Пространство профессионального диалога - научно-практический семинар «Решения АО «Время-Ч» в задачах синхронизации в пакетных сетях»

С.Ю. Медведев[1], Д.В. Кутузов[2], А.В. Осовский[2], М.И. Вексельман[1]

[1]АО «Время-Ч», г. Нижний Новгород, Россия
[2]Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия

Аннотация **– В статье представлены итоги научно-практического семинара «Решения АО «Время-Ч» в задачах синхронизации в пакетных сетях», состоявшегося 20–22 октября 2026 года в Нижнем Новгороде. Рассматриваются ключевые направления развития современных систем частотно-временной синхронизации, обусловленные возрастающими требованиями телекоммуникационных сетей и территориально распределённых технических систем к точности и устойчивости передачи сигналов времени и частоты. Освещены представленные на семинаре технические решения, включая применение протокола PTP (IEEE 1588), технологии White Rabbit, синхронного Ethernet (SyncE), а также специализированных средств передачи эталонных сигналов по волоконно-оптическим линиям связи. Отдельное внимание уделено вопросам обеспечения устойчивости спутниковых источников синхронизации, развитию высокостабильных стандартов частоты и созданию территориально распределённых систем доставки сверхточного времени и частоты. Обобщены основные направления профессионального обсуждения, отражающие актуальные потребности операторов связи, разработчиков оборудования и метрологических организаций. Показано значение подобных мероприятий для обмена техническим опытом, согласования требований потребителей и определения перспектив развития отечественных средств и систем частотно-временного обеспечения.**

Ключевые слова **– частотно-временная синхронизация, пакетные сети связи, точное время, протокол PTP, IEEE 1588, White Rabbit, синхронный Ethernet, SyncE, стандарты частоты, метрологическое обеспечение, АО «Время-Ч».**

ВВЕДЕНИЕ

С 20 по 22 октября 2026 года в Нижнем Новгороде проходил научно-практический семинар «Решения АО «Время-Ч» в задачах синхронизации в пакетных сетях», организованный АО «Время-Ч». Мероприятие объединило представителей профессионального сообщества российских разработчиков, производителей и пользователей оборудования сетевой синхронизации. В работе семинара приняли участие более 50 специалистов, представлявших ведущих операторов связи, предприятия телекоммуникационной отрасли, научно-исследовательские и метрологические организации, а также образовательные учреждения.

Среди участников были представители ПАО «МТС», ПАО «МГТС», ПАО «Ростелеком», ПАО «МегаФон», ПАО «ВымпелКом», ПАО «Таттелеком», ООО "К-ТЕЛЕКОМ", АО «Компания Трансгелеком», ОАО «РЖД», АО «ОЭК», ФГУП «ГТСС», ФГАНУ «ЦИТиС», ФГУП «ВНИИФТРИ», НИЦ «Курчатовский институт», АО «ВНИИР-Прогресс», РУП «Белтелеком», ФГБОУ ВО «АГТУ» и ряда других организаций. Широкий состав участников позволил рассмотреть вопросы сетевой синхронизации с позиций как разработчиков специализированного оборудования, так и специалистов, отвечающих за его внедрение и эксплуатацию в действующих сетях связи.

Основной тематикой семинара стали современные подходы к построению систем частотно-временной синхронизации на базе пакетных сетей передачи данных, а также технические решения, предлагаемые для этого АО «Время-Ч». Программа мероприятия включала доклады о развитии оборудования синхронизации, его технических характеристиках и функциональных возможностях, особенностях применения протоколов передачи точного времени и обеспечении требуемых параметров синхронизации в различных условиях эксплуатации.

Особое значение семинару придала его практическая направленность. Наряду с представлением разработок и технических решений, участники получили возможность обсудить вопросы их применения в инфраструктуре операторов связи, обменяться опытом эксплуатации оборудования и обозначить актуальные требования к его дальнейшему развитию.



Рис. 1. В научно-практическом семинаре «Решения АО «Время-Ч» в задачах синхронизации в пакетных сетях» приняли участие ведущие специалисты отрасли

Таким образом, мероприятие стало пространством профессионального диалога между производителями и потребителями телекоммуникационного оборудования.

I. СИНХРОНИЗАЦИЯ В ПАКЕТНЫХ СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ: СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Развитие телекоммуникационных сетей сопровождается постоянным повышением требований не только к пропускной способности, задержкам и надёжности передачи информации, но и к точности синхронизации сетевого оборудования. Если в традиционных сетях связи задачи синхронизации в значительной степени решались средствами синхронной цифровой иерархии (SDH) и специализированными системами распределения частоты, то переход к пакетным технологиям передачи данных существенно изменил подходы к построению систем частотно-временного обеспечения. В современных сетях, использующих Ethernet и IP/MPLS, синхронизация должна обеспечиваться в условиях переменной задержки передачи пакетов, изменения сетевой нагрузки, маршрутизации трафика и возможных нарушений связности отдельных участков сети [1–11].

При рассмотрении этих задач необходимо различать три взаимосвязанных, но не тождественных понятия: частотную, фазовую и временную синхронизацию. Частотная синхронизация обеспечивает согласованность частот генераторов различных сетевых устройств и позволяет поддерживать заданную скорость передачи информации. Фазовая синхронизация предполагает согласование фаз периодических сигналов, а временная синхронизация обеспечивает согласованность показаний часов различных устройств относительно общей шкалы времени, в частности UTC. В зависимости от назначения сети и используемых технологий требования могут предъявляться к одному или нескольким из этих параметров одновременно. При этом для ряда современных приложений недостаточно обеспечить только стабильность частоты: требуется также поддерживать заданную точность взаимного положения временных шкал сетевых элементов.

Особую сложность представляет реализация синхронизации в пакетных сетях. В отличие от традиционных систем, где опорный сигнал может передаваться по выделенным физическим линиям синхронизации, в пакетной инфраструктуре информация о времени и частоте передаётся совместно с пользовательским трафиком либо восстанавливается с использованием Ethernet-интерфейсов. Время прохождения пакетов зависит от текущей загрузки сети, очередей в коммутаторах и маршрутизаторах, особенностей обработки трафика и конфигурации маршрутов. Возникающая вариация задержки пакетов (Packet Delay Variation, PDV) существенно влияет на точность восстановления временных характеристик опорного сигнала. Поэтому построение надёжной системы синхронизации требует не только применения высокостабильных источников частоты и времени, но и соответствующей организации сетевой инфраструктуры, использования специализированных механизмов компенсации задержек и контроля качества синхронизации.

Важнейшей областью применения высокоточной синхронизации становятся сети мобильной связи пятого поколения (5G). Увеличение плотности размещения базовых станций, использование широких полос частот, развитие технологий антенных систем MIMO, агрегации несущих и различных вариантов организации радиодоступа предъявляют повышенные требования к согласованности работы пространственно распределённых сетевых элементов. Особенно существенны эти требования для сетей с временным дуплексным разделением каналов (TDD), в которых приём и передача осуществляются в разных временных интервалах одного частотного диапазона. Несогласованность временных границ между соседними базовыми станциями может приводить к взаимным помехам и ухудшению характеристик радиоинтерфейса. При использовании MIMO и агрегации несущих точность временного согласования также становится одним из факторов, определяющих возможность реализации предусмотренных стандартами режимов совместной передачи и обработки сигналов.

Требования к точности синхронизации в сетях 5G могут существенно различаться в зависимости от конфигурации радиоинтерфейса и применяемых технологий. Например, при передаче опорной синхронизации до базовой станции по пакетной транспортной сети рекомендация МСЭ Т G.8271.1 устанавливает предел абсолютной ошибки времени 1,1 мкс на границе транспортной сети и оборудования базовой станции.

Этот предел учитывает погрешность источника опорного времени и ошибки, накопленные при передаче по сети. Дальнейшее распределение времени в оборудовании базовой станции также вносит вклад в суммарную ошибку, которую необходимо учитывать при выполнении требований на радиоинтерфейсе.

Рекомендации 3GPPP предусматривают требования порядка 3 мкс для ряда режимов NR TDD и более жёсткие значения (65-250 нс) для отдельных конфигураций агрегации несущих и MIMO. Для отдельных конфигураций агрегации несущих и MIMO дополнительно нормируется взаимное временное выравнивание радиосигналов. Чтобы выполнить требования на радиоинтерфейсе, необходимо распределить допустимый бюджет ошибки времени между источником опорного времени, транспортной сетью и оборудованием базовой станции. Если опорное время передаётся по транспортной сети, её вклад в суммарную ошибку должен укладываться в выделенную ей часть временного бюджета.

Не менее важную роль синхронизация играет в транспортных сетях операторов связи, обеспечивающих передачу больших объёмов информации между территориально распределёнными узлами. Такие сети образуют основу инфраструктуры мобильной и фиксированной связи, центров обработки данных, систем облачных вычислений и межсетевого взаимодействия. В них точное время необходимо для согласованной работы сетевых элементов, корректного формирования временных меток, измерения задержек и контроля качества обслуживания. Кроме того, синхронизация имеет принципиальное значение при построении распределённых систем мониторинга, организации резервирования и переключения каналов, а также при взаимодействии оборудования различных производителей. По мере перехода к полностью пакетным транспортным инфраструктурам обеспечение требуемых характеристик синхронизации становится самостоятельной инженерной задачей, непосредственно влияющей на качество предоставляемых услуг связи.

Существуют и другие области, в которых точность частотно-временного обеспечения приобретает особое значение. В железнодорожной и других транспортных отраслях синхронизация используется при организации систем диспетчеризации, управления движением, мониторинга состояния инфраструктуры и регистрации событий на территориально распределённых объектах. В энергетике согласованная временная шкала необходима для работы систем релейной защиты, противоаварийной автоматики, векторных измерений и анализа переходных процессов в электрических сетях. В промышленной автоматизации она обеспечивает согласованное выполнение операций распределёнными контроллерами, измерительными комплексами и исполнительными устройствами. Для перечисленных приложений требования к точности могут различаться на несколько порядков – от миллисекунд до микросекунд и наносекунд, – однако общим остаётся необходимость иметь достоверную и устойчивую временную основу для функционирования распределённых технических систем.

Таким образом, частотно-временная синхронизация перестаёт быть исключительно вспомогательной функцией телекоммуникационной инфраструктуры и становится одним из условий работоспособности современных информационных и управляющих систем. Её обеспечение требует комплексного подхода, включающего применение высокостабильных первичных источников частоты и времени, технологий распределения синхросигналов по физическим и пакетным каналам, механизмов контроля качества синхронизации, а также средств сохранения точности при временной потере внешнего опорного сигнала.

Для высокоточной синхронизации по пакетным сетям широкое распространение получил протокол PTP (Precision Time Protocol), определённый стандартом IEEE 1588. Он служит общей протокольной основой для нескольких отраслей. Каждая из них определяет правила его применения с учётом архитектуры сети и задач конечного оборудования. Отраслевые профили задают применяемые функции и параметры PTP, например способ передачи сообщений, интервалы их

отправки и правила выбора источника синхронизации. Допустимая ошибка времени и требования к оборудованию определяются в составе соответствующей отраслевой нормативной базы.

В телекоммуникациях такую нормативную базу составляют рекомендации МСЭ Т серий G.826x и G.827x. Они охватывают формирование опорной частоты и времени, их распределение по сети, требования к промежуточным и оконечным устройствам синхронизации, а также допустимые сетевые погрешности. Серия G.826x посвящена частотной синхронизации и охватывает как передачу частоты на физическом уровне с помощью SyncE, так и её восстановление по пакетам PTP по профилю G.8265.1. Серия G.827x охватывает синхронизацию времени и фазы. В неё входят требования к первичным источникам времени и сетевым часам, нормы ошибки времени и профили PTP, в частности G.8275.1 для сетей с полной поддержкой синхронизации и G.8275.2 для сетей с частичной поддержкой.

В электроэнергетике общая шкала времени позволяет сопоставлять измерения и восстанавливать последовательность событий по данным разных устройств цифровой подстанции. Для этих задач применяются профили PTP IEC/IEEE 61850 9 3 и IEEE C37.238. В профессиональном телевидении профиль SMPTE ST 2059 2 обеспечивает распределение опорного времени, а SMPTE ST 2059 1 определяет правила формирования и временного выравнивания аудио- и видеосигналов относительно общей шкалы. В финансовой инфраструктуре синхронизация часов нужна для присвоения сопоставимых временных меток заявкам, сделкам и другим событиям, зарегистрированным разными системами. В центрах обработки данных общая шкала времени позволяет сопоставлять записи журналов и данные телеметрии с разных серверов, восстанавливать ход сбоя и измерять задержки между узлами. В промышленной автоматизации она помогает соотносить измерения и управляющие события, зарегистрированные на разных участках технологического процесса.

Точное время становится инфраструктурным ресурсом везде, где устройства должны действовать согласованно или регистрировать события на общей шкале времени. От задачи зависят допустимая ошибка времени, необходимость привязки к UTC и длительность, в течение которой система должна сохранять заданную точность при потере внешнего опорного сигнала. Эти требования определяют выбор технологии синхронизации и, при использовании PTP, его профиля.

Именно на решение этих задач направлено развитие современных средств синхронизации, способных обеспечить требуемую точность и устойчивость работы оборудования в условиях перехода к пакетным технологиям. Здесь особый интерес представляют разработки АО «Время-Ч», охватывающие как высокостабильные источники частоты и времени, так и специализированные устройства для распределения и контроля синхросигналов в пакетных сетях.

II. СОДЕРЖАНИЕ ДОКЛАДОВ СЕМИНАРА

Программа семинара охватила несколько направлений развития систем частотно-временной синхронизации: совершенствование протоколов передачи точного времени, построение оборудования для пакетных сетей, повышение устойчивости спутниковых источников синхронизации к внешним воздействиям, а также развитие высокостабильных стандартов частоты. Представленные доклады сочетали рассмотрение общих технических принципов с демонстрацией конкретных аппаратных и программных решений.

Доклад М.Л. Шварца «Перспективы и направления развития системы единого и точного времени в национальном масштабе» был посвящён перспективам построения единой системы, способной удовлетворять возрастающим требованиям сетей связи в области синхронизации и точного времени. Рассматривая современные технологии синхронизации, он обратил внимание на сочетание PTP и SyncE, использование пограничных часов, выделенных оптических каналов времени в сетях DWDM, а также резервирование передачи шкалы времени по традиционной инфраструктуре SDH/PDH с помощью аппаратуры АРСВ. Значительная часть выступления была связана с развитием когерентных систем синхронизации и переходом к PTP версии 2.1.



Рис. 2. Выступление Михаила Шварца

В качестве перспективного направления рассматривалось взаимодействие когерентных первичных эталонных источников частоты и времени, формирующих согласованную групповую шкалу времени с участием национальных эталонов UTC(k). При этом докладчик обозначил не только технические, но и организационно-метрологические условия реализации такой архитектуры: необходимость нормативного регулирования присоединения сетей связи к государственным и вторичным эталонам, развития средств измерений и организации регулярного контроля характеристик оборудования. Таким образом, создание единой системы точного времени было представлено как комплексная задача, требующая координации операторов связи, производителей оборудования и метрологических организаций.

В докладе М. Н. Хромова (ФГУП «ВНИИФТРИ») «Создание пилотного участка территориально распределённой волоконной сети доставки сверхточного времени и частоты» была представлена концепция создания территориально распределённой сети, предназначенной для передачи по волоконно-оптическим линиям высокоточной информации о времени и частоте. В качестве основных узлов пилотного участка рассматривались аппаратные комплексы ФГУП «ВНИИФТРИ», НИЦ «Курчатовский институт» и ФИАН им. П. Н. Лебедева. Предусматривается передача как частоты высокостабильного лазерного излучения по выделенным оптическим линиям, так и эталонной частоты и шкалы времени UTC(SU), формируемой государственным первичным эталоном. В составе сети предполагается использовать специализированные оптические модемы, усилители и серверы точного времени, а для пакетной передачи шкалы времени — протокол IEEE 1588. Отдельное внимание докладчик уделил экспериментальной оценке характеристик передачи сигналов по волоконно-оптическим линиям и применению PTP. Представленные результаты демонстрируют принципиальную возможность высокоточной передачи частоты и времени, но одновременно подчёркивают зависимость достигаемой точности от характеристик канала и используемого оборудования. В частности, для достижения субнаносекундной точности при использовании технологии White Rabbit, основанной на PTP и SyncE, требуется специализированная аппаратная реализация. Значимость представленного проекта определяется не только задачами метрологии и телекоммуникаций, в презентации также показана потребность в единой частотно-временной основе для квантовых

вычислений, квантовых коммуникаций и синхронизации научных установок.

Одним из центральных выступлений стал доклад М.И. Вексельмана, представителя АО Время-Ч «Современные технические требования к PTP-устройствам. Развитие протокола PTP по стандарту White Rabbit». В первой части доклада были рассмотрены особенности построения систем синхронизации на основе протокола PTP (IEEE 1588), в том числе взаимодействие устройств Grandmaster, Boundary Clock и Slave в пакетной сети. Отдельное внимание было уделено выбору и резервированию источников опорного времени: использованию многосистемных приёмников ГНСС, высокостабильных стандартов частоты, режиму удержания синхронизации при потере спутникового сигнала, а также формированию групповой шкалы времени с помощью многоканальных комбайнеров. Важным аспектом выступления стало обсуждение особенностей алгоритма Best Master Clock Algorithm (BMCA) и возможных уязвимостей при выборе ведущих часов в сети PTP.

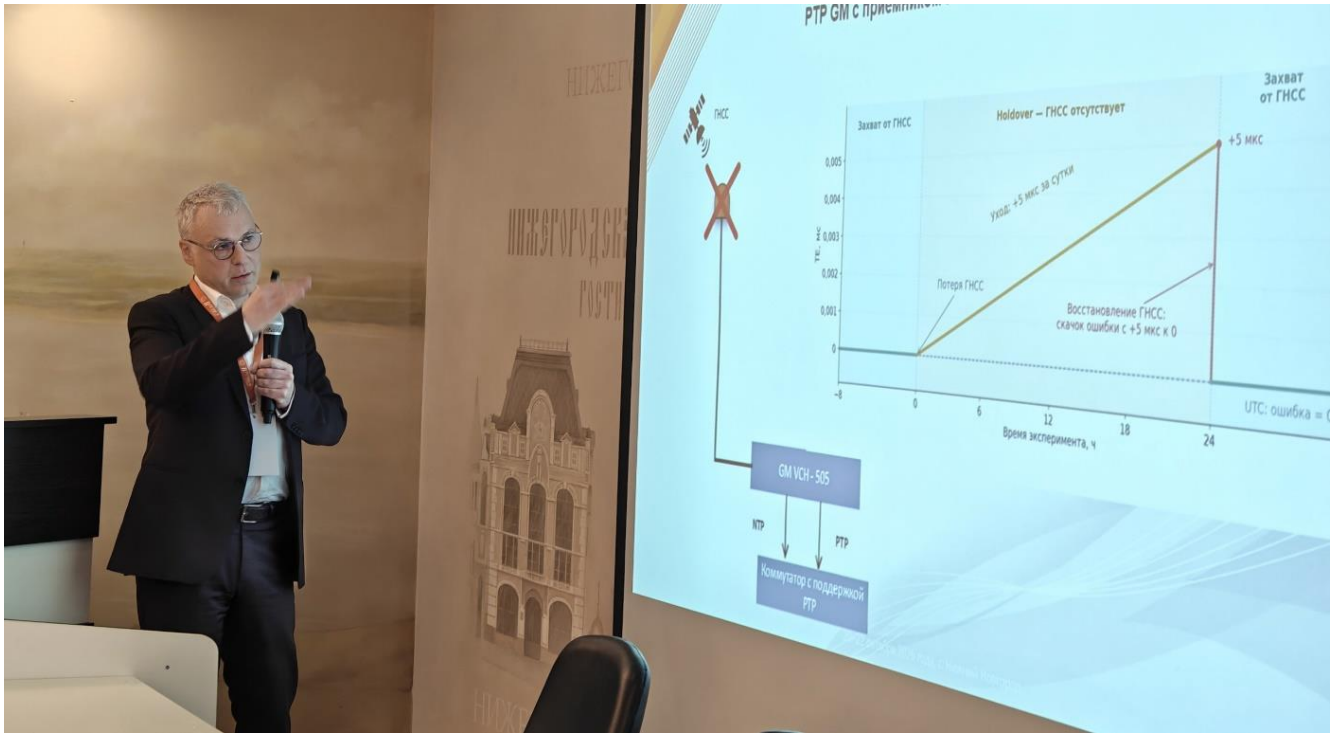

Рис. 3. Доклад Михаила Вексельмана

Вторая часть доклада была посвящена технологии White Rabbit, объединяющей механизмы PTP, синхронного Ethernet (SyncE) и цифрового измерения разности фаз DDMTD. На примере взаимодействия устройств WR Master и WR Slave были последовательно рассмотрены аппаратная калибровка трактов передачи и приёма, компенсация асимметрии задержек в оптическом волокне, восстановление частоты по Ethernet-потоку и высокоточное фазовое выравнивание. Особое значение в этой технологии имеет учёт аппаратных задержек и их изменений при установлении соединения: без соответствующей калибровки точность временных измерений существенно ограничивается. Доклад позволил проследить, каким образом развитие стандартной архитектуры PTP и применение дополнительных механизмов физического уровня расширяют возможности пакетных сетей в задачах высокоточной синхронизации.

Вопросам устойчивости спутниковых источников времени был посвящён доклад Н.Т. Булавского, технического директора АО ВНИИР-Прогресс «Особенности использования антенн „Комета“ для систем временной синхронизации на стационарных объектах». В выступлении рассматривалось влияние помех различного характера на работу глобальных навигационных спутниковых систем и, как следствие, на надёжность получения временной опоры. Были представлены результаты и иллюстративные примеры, показывающие зависимость эффективности антенных подавителей помех от количества воздействующих источников и числа наблюдаемых спутников. Отдельно рассматривались особенности формирования диаграммы направленности цифровой антенной решётки, влияние многолучёвости, а также последствия неоптимального размещения антенных систем на стационарных объектах.

Практическая часть доклада была связана с анализом вариантов размещения антенны «Комета-МН16» и рассмотрением способов повышения помехозащищённости систем временной синхронизации. Среди представленных рекомендаций были выделены применение помехозащищённых цифровых антенных решёток, корректный выбор места их установки, использование пассивной защиты и многосистемных приёмников ГНСС. Также были рассмотрены настройки приёмника, влияющие на обработку сигналов в условиях помех, и возможность использования информации о помеховой обстановке, поступающей от антенной решётки. Тем самым доклад подчеркнул, что надёжность синхронизации от ГНСС определяется не только характеристиками самого приёмника, но и всей антенно-фидерной системой, условиями размещения и алгоритмами обработки навигационных сигналов.

Отдельное выступление было посвящено программным средствам эксплуатации оборудования. В докладе К. А. Кузнецова, представителя АО Время-Ч «Веб-интерфейс синхронизатора сетей связи VCH-505» был представлен встроенный в прибор веб-интерфейс, предназначенный для мониторинга его состояния и управления параметрами. В частности, были продемонстрированы организация доступа к устройству, ролевая модель пользователей и разграничение полномочий операторов, администраторов и специалистов, отвечающих за безопасность. Такой подход позволяет разделить функции наблюдения за состоянием оборудования и изменения его конфигурации, что имеет значение при эксплуатации устройств в сетях с несколькими уровнями ответственности.

Значительная часть выступления была посвящена практическим функциям интерфейса: просмотру текущих измерений, настройке масок контроля, отображению аварий и событий, ведению их истории, а также удалённому обновлению программного обеспечения отдельных модулей VCH-505. Было показано, что веб-интерфейс предоставляет не только средства конфигурирования, но и инструменты оперативного контроля, включая представление измерений в табличной форме и их экспорт для последующего анализа. В докладе также обозначены направления дальнейшего развития программной части, в том числе расширение возможностей взаимодействия с системами мониторинга и управления. Таким образом, внимание было уделено важной для эксплуатации стороне синхронизирующего оборудования — доступности его функций для технического персонала и удобству контроля функционирования.

Доклад Д. С. Кобякова «Телекоммуникационное оборудование УСС VCH-003 и ССС VCH-505 для частотно-временной синхронизации» был посвящён аппаратным решениям АО Время-Ч для построения систем синхронизации в пакетных и традиционных сетях связи. В выступлении были рассмотрены функциональные возможности устройств VCH-003 и VCH-505, варианты их исполнения, состав входных и выходных интерфейсов, поддержка PTPv2, NTP и SyncE. Особое внимание уделялось возможностям оборудования по работе с различными источниками опорных сигналов, включая ГНСС, внешние высокостабильные сигналы 1PPS и 10 МГц. Были представлены варианты применения устройств в режимах Grandmaster, Slave и Boundary Clock, поддерживаемые профили PTP и возможности подключения абонентов пакетной сети.

Важное место в докладе заняли вопросы обеспечения требуемых характеристик синхронизации и сохранения работоспособности при ухудшении условий приёма спутниковых сигналов. В частности, были представлены результаты испытаний PTP Grandmaster с двухчастотным приёмником ГНСС, рассмотрены режим удержания частоты и времени (Holdover), а также алгоритмы компенсации старения внутреннего кварцевого генератора. Отдельно был показан режим граничных часов Boundary Clock, позволяющий принимать временную метку с одного сетевого порта и передавать её далее абонентам через другой порт. Представленные материалы демонстрировали возможности интеграции оборудования VCH-003 и VCH-505 в единую инфраструктуру синхронизации, в которой сочетаются пакетные интерфейсы и традиционные сигналы тактовой сетевой синхронизации.

Выступление А. С. Скрыля «Презентация нового пассивного стандарта частоты VCH-1022. Устройство, характеристики, особенности, графический интерфейс управления» было посвящено разработке малогабаритного прецизионного водородного стандарта частоты, предназначенного для формирования высокостабильных и спектрально чистых сигналов частоты и времени. Были представлены назначение прибора, его основные технические характеристики и сравнение с рядом зарубежных и отечественных аналогов. В частности, рассматривались показатели нестабильности частоты на различных интервалах времени измерения, характеристики фазовых шумов, массогабаритные параметры и особенности конструкции. Согласно материалам доклада, одним из основных направлений разработки стало уменьшение массы и габаритов по сравнению с предшествующим прибором VCH-1008 при сохранении высоких метрологических характеристик.

Значительная часть выступления была посвящена устройству VCH-1022 и инженерным решениям, применённым при его разработке. Были рассмотрены конструкция СВЧ-резонатора и накопительной колбы, системы термостатирования и магнитного экранирования, узел автоматической подстройки

частоты, блоки питания и управления. Отдельно отмечались изменения схемотехники, в частности переход к последовательной шине I²C для обмена данными между функциональными блоками, что позволило сократить количество межблочных соединений и уменьшить влияние цифровых помех. Таким образом, доклад представил не только характеристики нового стандарта частоты, но и инженерные задачи, которые необходимо было решить при создании компактного высокостабильного источника опорного сигнала.

В совокупности представленные выступления охватили различные уровни построения системы синхронизации: от получения первичной временной опоры и её защиты от внешних воздействий до формирования и распределения сигналов частоты и времени в пакетной инфраструктуре, контроля состояния оборудования и обеспечения его устойчивой эксплуатации. Это позволило рассмотреть задачу синхронизации не как отдельную функцию одного устройства или протокола, а как комплексную техническую задачу, требующую согласованной работы источников опорных сигналов, сетевого оборудования, программных средств и систем мониторинга.

III. ОБСУЖДЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И ПЕРСПЕКТИВ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Представление технических разработок АО «Время-Ч» стало основой для обсуждения не только характеристик отдельных приборов, но и более широких вопросов построения и эксплуатации систем частотно-временной синхронизации. Состав участников семинара, объединивший представителей операторов связи, разработчиков оборудования, научных и метрологических организаций, позволил рассмотреть представленные решения с разных профессиональных позиций. Для специалистов, отвечающих за эксплуатацию сетевой инфраструктуры, принципиальное значение имеют не только заявленные метрологические характеристики устройств, но и возможность их интеграции в существующие сети, совместимость с оборудованием других производителей, удобство настройки и мониторинга, а также поведение системы при отказах отдельных источников синхронизации.

В этом отношении показанные разработки затрагивали несколько практически значимых задач. Оборудование VCH-003 и VCH-505 ориентировано на построение узлов частотно-временной синхронизации, в которых сочетаются традиционные сигналы тактовой сетевой синхронизации и современные пакетные протоколы синхронизации шкалы времени PTP и NTP. При этом поддержка SyncE и различных профилей PTP позволяет рассматривать такие устройства как элементы распределённой инфраструктуры синхронизации, а не только как автономные серверы точного времени. Отдельный интерес представляет возможность использования различных типов внутренних опорных генераторов и внешних источников шкалы времени, что позволяет формировать конфигурации с учётом требований конкретного сетевого узла и условий его эксплуатации. Эти особенности соответствуют общей направленности представленных на семинаре решений на интеграцию пакетной и традиционной сетевой синхронизации.

Важным направлением, имеющим значение для дальнейшего развития сетей, стало рассмотрение технологии White Rabbit и её возможностей по обеспечению высокоточной синхронизации в пакетной инфраструктуре. Представленный подход показывает, что развитие PTP не ограничивается совершенствованием программных алгоритмов обмена временными метками: существенный вклад в точность вносят аппаратная обработка сигналов, калибровка трактов и компенсация задержек. Для разработчиков и эксплуатирующих организаций это ставит вопросы о выборе архитектуры синхронизации, требованиях к сетевым интерфейсам и способах контроля фактических характеристик трактов передачи синхросигналов. Обсуждение подобных решений особенно важно на этапе проектирования сетей, в которых точность синхронизации становится одним из требований к качеству предоставляемых услуг.

Отдельное место в общей картине занимают средства мониторинга и управления. Демонстрация интерфейсов управления VCH-003 и VCH-505 позволила рассмотреть вопросы, которые нередко остаются за рамками обсуждения собственно метрологических характеристик: разграничение пользовательских полномочий, контроль аварийных состояний, просмотр измерений, управление конфигурацией и обновление программного обеспечения.

Для крупных распределённых сетей удобство эксплуатации и возможность интеграции оборудования в общую систему управления имеют не меньшее значение, чем точность формирования синхросигнала. В этом смысле программные средства являются необходимой частью комплексного решения, обеспечивающей повседневную работу технического персонала.

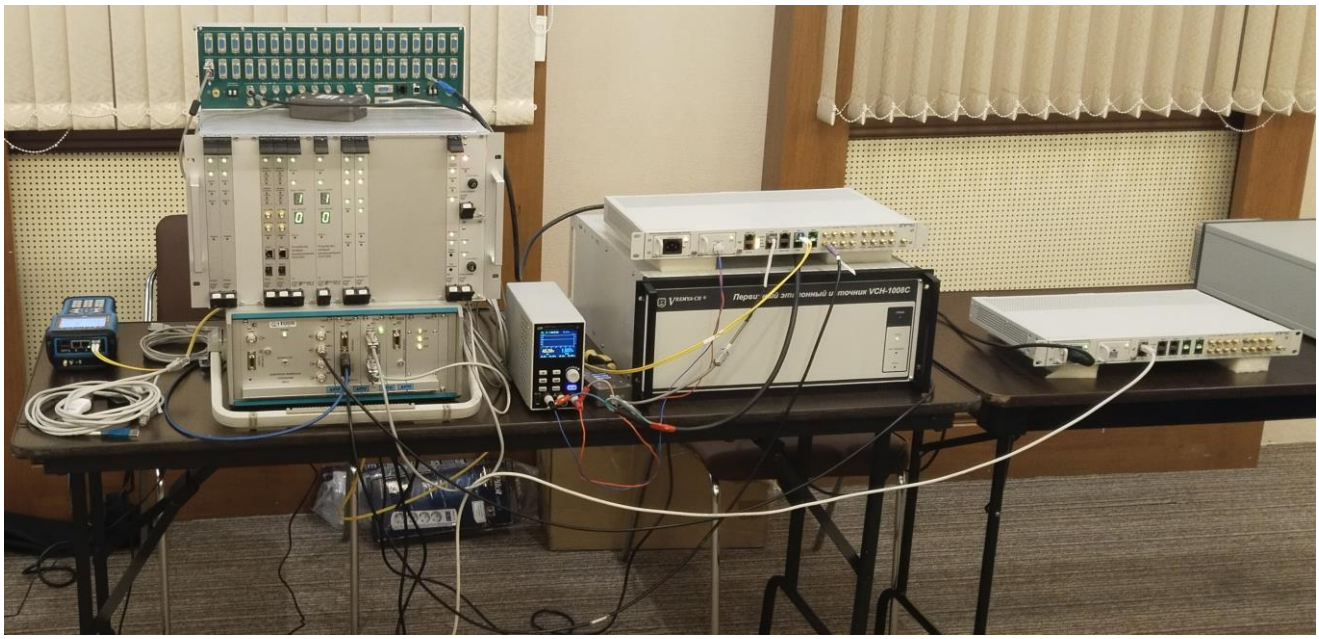

Рис. 4. На оборудовании, представленном АО «Время-Ч» на семинаре, можно было на практике ознакомиться с возможностями аппаратуры

В ходе семинара также была представлена перспектива развития высокостабильной элементной базы на примере водородного стандарта частоты VCH-1022. Рассмотрение его конструкции и метрологических характеристик позволило связать задачи сетевой синхронизации с более фундаментальным направлением деятельности предприятия — созданием прецизионных источников частоты и времени. Наличие собственных разработок в области стандартов частоты, аппаратуры распределения сигналов и телекоммуникационного оборудования формирует технологическую основу для построения комплексных систем синхронизации. Такой профиль деятельности отражён и в номенклатуре продукции АО «Время-Ч», включающей телекоммуникационные устройства, водородные стандарты частоты, компараторы и средства формирования и распределения сигналов.

Существенная ценность семинара заключалась в возможности непосредственного профессионального диалога между разработчиком оборудования и организациями, которые используют подобные решения или отвечают за их внедрение. Для производителя такое взаимодействие позволяет получать обратную связь от специалистов, работающих с реальными сетевыми конфигурациями, учитывать эксплуатационные ограничения и уточнять направления дальнейшего развития продукции. Для операторов и других пользователей участие в обсуждении даёт возможность глубже оценить архитектурные особенности предлагаемых решений, сопоставить их с задачами собственной инфраструктуры и непосредственно задать вопросы разработчикам. Таким образом, семинар стал площадкой двустороннего обмена опытом, в рамках которого практические требования эксплуатирующих организаций дополняли техническую позицию производителя.

IV. Производственная площадка АО «Время-Ч»

Важной частью программы семинара стала экскурсия на производственную площадку АО «Время-Ч», организованная для участников по завершении деловой части мероприятия.



Рис. 5. Экскурсия на производственную площадку АО «Время-Ч»

Для специалистов, занимающихся проектированием, внедрением и эксплуатацией систем синхронизации, такая возможность имела особую практическую ценность. Она позволила познакомиться с предприятием не только как с разработчиком готовых технических решений, но и как с производственной организацией, непосредственно отвечающей за создание специализированной аппаратуры.



Рис. 6. Контроль характеристик узлов квантового генератора в ходе сборки водородного стандарта частоты

В ходе экскурсии участники смогли увидеть организацию производственного процесса, особенности производственного цикла и условия, в которых создаётся оборудование для задач частотно-временной синхронизации.



Рис. 7. Готовые квантовые водородные дискриминаторы продолжают проходить тестирование перед установкой в оборудование

Непосредственное знакомство с производственной площадкой позволило составить более полное представление о работе предприятия и обратить внимание на значение технологической дисциплины и культуры производства при выпуске высокоточной аппаратуры.



Рис. 8. Готовое оборудование непрерывно тестируется до отправки заказчику

Для специалистов эксплуатирующих организаций это особенно важно: понимание того, как организовано изготовление оборудования, дополняет оценку его технических характеристик и возможностей применения в реальных сетях связи.

Таким образом, экскурсия стала содержательным дополнением к докладам и обсуждениям семинара. Она позволила участникам расширить представление о деятельности АО «Время-Ч», увидеть производственную сторону разработки телекоммуникационного оборудования и установить более непосредственный контакт с предприятием-изготовителем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научно-практический семинар АО «Время-Ч» стал площадкой для профессионального обсуждения актуальных задач частотно-временной синхронизации в пакетных сетях передачи данных. Представленные доклады охватили широкий круг вопросов — от формирования и передачи сигналов точного времени до обеспечения устойчивости синхронизации при воздействии помех, применения современных протоколов и разработки высокостабильных стандартов частоты. Такой тематический охват позволил рассмотреть синхронизацию как комплексную инженерную задачу, решение которой требует согласованного развития аппаратных средств, программного обеспечения и сетевой инфраструктуры.

Не менее важной составляющей мероприятия стало прямое общение представителей операторов связи, научных и метрологических организаций, разработчиков и производителей оборудования.

Семинар продемонстрировал востребованность открытого профессионального диалога, в рамках которого технические решения могут рассматриваться с учётом реальных условий эксплуатации, а требования пользователей — становиться ориентиром для дальнейшего совершенствования оборудования. Возможность обсудить представленные разработки непосредственно с их создателями, а также познакомиться с производственной площадкой АО «Время-Ч» придала мероприятию выраженную практическую направленность.

Проведение подобных встреч имеет существенное значение для развития отечественной телекоммуникационной отрасли.

По мере усложнения пакетных сетей и расширения областей применения технологий точного времени возрастают требования к надёжности, точности и управляемости систем синхронизации. Их выполнение предполагает не только совершенствование отдельных технических решений, но и постоянное взаимодействие производителей оборудования с организациями, которые проектируют, внедряют и эксплуатируют сетевую инфраструктуру.

Семинар в Нижнем Новгороде показал, что такой формат взаимодействия способствует обмену практическим опытом, более глубокому пониманию отраслевых задач и формированию предметных ориентиров для дальнейшей работы.

Конструктивная атмосфера мероприятия, содержательные доклады и заинтересованное участие представителей профессионального сообщества позволяют положительно оценить его значение и выразить надежду на продолжение подобных встреч.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Шварц, М. Л. Станционные часы и распределение шкал времени на энергообъектах / М. Л. Шварц, Е. А. Богданов, В. М. Аладин // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. – 2026. – Т. 18, № 3. – С. 54-61. – DOI 10.36724/2409-5419-2026-18-3-54-61.

[2] Лоховин, В. А. Разработка программного обеспечения для имитационного моделирования систем синхронизации шкалы времени / В. А. Лоховин, М. Л. Шварц // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. – 2026. – Т. 17, № 3. – С. 44-50.

[3] Вексельман, М. И. Методы синхронизации шкал времени и частоты с использованием волоконно-оптических линий связи / М. И. Вексельман, М. Л. Шварц // Метрология времени и пространства : Материалы XII Международного симпозиума, Нижний Новгород, 24–26 сентября 2025 года. – Менделеево: Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, 2025. – С. 68-75.

[4] Lokhovin, V. A. Simulation Modeling of Reference Time Scale Transmission Line / V. A. Lokhovin, M. L. Schwartz // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications. – 2025. – Vol. 8, No. 1. – P. 187-192. – DOI 10.1109/SYNCHROINFO65403.2025.11079389.

[5] Vekselman, M. I. Synchronization over Optical Communication Channels Using DWDM and PTP. Architecture and Optical Time Channel (OTC) Implementation / M. I. Vekselman, M. L. Schwartz // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications. – 2025. – Vol. 8, No. 1. – P. 408-412. – DOI 10.1109/SYNCHROINFO65403.2025.11079350.

[6] Bogdanov, E. A. Variants for Constructing Time Scale Synchronization Systems in the Electric Power Engineering / E. A. Bogdanov, V. M. Aladin, M. L. Schwartz // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications. – 2025. – Vol. 8, No. 1. – P. 45-50. – DOI 10.1109/SYNCHROINFO65403.2025.11079321.

[7] Мазуренко, Д. К. Использование алгоритмов предсказания для подстройки частоты в случае прерывистого синхросигнала или перехода в режим удержания / Д. К. Мазуренко, А. С. Фень, М. Л. Шварц // Электросвязь. – 2024. – № 4. – С. 37-40. – DOI 10.34832/ELSV.2024.53.4.013.

[8] Лоховин, В. А. Перспективные направления развития систем связи и синхронизации сложных инфраструктурных объектов / В. А. Лоховин, М. Л. Шварц, А. В. Рыжков // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2024. – Т. 18, № 11. – С. 30-37. – DOI 10.36724/2072-8735-2024-18-11-30-37.

[9] Особенности построения систем единого и точного времени в сетях связи электроэнергетики / М. Л. Шварц, Е. А. Богданов, А. В. Рыжков, В. М. Аладин // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2024. – Т. 18, № 12. – С. 27-33. – DOI 10.36724/2072-8735-2024-18-12-27-33.

[10] Шварц М.Л., Рыжков А.В. Современные тенденции развития систем сетевой синхронизации в сетях электросвязи. От плезиохронных до когерентных сетей // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. Том 4, 2021, С. 27-38

[11] Лоховин В.А., Шварц М.Л., Рыжков А.В. Перспективные направления развития систем связи и синхронизации сложных инфраструктурных объектов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Том 18. №11. С. 30-37. DOI: 10.36724/2072-8735-2024-18-11-30-37

Информация об авторах

Медведев Сергей Юрьевич, канд. физ.-мат. наук, доцент, начальник отделения АО «Время-Ч», г. Нижний Новгород, Россия, e-mail: medvedev@vremya-ch.su

Кутузов Денис Валерьевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Связь» Астраханского государственного технического университета, г. Астрахань, Россия, e-mail: d_kutuzov@mail.ru ORCID: 0000-0001-7963-1259

Осовский Алексей Викторович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Связь» Астраханского государственного технического университета, г. Астрахань, Россия, e-mail: a_osovskiy@mail.ru ORCID: 0000-0002-3174-9765

Вексельман Михаил Ильич, канд. техн. наук, технический эксперт АО «Время-Ч», г. Нижний Новгород, генеральный директор ООО "ВИМ СЕРВИС" г. Москва, Россия, e-mail: miv@vim-srv.ru

A space for professional dialogue: the scientific-practical seminar "Solutions from JSC 'Vremya-Ch' for synchronization tasks in packet-switched networks"

Sergey Medvedev[1], Denis Kutuzov[2], Alexey Osovsky[2], Mikhail Vekselman[1]

[1]Vremya-CH JSC, Nizhny Novgorod, Russia
[2]Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

***Abstract* – This article presents the outcomes of the scientific and practical seminar "Solutions by JSC 'Vremya-Ch' for Synchronization Tasks in Packet-Switched Networks," held from October 20–22, 2026, in Nizhny Novgorod. It examines key development trends in modern frequency and time synchronization systems, driven by the increasingly stringent requirements of telecommunication networks and geographically distributed technical systems regarding the accuracy and stability of time and frequency signal transmission. The technical solutions discussed at the seminar are highlighted, including the use of the PTP (IEEE 1588) protocol, White Rabbit technology, Synchronous Ethernet (SyncE), and specialized equipment for transmitting reference signals over fiber-optic communication lines. Particular attention is given to ensuring the resilience of satellite-based synchronization sources, the development of highly stable frequency standards, and the creation of geographically distributed systems for the delivery of ultra-precise time and frequency. The article summarizes the core topics of professional discussion, reflecting the current needs of telecommunications operators, equipment manufacturers, and metrological organizations. It underscores the importance of such events for exchanging technical expertise, aligning consumer requirements, and defining the future development of domestic frequency and time synchronization tools and systems.**

***Keywords* – frequency and time synchronization, packet-switched communication networks, precise time, PTP protocol, IEEE 1588, White Rabbit, Synchronous Ethernet (SyncE), frequency standards, metrological support, "Vremya-Ch" JSC.**

REFERENCES

[1] Shvarc, M. L. Stancionnye chasy i raspredelenie shkal vremeni na energoob"ektah / M. L. SHvarc, E. A. Bogdanov, V. M. Aladin // Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskih issledovaniyah Zemli. – 2026. – T. 18, № 3. – S. 54-61. – DOI 10.36724/2409-5419-2026-18-3-54-61.

[2] Lohovin, V. A. Razrabotka programmnogo obespecheniya dlya imitacionnogo modelirovaniya sistem sinhronizacii shkaly vremeni / V. A. Lohovin, M. L. SHvarc // Sistemy sinhronizacii, formirovaniya i obrabotki signalov. – 2026. – T. 17, № 3. – S. 44-50.

[3] Veksel'man, M. I. Metody sinhronizacii shkal vremeni i chastoty s ispol'zovaniem volokonno-opticheskih linij svyazi / M. I. Veksel'man, M. L. SHvarc // Metrologiya vremeni i prostranstva : Materialy XII Mezhdunarodnogo simpoziuma, Nizhnij Novgorod, 24–26 sentyabrya 2025 goda. – Mendeleevo: Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut fiziko-tekhnicheskih i radiotekhnicheskih izmerenij, 2025. – S. 68-75.

[4] Lokhovin, V. A. Simulation Modeling of Reference Time Scale Transmission Line / V. A. Lokhovin, M. L. Schwartz // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications. – 2025. – Vol. 8, No. 1. – P. 187-192. – DOI 10.1109/SYNCHROINFO65403.2025.11079389.

[5] Vekselman, M. I. Synchronization over Optical Communication Channels Using DWDM and PTP. Architecture and Optical Time Channel (OTC) Implementation / M. I. Vekselman, M. L. Schwartz // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications. – 2025. – Vol. 8, No. 1. – P. 408-412. – DOI 10.1109/SYNCHROINFO65403.2025.11079350.

[6] Bogdanov, E. A. Variants for Constructing Time Scale Synchronization Systems in the Electric Power Engineering / E. A. Bogdanov, V. M. Aladin, M. L. Schwartz // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications. – 2025. – Vol. 8, No. 1. – P. 45-50. – DOI 10.1109/SYNCHROINFO65403.2025.11079321.

[7] Mazurenko, D. K. Ispol'zovanie algoritmov predskazaniya dlya podstrojki chastoty v sluchae preryvistogo sinhrosignala ili perekhoda v rezhim uderzhaniya / D. K. Mazurenko, A. S. Fen', M. L. SHvarc // Elektrosvyaz'. – 2024. – № 4. – S. 37-40. – DOI 10.34832/ELSV.2024.53.4.013.

[8] Lohovin, V. A. Perspektivnye napravleniya razvitiya sistem svyazi i sinhronizacii slozhnyh infrastrukturnyh ob"ektov / V. A. Lohovin, M. L. SHvarc, A. V. Ryzhkov // T-Comm: Telekommunikacii i transport. – 2024. – T. 18, № 11. – S. 30-37. – DOI 10.36724/2072-8735-2024-18-11-30-37.

[9] Osobennosti postroeniya sistem edinogo i tochnogo vremeni v setyah svyazi elektroenergetiki / M. L. SHvarc, E. A. Bogdanov, A. V. Ryzhkov, V. M. Aladin // T-Comm: Telekommunikacii i transport. – 2024. – T. 18, № 12. – S. 27-33. – DOI 10.36724/2072-8735-2024-18-12-27-33.

[10] SHvarc M.L., Ryzhkov A.V. Sovremennye tendencii razvitiya sistem setevoj sinhronizacii v setyah elektrosvyazi. Ot pleziohronnyh do kogerentnyh setej // Sistemy sinhronizacii, formirovaniya i obrabotki signalov. Tom 4, 2021, S. 27-38

[11] Lohovin V.A., SHvarc M.L., Ryzhkov A.V. Perspektivnye napravleniya razvitiya sistem svyazi i sinhronizacii slozhnyh infrastrukturnyh ob"ektov // T-Comm: Telekommunikacii i transport. 2024. Tom 18. №11. S. 30-37. DOI: 10.36724/2072-8735-2024-18-11-30-37

Information about the author

Sergey Medvedev, Ph.D, Associate Professor, Head of Division, Vremya-CH JSC, Nizhny Novgorod, Russia, e-mail: medvedev@vremya-ch.com

Denis Kutuzov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Communications, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia, e-mail: d_kutuzov@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7963-1259

Alexey Osovsky, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Communications, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia, e-mail: a_osovskiy@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3174-9765

Mikhail Vekselman, Ph.D, technical expert, Vremya-CH JSC, Nizhny Novgorod, Russia, General Director of LLC "VIM SERVICE", Moscow, Russia,
e-mail: miv@vim-srv.ru