

## **Выбор способа синхронизации в имитационной модели адаптивных алгоритмов определения местоположения и управления**

**Богданов А.С.\*, Шевцов В.А.\*\***

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия*

*\*e-mail: [a.bogdanov@kaf408.ru](mailto:a.bogdanov@kaf408.ru)*

*\*\*e-mail: [vs@mai.ru](mailto:vs@mai.ru)*

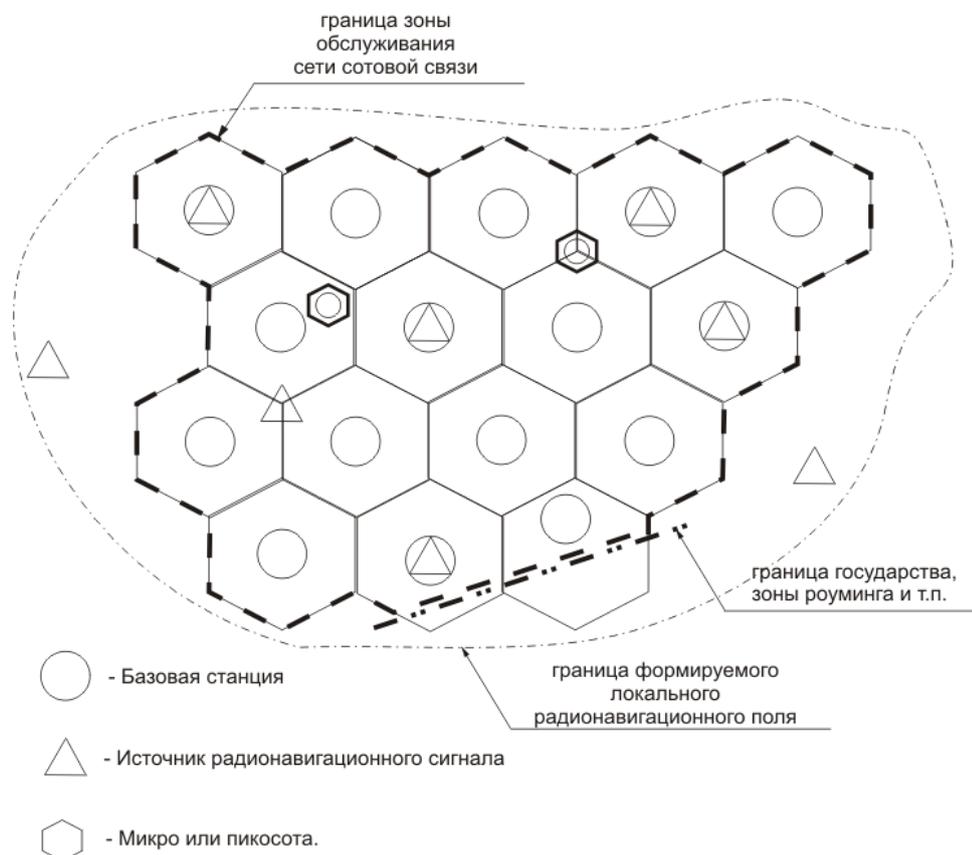
### **Аннотация**

В статье дается краткое описание адаптивных алгоритмов определения местоположения и управления, предназначенных для обеспечения работоспособности перспективных сетей подвижной радиосвязи, где функция определение местоположения и управления перенесена с сети подвижной радиосвязи на подвижную станцию абонента. Приводится способ формирования локального радионавигационного поля в зоне обслуживания сети подвижной радиосвязи. Рассматриваются основные принципы синхронизации систем подвижной радиосвязи, приводятся сравнительные характеристики протоколов синхронизации RFC, осуществляется выбор способа синхронизации для имитационной модели адаптивных алгоритмов определения местоположения и управления в перспективных сетях подвижной радиосвязи.

Ключевые слова: радиосвязь, подвижный, местоположение, GSM, UMTS, радионавигация, алгоритм, синхронизация, протокол, модель.

## Введение

Адаптивные алгоритмы определения местоположения и управления предназначены для обеспечения работоспособности перспективных сетей подвижной радиосвязи, где функция определение местоположения [1] и управления перенесена с сети подвижной радиосвязи на подвижную станцию абонента. Для решения задач управления сетью и высокоточного определения местоположения абонентов, в зоне действия сети подвижной радиосвязи формируют локальное радионавигационное поле. Для этого в структуре системы подвижной радиосвязи на территории зоны покрытия сети подвижной радиосвязи устанавливают источники радионавигационных сигналов (ИРС) (рисунок 1).



## Рисунок 1 - принцип формирования локального радионавигационного поля.

Размещение ИРС производится таким образом, чтобы подвижная станция принимала сигналы необходимого, для обеспечения решения поставленной задачи определения местоположения, количества источников радионавигационных сигналов. В случае определения местоположения на плоскости, например, вдоль автомагистралей, в любой точке сети достаточно обеспечить прием трех источников радионавигационных сигналов, для определения местоположения в пространстве, например в условиях города – четырех источников РНС. Увеличение точности определения местоположения достигается за счет увеличения количества используемых ИРС или выбора места их установки. Установка ИРС производится преимущественно на базовых станциях сети сотовой связи, но потенциально ИРС может устанавливаться и автономно, используя различные высотные здания, сооружения и т.п. Автономная установка ИРС может предусматриваться для обеспечения непрерывности ЛРП и обеспечения заявленных точностных характеристик на границах зоны обслуживания сети подвижной радиосвязи или участках сложной географической обстановки (плотная городская застройка, горная местность и т.д.).

К разрабатываемой имитационной модели предназначенной для проведения исследований перспективной системы подвижной радиосвязи использующей адаптивные алгоритмы определения местоположения и управления предъявляются следующие основные требования:

- обеспечение решения задачи определения местоположения в системе подвижной радиосвязи на поверхности земли;
- возможность использования в качестве сетей синхронизации сетей с коммутацией пакетов с произвольным количеством узлов маршрутизации, протяженностью и типом линий связи;
- использование в качестве алгоритмов синхронизации оборудования БС типовых алгоритмов синхронизации.

Таким образом, одними из актуальных вопросов, возникающих при создании имитационной модели перспективной системы подвижной радиосвязи, являются вопросы выбора системы и протокола синхронизации, лежащих в основе обеспечения высокоточного определения местоположения абонентов.

### **Способы синхронизации сетей подвижной связи**

Существуют различные способы осуществления синхронизации внутри сети, основными из которых являются: принудительный и взаимный.

В случае принудительной синхронизации или синхронизации «ведущий - ведомый», в сети размещают высокостабильный ведущий генератор синхросигнала (ВГС), обеспечивающий сигналом синхронизации подключенные к нему по различным линиям связи вторичные (ведомые) генераторы (ВГ) непосредственно или через промежуточные генераторы (рисунок 2).

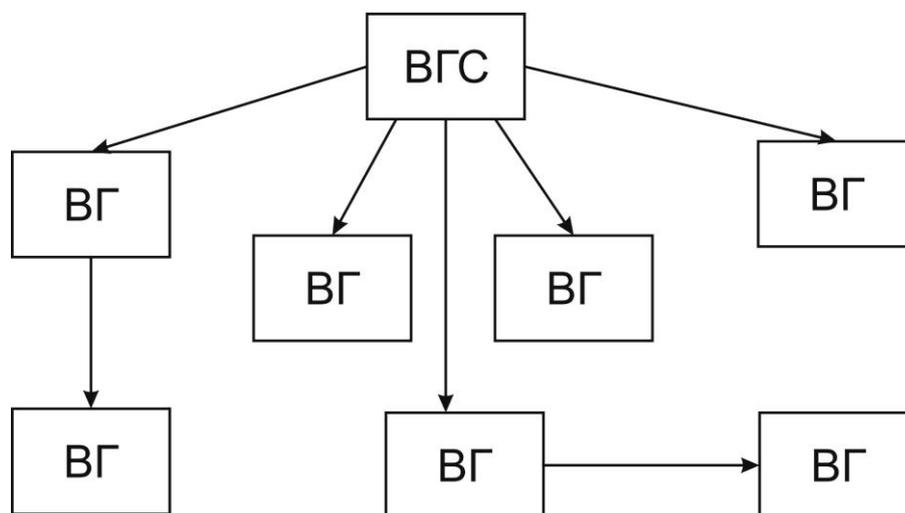


Рисунок 2 - Схема сети с принудительной синхронизацией

Взаимной синхронизацией называется способ, при котором все задающие генераторы (ЗГ) синхросигнала управляя друг другом, обеспечивают взаимную синхронизацию (рисунок 3).

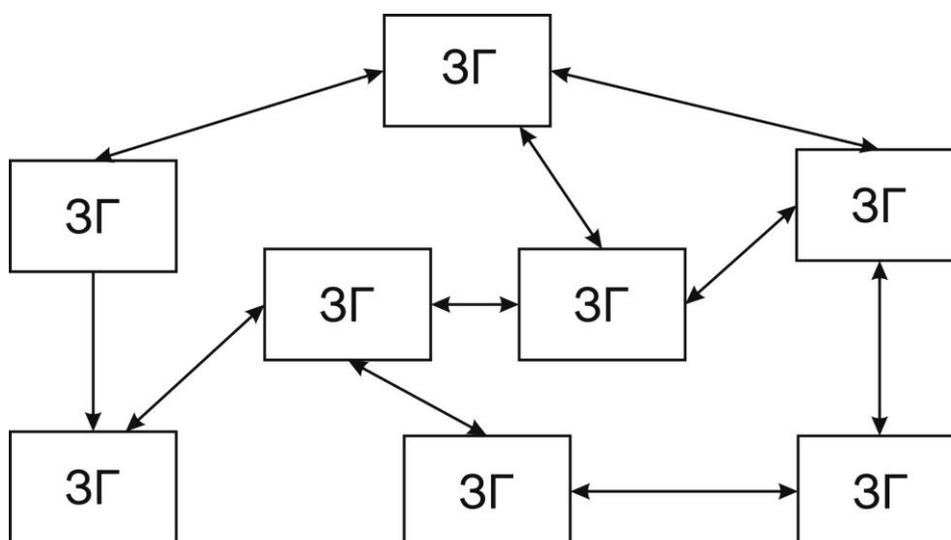


Рисунок 3 - Схема сети с взаимной синхронизацией

Выделяют смешанный способ синхронизации, при котором ВСГ передает сигналы синхронизации ведомым генераторам как при принудительной синхронизации, и в то же время ведущие задающие генераторы обмениваются синхросигналами как при взаимной синхронизации (рисунок 4).

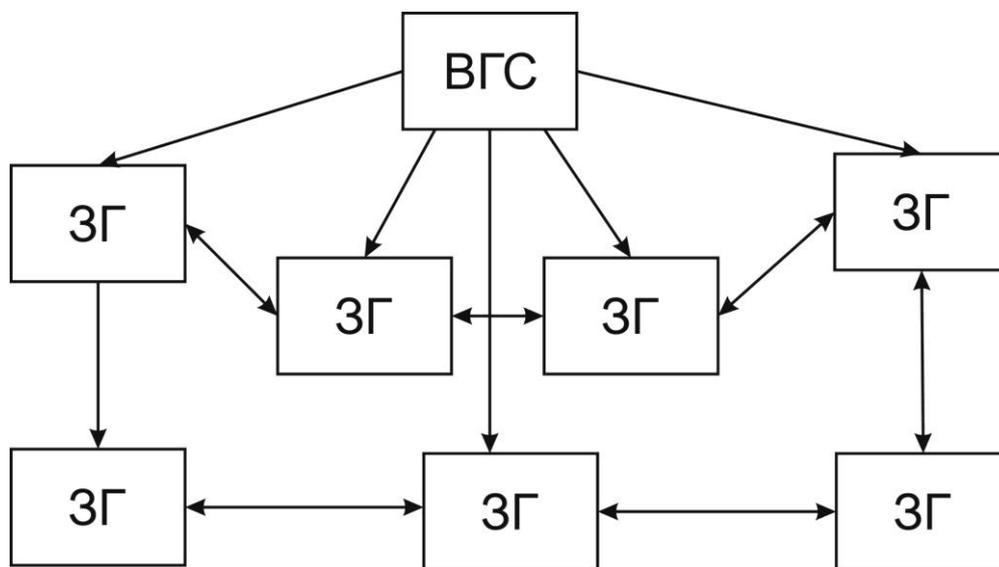


Рисунок 4 - Схема сети со смешанным способом синхронизации

Каждая из рассмотренных систем синхронизации имеет свои преимущества и недостатки. Так система «ведущий-ведомый» требует специальных мер для повышения ее помехозащищенности и живучести; взаимная синхронизация чувствительна ко всем изменениям структуры сети, поэтому применяется в случае стационарных структур, однако допускается сравнительно низкая стабильность частот всех задающих генераторов, так как за счет взаимного уравнивания частот используемых задающих генераторов обеспечивается некоторое повышение стабильности частоты в сети. Характерной особенностью смешанного способа синхронизации является то, что он потенциально не может обеспечить равенство фаз генераторов, а также довольно сложен в реализации.

Очевидно, что при реализации имитационной модели следует отдать предпочтение способу «ведущий-ведомый», так как данный способ построения сети синхронизации обеспечивает высокую стабильность частоты и в настоящее время является наиболее распространенным.

### **Протоколы синхронизации**

Исторически первыми для синхронизации вычислительных сетей использовали протоколы DAYTIME (RFC 867) и TIME (RFC 868). Протокол DAYTIME (RFC 867) применялся для передачи времени в понятном человеку виде, в отличие от TIME (RFC 868) который был ориентирован на ЭВМ. Формат ответа DAYTIME строго не регламентируется и не предназначен для машинной обработки - предполагается лишь, что человеку, прочитавшему полученную строку, станет известно текущее время. Протокол TIME, предназначен для обмена времени между ЭВМ. На подключившийся к TIME-серверу компьютер поступает UDP-пакет, содержащий 32-битное число, соответствующее числу прошедших с 1 января 1900 г. секунд по UTC, т. о. протокол способен функционировать только до 2036 г.

В 1985 г. разработан сетевой протокол синхронизации времени NTP нулевой версии, описание которого приводится в RFC 958. NTP использует для своей работы протокол UDP. Система NTP чрезвычайно устойчива к изменениям латентности среды передачи. Протокол NTP использует алгоритм Марзулло, включая такую особенность, как учёт времени передачи. В четвертой версии достижимая точность 10 мс (1/100 с) при работе через сеть Интернет, и до 0,2 мс (1/5000 с) и лучше

внутри локальных сетей. Время представлено в системе NTP 64-битным числом (8 байт), состоящим из 32-битного счётчика секунд и 32-битного счётчика долей секунды, позволяя передавать время в диапазоне  $2^{32}$  секунд, с теоретической точностью  $2^{-32}$  секунды. Протокол NTP имеет следующие модификации: NTPv1 (1988 г., RFC 1059), NTPv2 (1989 г., RFC1119), NTPv3 (1992 г., RFC1305), NTPv4 (1996 г., RFC2030).

В протоколе RFC1305 [2] используют четыре временные метки: время отправки запроса (по часам абонента); время получения запроса сервером (по часам сервера); время отправки ответа сервером (по часам сервера); время получения ответа (по часам абонента) можно найти время пакета в пути в обоих направлениях и далее произвести коррекцию локальных часов.

В основе рассматриваемого протокола лежат три предположения:

- пакет, содержащий синхронизирующую последовательность, проходит путь от клиента до сервера и обратно за равное время;
- скорость хода часов клиента и сервера равна;
- вычисление нового локального времени производится мгновенно.

Поскольку указанные выше предположения строго не выполняются, получить точное значение времени с помощью одного NTP-запроса невозможно. Поэтому для синхронизации оборудования используется несколько NTP-серверов, накапливая статистику за длительное время и используя современные математические методы

можно определить точность показаний каждого из серверов, скорость хода часов, время обработки пакета и т.п., а следовательно добиться математически доказуемой точности синхронизации.

Существует упрощенная версия рассмотренного выше протокола этого протокола NTP - SNTP (Simple Network Time Protocol), используемого для синхронизации времени оконечным оборудованием, где не требуется высокий уровень синхронизации, либо он принципиально не достижим. В указанном случае оконечное оборудование использует только часть информации UDP-пакета NTP-сервера. SNTP-клиент может работать с любыми версиями NTP-серверов, и кроме них - с особыми SNTP-серверами, которые в откликах заполняют только необходимые данные UDP-пакета. По существу протокол SNTP образует не сеть синхронизирующих серверов, а пары "клиент-сервер", а любой NTP-сервер является одновременно SNTP-сервером, при этом клиент, который не передаёт полученное время дальше, может работать как NTP- или SNTP-клиент, в зависимости от условий.

### **Синхронизация в современных сетях подвижной радиосвязи**

В настоящее время в сетях подвижной связи происходит переход от технологий коммутации каналов к технологиям коммутации пакетов, что объясняется меньшей стоимостью, более высокой эффективностью использования пропускной способности линий связи, простотой развертывания и обслуживания. В сетях городского (локального) масштаба наибольшее распространение получает

технология IP. В базовой сети подвижной связи GSM/UMTS, LTE и сетях абонентского радиодоступа для соединения подсистемы базовых станций с подсистемой коммутации все более широко начинает применяться технология коммутации пакетов, которая в силу статистических свойств распространения пакетов данных по асинхронным каналам передачи разрушает изначально синхронизированный поток данных между БС, следовательно передача синхронизирующих сообщений выделяется в отдельную задачу. Применение синхронизации ГЛОНАСС/GPS не всегда возможно, в частности, пикосоты развертываются в зонах со слабой энергетикой сигнала - условиях плотной застройки, внутри помещений, в подземных сооружениях, где прием спутниковых сигналов затруднен или принципиально невозможен. Кроме того появляется зависимость оператора сети от оператора системы спутниковой навигации. Очевидно, что одним из возможных вариантов решения этой задачи является обеспечение синхронизации по сетям IP.

Требования к стабильности синхросигнала варьируются в зависимости от конкретного назначения сети передачи данных. Так, в операторских сетях по предоставлению услуг телефонии и доступа в Интернет требования к синхронизации являются достаточно мягкими – 50 ppm, а в сотовых сетях для бесшовного перехода мобильных абонентов от одной базовой станции к другой необходима стабильность 50 ppb. Базовая технология IP (без применения специализированных протоколов) в силу особенностей архитектуры не может использоваться как источник внешней синхронизации вследствие низкой точности. Широко используется традиционный протокол NTP (Network Time Protocol) для

обеспечения синхронизации по сетям IP. Однако протокол NTP не обеспечивает точности синхронизации, требуемой оборудованием WiMax (требуемая точность тактовой частоты  $8 \cdot 10^{-6}$ ) и UMTS (требуемая точность тактовой частоты  $5 \cdot 10^{-8}$ ), в первую очередь вследствие того, что является протоколом прикладного уровня. Наиболее перспективным представляется применение для этих целей протокола PTP (Precision Time Protocol), специфицированного стандартом IEEE 1588[3]. Протокол позволяет выполнять точную синхронизацию часов в измерительных и управляющих системах, реализованных с использованием сетевых технологий, в т. ч. и системах в которых обмен данными происходит через локальную сеть.

Схема сети, поддерживающей синхронизацию по протоколу PTP, приведена на рисунке 5.

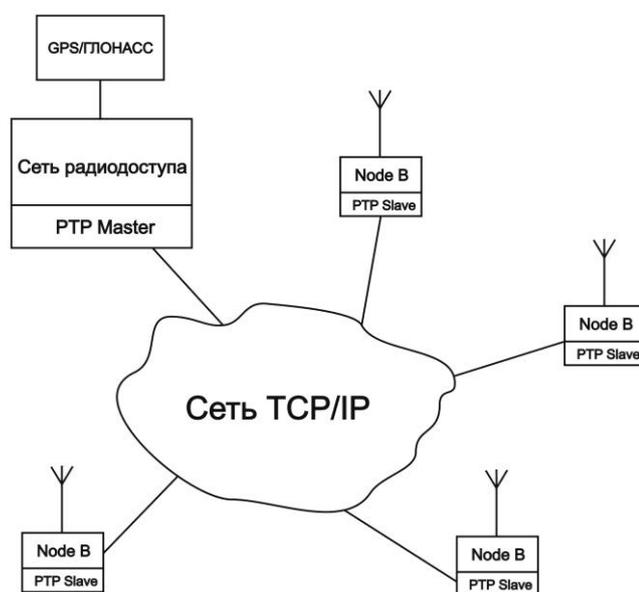


Рисунок 5 - Схема сети, поддерживающей синхронизацию по протоколу PTP

Стандарт IEEE 1588 позволяет осуществлять высокоточную синхронизацию в IP сетях.

Используя данный стандарт, возможно синхронизировать локальные временные шкалы в различном оконечном оборудовании с точностью менее 1 мкс, используя при этом ту же сеть, по которой передаются данные.

Протокол РТР потенциально способен предоставить большую точность синхронизации при его использовании в системах связи. Точность передачи сигналов синхронизации определяется асимметрией задержки прохождения сигналов в прямом и обратном канале передачи. Величина асимметрии в большинстве используемых каналах передачи синхронизирующего сообщения является постоянной величиной и может быть скомпенсирована. Достижимая точность передачи сигналов времени определяется точностью компенсации асимметрии:

$$X = \pm t_k \quad (1)$$

где:

$X$  – величина расхождения на выходах ведущих и ведомых часов, измеренная, например, с помощью возимых квантовых часов, с;

$t_k$  – погрешность коррекции асимметрии в аппаратуре (половина шага коррекции шкалы времени), с.

Компенсация асимметрии производится один раз при вводе канала передачи в эксплуатацию на ведомой аппаратуре.

В общем виде точность синхронизации времени на выходах ведомой аппаратуры определяется из точности компенсации асимметрии и числа транзитных станций (маршрутизаторов, коммутаторов и т. п.), расположенных в цепи передачи (N):

$$P = X \pm t_k \pm N \cdot p_{tr} \quad (2)$$

где:  $N \cdot p_{tr}$  – погрешность, вносимая транзитными станциями.

### **Сравнительные характеристики систем синхронизации**

Проанализируем характеристики систем синхронизации [4], использующих протокол РТР, в сравнении с системами с синхронизацией по шине РХІ (физическая линия синхронизации) и протоколу NTP. В отличие от систем с физической линией синхронизации, где точность событий определяется точностью синхросигнала, в протоколе РТР определяющим фактором является дрожание фазы, связанное со случайным изменением межпакетных интервалов. Большинство реализаций протокола РТР обеспечивает точность менее 1 мкс.

Важной величиной, отличающей разные способы синхронизации является время ожидания синхронизирующего события - время между отправкой события ведущим устройством и получением его ведомым. Поскольку протоколы РТР и NTP для передачи синхронизирующих сообщений используют пакеты данных, ожидание события определяется временем ожидания пакета плюс время передачи и обработки заголовка пакета и, как правило, составляет несколько миллисекунд. В отличие от

них системы с физической линией синхронизации ожидают синхронизирующего события в течение нескольких наносекунд. Системы синхронизации с единой шиной синхронизации, такие как PХI, идеально подходят для высокоточного и скоростного восстановления синхронизации и могут быть использованы на расстояниях до сотен метров с помощью дополнительного оборудования. Стандартная синхронизация по IP сетям с помощью NTP предоставляет миллисекундную синхронизацию, подходящую для низкоскоростных приложений, не очень критичных к качеству синхронизации. Таким образом протокол РТР представляет собой хорошую альтернативу для синхронизации распределенных систем с субмикросекундной точностью.

Точность синхронизации протокола РТР зависит от способа реализации и приведена в таблице 1.

Таблица 1. Точность синхронизации реализаций протокола РТР

Способ реализации	программный	программно-аппаратный	аппаратный
Точность синхронизации, с	$100 \cdot 10^{-6}$	$20 \cdot 10^{-9}$	$10 \cdot 10^{-9}$

По сравнению с используемыми в настоящее время средствами синхронизации, синхронизации с использованием протокола РТР обладает рядом преимуществ:

- не требуется доступ оборудования к стыку синхронизации PRC;
- для синхронизации сети необходим высокостабильный опорный генератор только в ведущем устройстве;

- использование асинхронных каналов, при возможности отдельного определения времени задержки, с небольшой пропускной способностью.

Учитывая широкое использование в современных сетях подвижной связи в качестве базовых сетей, сетей с коммутацией пакетов, необходимость в высокой точности синхронизации и функционировании алгоритма синхронизации с минимальными вычислительными затратами, целесообразно применение протокола РТР в качестве базового способа синхронизации в имитационной модели адаптивных алгоритмов определения местоположения и управления обеспечивающих функционирование перспективной сети подвижной радиосвязи.

### **Библиографический список**

1. Способ подвижной радиосвязи. Патент РФ №2474052 / Богданов А.С., Шевцов В.А., Громаков Ю.А. Заявка 2010138653/07 от 20.09.2010. Бюл. № 3. от 27.01.2013.
2. IETF RFC1305 Network Time Protocol (Version 3). Specification, Implementation and Analysis. – IETF, March 1992.IEEE Std. 269 с.
3. 1588–2008 IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems. – IEEE, July 2008. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc1305> (Дата обращения 09.11.2015)
4. С.Телегин. Протокол РТР для синхронизации сетей NGN. Вопросы применения.// Первая миля. 2009. №5–6. С. 20-23.