

Состояние и пути модернизации отечественных средств передачи времени на сверхдлинных волнах

© Б. Ф. Бабайкин¹, П. В. Белянкин¹, Е. Т. Жуков²,
Н. А. Степанова¹, Д. В. Филиппов³

¹ООО «Навигация-Сервис», г. Санкт-Петербург, Россия

²ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

³АО «РИРВ», г. Санкт-Петербург, Россия

Дан обзор состояния и путей модернизации отечественных средств передачи времени на сверхдлинных волнах. Представлены существующие и новые методы, форматы и аппаратура передачи сигналов времени с помощью сверхдлинноволновых радиостанций связи Военно-морского флота (ВМФ) России и их оснащение средствами передачи сигналов времени. Рассмотрены принципы построения существующих и новых приемников сигналов времени на сверхдлинных волнах.

Ключевые слова: передача времени, сигналы времени, шкала времени, сверхдлинные волны (СДВ), СДВ связь.

Введение

Электромагнитные волны длиной от 10 до 100 км (частота от 3 до 30 КГц), называемые сверхдлинными (СДВ), распространяются на расстояния порядка 10 тыс. км и принимаются под водой, подо льдом и в зданиях. Они используются для связи с кораблями и подводными лодками, а также для передачи сигналов времени и частоты. Проблема связи с подлодками была решена ещё в 1943 году в Германии путём создания мощной СДВ-радиостанции с частотами связи 15...25 кГц, которая после войны в качестве трофея была демонтирована и установлена под Нижним Новгородом.

В СССР проблемы использования СДВ решались научным советом при секции прикладных проблем АН СССР под председательством В. А. Котельникова и Е. П. Велихова. Советскими учёными П. Е. Краснушкиным, Г. И. Макаровым и др. исследованы вопросы распространения СДВ в волноводе Земля-ионосфера. Отечественными предприятиями разработан и построен ряд мощных СДВ-радиостанций связи ВМФ вблизи Архангельска, Молодечно, Хабаровска, Бишкека и Краснодара. Они были использованы и для передачи сигналов времени наряду с коротковолновыми (КВ) и длинноволновыми (ДВ)

радиостанциями Государственной службы времени и частоты (ГСВЧ), см. рис. 1.

В зарубежных странах также используются для связи с подлодками радиостанции СДВ-диапазона. Восемь СДВ-радиостанций США передают стабильные частоты, контролируемые Военно-морской обсерваторией США.



Рис. 1. Радиостанции ГСВЧ РФ, передающие сигналы времени и частоты

Состояние средств передачи СДВ-сигналов времени

Методы и теория передачи времени СДВ-радиостанциями связи были разработаны отечественными специалистами Л. Д. Васиным, Л. М. Шуром, М. В. Болотниковым, Е. Н. Червинским и др. Существующий метод передачи разработан в АО «РИРВ», в 1960–65 годах при создании системы единого времени высокой точности (СЕВ ВТ). СДВ-радиостанции связи ВМФ мощностью около 300 кВт были использованы в качестве передающих пунктов СЕВ. Они были оснащены групповыми стандартами частоты и времени и аппаратурой формирования эталонных сигналов частоты и времени (ЭСЧВ).

Передача ЭСЧВ осуществляется сеансами 1...2 раза в сутки полной длительностью 47 мин в соответствии с программой, включающей настройку передатчика, позывные, низкочастотную (НЧ) и высокочастотную (ВЧ) части [1, 4]. В НЧ части излучаются сигналы А1N с несущей 25 кГц, амплитудно-модулированной (АМ) импульсами с частотами следования 40; 10; 1; 1/10; 1/60 Гц и соответствующими длительностями: 12,5; 25; 100 мс, 1; 10 с.

НЧ часть используется для грубой привязки шкалы времени (ШВ) потребителей с погрешностью не более 1 мс. В ВЧ части излучаются дополнительные несущие 25.1; 25.5; 23; 20.5 кГц, используемые для точной привязки ШВ по фазовым измерениям (ФИ). При устранении неоднозначности ФИ обеспечивается привязка ШВ с погрешностью 5...10 мкс по калиброванным трассам.

При создании в 1980–85 годах на базе СЕВ ВТ и ГСВЧ Государственной системы единого времени и эталонных частот (ГСЕВЭЧ) в АО «РИРВ» был предложен и реализован на двух станциях (Хабаровск и Краснодар) укороченный до 36 мин формат передачи [4]. Реализована также экспериментальная передача в течение 4 мин НЧ части путём частотной манипуляции (ЧМ) несущей по укороченному коду Баркера с корреляционной функцией, идентифицирующей секунду и минуту.

Основными недостатками существующих методов передачи времени на СДВ являются низкая помехоустойчивость, сеансность, избыточная длительность сеанса и отсутствие оцифровки ШВ. Аппаратура передающих пунктов устарела морально и физически и нуждалась в замене.

В ООО «Навигация-Сервис» по заданию АО «РИРВ» и планам совершенствования ГСЕВЭЧ в 2007 году выполнена разработка современного модуля формирования (МФ) ЭСЧВ для СДВ радиостанций связи ВМФ РФ [2], предназначенного для замены соответствующей устаревшей аппаратуры СЕВ ВТ и ГСЕВЭЧ. В состав МФ входят 5 плат синтезаторов несущих и плата управления с программируемым микроконтроллером. Использование микроконтроллера позволяет задать режимы передачи полного 47-минутного и укороченного 36-минутного сеансов. На передающем пункте СЕВ были установлены резервированные стандарты частоты и времени, аппаратура сравнения ШВ по сигналам ГНСС, два полуконспекта МФ с модулем их коммутации.

Состояние средств приёма СДВ-сигналов времени

Аппаратура приёма СДВ на этапах функционирования СЕВ ВТ и ГСЕВЭЧ была построена на базе специализированных для приёма сигналов времени СДВ приёмников с цепями пилотирования с визуальной и аппаратной привязкой по сигналам А1N, реализацией ФИ и частичной автоматизацией процесса привязки ШВ.

В 1998 году в ООО «Навигация-Сервис» был разработан и производился малой серией приёмник «Балтика-СДВ», в котором в малых габаритах (две платы) были реализованы все базовые функции приёмной аппаратуры СДВ: автоматической обработки сеанса, измерения временного интервала и сдвига ШВ с выдачей импульсов 1 и 1/60 Гц. Он построен на отечественных микросхемах: микроконтроллере КР1816ВЕ51, К1015ХК3 — в синтезаторе ФАПЧ, К174ХА2 — в тракте приёма. Ввиду прекращения выпуска части из них он снят с производства.

В 2003 году в ООО «Навигация-Сервис» по заданию АО «РИРВ» и планам совершенствования ГСЕВЭЧ был разработан новый приёмник СДВ-сигналов времени. Использование более мощного микроконтроллера в комбинации с формированием ШВ на ПЛИС позволило упростить по сравнению с приёмником «Балтика – СДВ» как тракт радиоприёма, так и цифровую часть с реализацией их на одной печатной плате небольших габаритов и повышением точности измерений. Приёмник выпускается серийно в различных вариантах с

учётом требований потребителей по габаритам платы, области применения и типам объектов, обеспечивая современное функционирование средств передачи времени на СДВ в усовершенствованной ГСЕВЭЧ.

Пути модернизации средств передачи СДВ-сигналов времени

Модернизация ГСЕВЭЧ необходима для дальнейшего обновления аппаратуры и удовлетворения растущих требований потребителей. Она проводилась АО «РИРВ» с соисполнителями в 2008–2017 годах. В ООО «Навигация-Сервис» были решены задачи сокращения длительности сеанса излучения и передачи оцифровки ШВ [4]. Первая задача была решена путём изменения НЧ и ВЧ части программы (рис. 2) с сокращением числа несущих до 4-х, времени излучения каждой из них и пауз между ними при достижении 15 мин длительности сеанса. Вторая задача была решена путём дополнительной фазовой манипуляции (ФМн) и модификации позывных с возможностью передачи также информации о всемирном времени, необходимом для навигации и геодезии.

Был разработан новый модуль формирования программы передач (МФПП) [4], обеспечивающий все режимы передачи по существующим форматам и излучение всех компонент ВЧ и НЧ программы по новому 15-минутному формату с модуляцией несущей по амплитуде и фазе. Он состоит из двух одинаковых полуккомплектов, каждый из которых содержит две платы, одна из которых, содержащая микроконтроллер и ПЛИС, формирует программу передач. В ПЛИС содержатся программно доступные регистры, обеспечивающие связь со всеми устройствами МФПП, а также цифровые

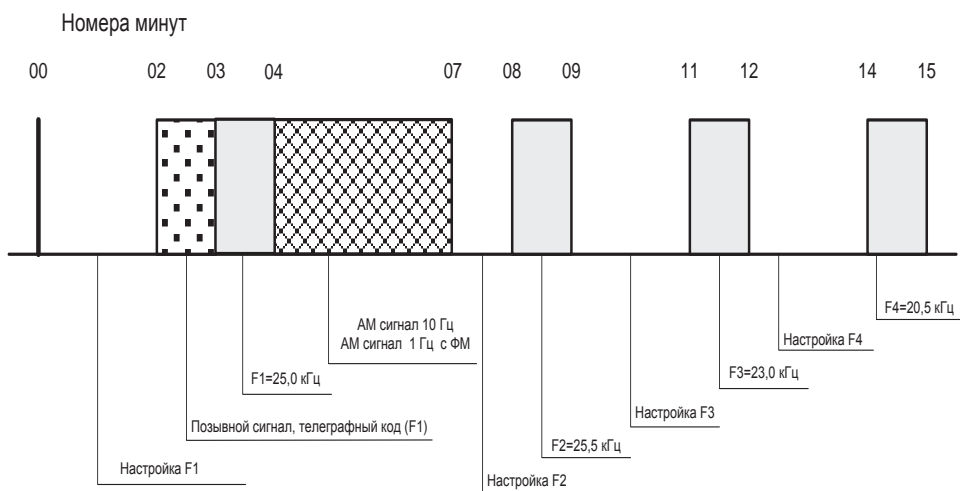


Рис. 2. Новый сокращённый формат передачи СДВ-сигналов времени

синтезаторы несущих частот, дискретный фазовращатель несущей частоты, измеритель временных интервалов и прерыватель амплитудной манипуляции с синхронизацией по фазе несущей. Синтез кратных несущим частотам опорных тактовых частот реализован в блоках PLL ПЛИС. Вторая плата содержит полосовой фильтр и кабельный усилитель, обеспечивающие передачу сигнала по длинной согласованной коаксиальной линии на возбуждатель передатчика, преобразователи сигнала от трансформатора (датчика) тока антенны, а также цепи коммутации полукомплектов, обеспечивающие автоматическое или принудительное переключение на резервный полукомплект. Для защиты от перегрузки передатчика при ФМн сдвиг фазы осуществляется программным путём за время 3...5 мс. Структура формирования сигналов в новом МФПП представлена на рис. 3.

Дальнейшим путём повышения эффективности передачи сигналов времени СДВ радиостанциями связи является использование для привязки ШВ несущей с ФМн псевдослучайной последовательностью (ПСП).

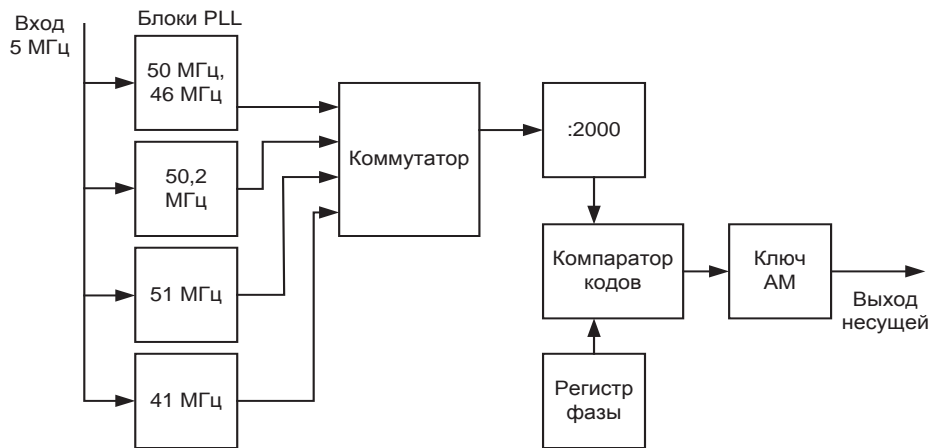


Рис. 3. Структура формирования сигналов в новом МФПП [4]

Это позволит сократить длительность сеанса привязки и повысить её помехозащищённость. Исключение АМ облегчает режим работы выходных каскадов и системы электропитания передающих устройств. Реализация этого формата передачи сигналов времени исследована экспериментально [5].

Пути модернизации средств приёма СДВ-сигналов времени

Для приёма СДВ-сигналов времени нового формата могут быть использованы существующие приёмники при соответствующей адаптации программного обеспечения. Основные направления дальнейшей модернизации СДВ-приёмников связаны с использованием цифровых и программных методов обработки сигналов, что обеспечивает улучшение их технических характеристик: расширение динамического диапазона, повышение избирательно-

сти, помехоустойчивости. Эффективной структурой, обеспечивающей высокую помехоустойчивость при должной гибкости, является цифровой программно реализованный приёмник — Software Defined Receiver (SDR).

В SDR-приёмнике с помощью цифровой и программной обработки выполняются такие функции, как частотная фильтрация, подавление помех и регулировка усиления. Радиосигнал преобразуется на АЦП в цифровую форму. Перед входом АЦП устанавливаются блок согласования с антенной (БСА), полосовая цепь на используемый частотный диапазон и управляемый усилитель для нормирования сигнала на входе АЦП по амплитуде. Цифровое преобразование частоты осуществляется с помощью цифрового гетеродина (NCO). Структурная схема цифрового приёмника СДВ-сигналов времени прямого преобразования приведена на рис. 4.

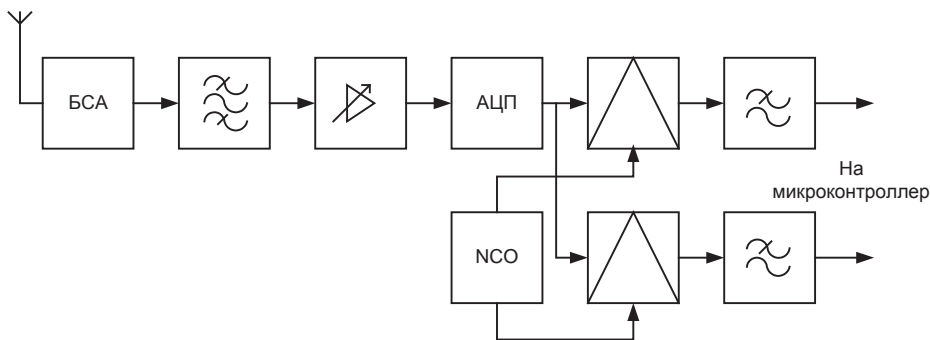


Рис. 4. Структурная схема цифрового приёмника СДВ-сигналов времени

При приёме ВЧ программы ЭСЧВ СДВ-диапазона образуются два канала с постоянными уровнями сигнала, при усреднении которых можно получить фазу принятого сигнала как арктангенс этих значений с учётом знака и доплеровского сдвига частоты. При приёме НЧ программы АМ или ФМн ПСП используется корреляционная обработка аналогично приёмникам ГНСС.

Заключение

Создание средств передачи времени на СДВ является отечественным достижением, не имеющим эквивалентных зарубежных аналогов. Применение СДВ радиостанций связи ВМФ для оперативного управления ВМС является основой их существующего и перспективного использования для передачи времени. Они являются основным средством для привязки ШВ подлодок в подводном положении и резервным по отношению к ГЛОНАСС, обладая высокой целевой устойчивостью и парируя уязвимость ГЛОНАСС в особые периоды. Модернизация средств передачи времени на СДВ позволяет повысить их тактико-технические характеристики: доступность, оперативность, информативность по эпохе и другим параметрам, непрерывность доведения частотно-временной информации до потребителей.

Литература

1. Эталонные сигналы частоты и времени. Характеристики и программы передач через радиостанции, наземные и космические средства навигации, сети телевизионного вещания // Бюллетень В14/2013 ГМЦ ГСВЧ РФ. — М.: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2013. — URL: ftp://ftp.vniiftri.ru/BULLETINS/V/BulV_14_2013.doc (15.03.2018).

2. *Бабайкин Б. Ф., Барановский В. В., Белянкин П. В., Жуков Е. Т., Снегирев Е. А., Степанова Н. А.* Новый модуль формирования эталонных сигналов частоты и времени для СДВ радиостанций связи ВМФ // Труды ИПА РАН. — СПб.: Наука, 2007. — Вып. 17. — С. 186–191.

3. *Бабайкин Б. Ф., Барановский В. В., Белянкин П. В., Жуков Е. Т., Снегирев Е. А., Степанова Н. А.* Новый приемник СДВ сигналов времени для ВМФ / Труды ИПА РАН. — СПб.: Наука, 2007. — Вып. 17. — С. 179–185.

4. *Бабайкин Б. Ф., Белянкин П. В., Жуков Е. Т., Степанова Н. А.* Инновация методов передачи сигналов времени сверхдлинноволновыми радиостанциями связи Военно–морского флота Российской Федерации // Труды ИПА РАН. — СПб.: Наука, 2013. — Вып. 27. — С. 355–359.

5. *Бабайкин Б. Ф., Белянкин П. В., Жуков Е. Т., Степанова Н. А., Царенко И. И.* Направления и пути развития системы передачи времени на сверхдлинных волнах // Труды ИПА РАН. — СПб.: Наука, 2016. — Вып. 37. — С. 23–28.

The Current Status and Ways to Improve the Very Low Frequency Time Transfer Facilities in Russia

**B. F. Babaykin, P. V. Beliankin, E. T. Zhukov,
N. A. Stepanova, D. V. Filippov**

The current status and ways to improve the Russian Very Low Frequency (VLF) time transfer facilities are observed. We present the existing and new techniques, formats and equipment to transfer time signals by the Russian Navy's VLF communication radio stations and their time signal transfer facilities. Construction principles of the existing and new time signal VLF receivers are considered.

Keywords: time transfer, time signals, time scale, Very Low Frequency (VLF), VLF communication.