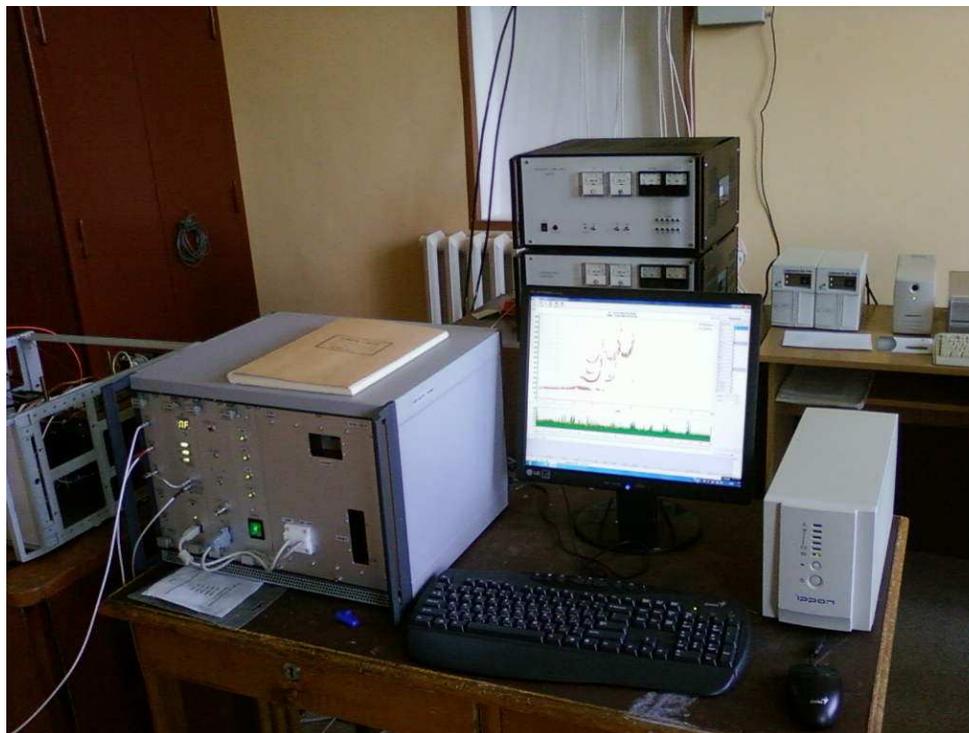


Рис. 1. Внешний вид ионозонда «Парус-А» зав. № 01, установленный в ИЗМИРАН, г. Троицк

Таблица 2. Выписка из перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений в области гидрометеорологии и смежных с ней областях

№ п/п	Измерения	Обязательные метрологические требования к измерениям, указанным в столбце 2	
		Диапазон измерений	Предельно допустимая погрешность или неопределенность
<b>12. Осуществление деятельности в области гидрометеорологии</b>			
Гелиогеофизика (космическая погода)			
5	Измерение максимальной частоты волны, отражающейся от слоя F2 ионосферы	1 ÷ 20 МГц	ПГ ± (0,05...0,2) МГц

### РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ В ЦЕЛЯХ УТВЕРЖДЕНИЯ ТИПА ИОНОЗОНДОВ «ПАРУС-А»

Наглядным примером выполнения перечисленных требований законодательства и нормативных документов являются проведенные испытания в целях утверждения типа (процедура внесения в Госреестр средств измерений) вновь разработанных ионозондов «Парус-А», которые успешно

завершены в ФГБУ «ИПГ». Необходимо отметить, что такие испытания проведены в России впервые, даже с учетом эксплуатации ионозондов в СССР, более чем за 50-летнюю историю.

При разработке концепции, проектировании и изготовлении ионозондов «Парус-А» принимали участие несколько предприятий различных ведомств: ФГБУ «ИПГ» (Росгидромет), ФГБУН «ИЗМИРАН» (РАН), ООО НТЦ «Радикон-М». Испыта-

ния проводились в соответствии с приказом Минпромторга России от 30 ноября 2009 г. № 1081 [10], рекомендациями МИ 3290 - 2010 [11] в пяти НИУ Росгидромета, Росстандарта и РАН в 2011-2012 г.г. ФГБУ «ИПГ» осуществлял организационное, научно-методическое руководство и принимал непосредственное участие в данных работах. Финансирование испытаний проводилось из собственных средств института. Основные испытания ионозондов были проведены Государственным Центром испытаний средств измерений (ГЦИ СИ) ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», аккредитованным в системе Росстандарта.

В результате испытаний была отработана Программа, приведены в соответствие конструкторская и эксплуатационная документация, разработаны описание типа, методика поверки и другие документы, согласно [10,11]. Ниже приведены некоторые результаты испытаний.

1. Перед началом испытаний была разработана программа испытаний в целях утверждения типа. Программа устанавливает содержание, объем, условия и методы проведения испытаний. Составной частью ионозондов «Парус-А» является программа обработки измерительной информации, поэтому в программу испытаний была введена идентификация программного обеспечения и оценка ее влияния на метрологические характеристики ионозондов. Также введен пункт определения межповерочного интервала.

2. Отредактированы и приведены в соответствии с ГОСТ 2.601-2006, ГОСТ 2.610-2006, ГОСТ 2.114-95 эксплуатационные документы:

- Технические условия (ВСПИ.670000 01-ТУ);
- Руководство по эксплуатации (ВСПИ.670000 01-РЭ);
- Формуляр (ВСПИ.670000 30-01).

3. Разработано описание типа ионозондов «Парус-А», в которое входят разделы: назначение, описание, принцип действия, метрологические и технические характеристики, программное обеспечение, комплектность средства измерений, поверка и другие разделы.

Ионозонды «Парус-А» предназначены для измерений времени задержки радиосигнала, импульсного напряжения переменного тока, а также для отображения ре-

зультатов измерений и расчетных величин. Принцип действия ионозондов состоит в генерировании импульсного сигнала 100-микросекундной длительности, с заполнением несущей частотой от 1 до 20 МГц, излучаемого АФУ, не входящим в состав ионозонда, и измерении времени задержки этого сигнала после его отражения от слоев ионосферы.

Ниже приведены основные технические и метрологические характеристики ионозондов, подвергшиеся испытаниям (Рис.2).

Определение диапазона и абсолютной погрешности измерений времени задержки:

- определение начального (собственного) времени задержки по тракту РПУ-РПДУ (радиоприемного и радиопередающего устройства);

- определение абсолютной погрешности измерений времени задержки на частоте 1 МГц.

Определение диапазона воспроизводимых частот заполнения радиоимпульса и абсолютной погрешности измерений частоты заполнения радиоимпульса.

Определение порога чувствительности РПУ ионозонда.

Определение абсолютной погрешности воспроизведения шкалы времени ионозонда относительно секундных импульсов глобальной навигационной системы GPS.

Разработчиками ионозондов «Парус-А» являются ФГБУ «ИПГ» и ФГБУН «ИЗМИ-РАН». С данными характеристиками ионозонды утвержденного типа будут выпускаться в течении 5 лет, в соответствии со свидетельством на утвержденный тип, выданный Росстандартом (с номером Госреестра средств измерений).

4. Разработана и утверждена ГЦИ СИ ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» методика поверки ионозондов (100269 МП).

Методика поверки ионозондов предусматривает необходимость проведения поверки:

- перед началом эксплуатации;
- не реже, чем через 3 года эксплуатации (периодическая поверка);
- после хранения более 6 месяцев;
- после ремонта.

Требования к организации, порядку проведения поверки и форма представления результатов поверки определяются правилами [12].

В инструкции приведен порядок и последовательность проведения поверки. При проведении первичной, периодической поверки и поверки после ремонта должны выполняться следующие операции:

- внешний осмотр;
- опробование;
- определение абсолютной погрешности измерений времени задержки радиоимпульса относительно момента зондирования;

- определение диапазона и абсолютной погрешности измерений частоты заполнения радиоимпульса;

- определение чувствительности радиоприемного устройства ионозонда (РПУ);
- определение цифрового идентификатора программного обеспечения (контрольных сумм исполняемого кода)

Основные метрологические характеристики, полученные в результате испытаний и внесенные в описание типа ионозондов «Парус-А», представлены в табл. 3.



Рис. 2. Проведение испытаний в целях утверждения типа ионозондов «Парус-А»

Таблица 3. Метрологические характеристики ионозондов «Парус-А»

№ п/п	Метрологические характеристики	Диапазон
1	Диапазон измерений времени задержки радиоимпульса с частотой заполнения от 1 до 20 МГц, мс	0,5 - 10
2	Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений времени задержки радиоимпульса с частотой заполнения от 1 до 20 МГц, мкс	$\pm 12$
3	Диапазон воспроизводимых частот заполнения радиоимпульса, МГц	1 - 20
4	Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений частоты заполнения радиоимпульса, кГц	$\pm 5$
5	Порог чувствительности РПУ ионозонда, мкВ, не более	0,35
6	Пределы допускаемой погрешности установки секундных импульсов относительно шкалы времени аппаратуры GPS, мкс	$\pm 1$

В методике поверки определены следующие средства измерений, применяемые при поверке ионозондов «Парус-А»:

- осциллограф типа ТЕКТРОНИК 2024В (погрешность измерений - 3%; диапазон напряжений постоянного тока до 30 В; диапазон частот от 0 до 200 МГц; диапазон выборки от 2,5 нс до 50 с);

- генератор высокочастотный типа N5181А (диапазон частот от 100 Гц до 1 ГГц; точность установки частоты - 0,01 Гц; диапазон амплитуд: от -110 до +13 дБм; точность установки амплитуды  $\pm 0,6$  дБм).

При эксплуатации допускается применение других средств измерений с метрологическими характеристиками не хуже указанных.

Результаты поверки считаются положительными, и ионозонд является годным, если полученные данные соответствуют критериям, приведенным в методике поверки, с последующим оформлением свидетельства о поверке установленной формы.

При отрицательных результатах поверки (погрешность измерений превышает допустимые значения и др.) применение ионозонда запрещается, он бракуется и направляется в ремонт. Выписывается свидетельство о непригодности с указанием причины.

Особенностью проведения испытаний ионозондов явился нестандартный подход в определении метрологических характеристик радиотехнических средств измерений, в силу пионерской работы по испытаниям ионозондов. Например, при определении диапазона и абсолютной погрешности измерений времени задержки радиоимпульса относительно момента зондирования предложено было использовать специальный блок имитатора задержки радиоимпульса, входящего в состав радиоприемного устройства (РПУ). А измерение времени задержки осуществлялось уже с помощью двухканального осциллографа.

Очень важным этапом в проведении испытаний явилось определение абсолютной погрешности воспроизведения шкалы времени ионозонда, относительно секундных импульсов глобальной навигационной системы GPS. Несмотря на то, что определение указанной погрешности не входит в метрологические характеристики ионозонда. Результаты этих испытаний помогут в будущем синхронизировать работы наземных

ионозондов с ионозондами, установленными на борту космических аппаратов, а методику определения этой характеристики можно будет использовать при аттестации наземно-космической системы диагностики состояния ионосферы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные испытания: подтвердили заявленные метрологические характеристики ионозондов «Парус-А». Рассчитан и установлен межповерочный интервал в 3 года, разработана методика поверки и другие эксплуатационные документы, в соответствии с [10,11]. В результате проведенных испытаний сложился уникальный межведомственный коллектив, способный в дальнейшей практике провести подобные испытания с другими типами ионозондов.

В перспективе для совершенствования эксплуатации ионозондов предполагается:

- создание на базе ФГБУ «ИПП» поверочной лаборатории с областью аккредитации, соответствующей поверке ионозондов;
- создание и организация работ технических бригад, с участием разработчиков «Парус-А» для технического обслуживания (гарантийного и постгарантийного), ремонта и поверки ионозондов, а также АФУ на Государственной наблюдательной сети;
- разработка и ввод в эксплуатацию эталона времени ионосферной задержки;
- разработка отечественного программного обеспечения.

Необходимо также отметить, что для средств измерений ионосферных наблюдений, разрабатываемых в области обороны и безопасности, предусмотрена процедура испытаний, утверждения типа и внесения в спецраздел Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений (как средств измерений военного назначения) в соответствии с [13]. Данные испытания проводит ФГКУ «ГНМЦ Минобороны России» [14].

Следующий этап работ по обеспечению единства измерений СМГФО предусматривает испытания в целях утверждения типа ионозондов САДИ, а также других средств геофизического мониторинга, оснащаемых, в том числе и для высокоширотных пунктов наблюдений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Плазменная гелиогеофизика / Ред. Л.М. Зеленый и И.С. Веселовский. М.: Физматлит, 2008. Т. 2. 559 С.
2. РД 52.88.699 – 2008. Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений. – Обнинск: ГУ «ВНИГМИ-МЦД», 2008.
3. Минлигареев В.Т., Паньшин Е.А. Анализ метрологического обеспечения ионосферных наблюдений в целях улучшения функционирования систем управления, связи и навигации // Гелиогеофизические исследования: научный электронный журнал. - 2012. - № 1. [Электронный ресурс]. Доступ с сайта ФГБУ «ИПГ» <http://ipg.geospace.ru/> - URL: [http://www.vestnik.geospace.ru.](http://www.vestnik.geospace.ru/) (дата обращения: 19.08.2012).
4. Минлигареев В.Т., Лапшин В. Б., Паньшин Е.А. Нормативное и метрологическое обеспечение гелиогеофизических наблюдений // Гелиогеофизические исследования: научный электронный журнал. - 2012. - № 1. [Электронный ресурс]. Доступ с сайта ФГБУ «ИПГ» <http://ipg.geospace.ru/> - URL: [http://www.vestnik.geospace.ru.](http://www.vestnik.geospace.ru/) (дата обращения: 19.08.2012).
5. Минлигареев В.Т., Лапшин В.Б. [и др.]. Совершенствование метрологического обеспечения ионосферных наблюдений для эффективного функционирования систем управления, связи и навигации // Известия ЮФУ. Технические науки. Тем. вып. Перспективные системы и задачи управления – г. Таганрог.- 2012. № 3 (128). – 264 С. (С.107-113).
6. Минлигареев В.Т., Сыроешкин А.В. [и др.]. Проблемы метрологического обеспечения гелиогеофизических наблюдений / Труды II Всероссийской научной конференции «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды» - г. Санкт-Петербург, ВКА имени А.Ф. Можайского – 2012 г. - Т.1. - С. 225-231.
7. Федеральный закон Российской Федерации от 26 июня 2008 года № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» // Собр. законодательства Рос. Федерации - 2008 г. - № 26, ст. 3021.
8. МИ 3197-2009 «Составление перечней измерений, относящихся к сфере государственного технического регулирования обеспечения единства измерений» - М.: Изд-во стандартов, 2009.
9. Требования ВМО к средствам наблюдений и наблюдательным сетям [Электронный ресурс] // Всемирная Метеорологическая Организация: [Сайт]. URL: <http://www.wmo-sat.info/db/indices> (дата обращения 19.08.2012).
10. Приказ Минпромторга России от 30 ноября 2009 г. № 1081 «Об утверждении порядка проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа» // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти - 15.03.2010 г.- № 11.
11. МИ 3290-2010. Рекомендация по подготовке, оформлению и рассмотрению материалов испытаний средств измерений в целях утверждения типа. - М.: Изд-во стандартов, 2010.
12. ПР 50.2.006-94 «ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения» - М.: Изд-во стандартов, 1994.
13. ГОСТ РВ 8.560-95. Средства измерений военного назначения. Испытания и утверждение типа. - М.: Изд-во стандартов, 1995.
14. Постановление Правительства Российской Федерации от 2 октября 2009 г. № 780 «Об особенностях обеспечения единства измерений при осуществлении деятельности в области обороны и безопасности Российской Федерации» // Собр. законодательства Рос. Федерации – 2011 г.- № 10, ст. 1412.