

II. Время-частотные измерения

УДК 531.76

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗМЕРЕНИЮ РАСХОЖДЕНИЯ
ШКАЛ СИСТЕМНОГО ВРЕМЕНИ КОМПЬЮТЕРОВ
ОТНОСИТЕЛЬНО UTC(SU)****С.Н. Каган, В.В. Ключев, С.В. Пестерев***ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл.**skagan@vniiftri.ru,**klyuev@vniiftri.ru,**psv@vniiftri.ru*

Приводятся результаты экспериментальных исследований, которые показали возможность измерения расхождения шкал системного времени компьютеров, синхронизированных от источников точного времени, относительно UTC(SU) различными методами, которые излагаются в статье. Утверждается, что эти методы измерений могут быть использованы при разработке методов испытаний АИИС КУЭ и подобных им систем для утверждения типа СИ в части измерения времени.

Ключевые слова: измерения времени, шкалы, системное время компьютера, синхронизация, сервер, локальная сеть, алгоритм, график, погрешность.

**EXPERIMENTAL STUDY RESULTS ON MEASURING
DIFFERENCES OF COMPUTER SYSTEM TIME
SCALES RELATED TO UTC (SU)****S.N. Kagan, V.V. Klyuev, S.V. Pesterev***FSUE "VNIIFTRI", Mendeleevo, Moscow region**skagan@vniiftri.ru,**klyuev@vniiftri.ru,**psv@vniiftri.ru*

The results of experimental studies are presented, which showed the possibility of measuring the difference of the system time scales of computers synchronized from precise time sources relative to UTC (SU) using various methods that are described in the article. It is argued that these measurement methods can be used in the development of AIMS CEPМ test motors and similar systems for approving the type of SI in terms of time measurement.

Key words: time measurements, scales, computer system time, synchronization, server, local area network, diagram, error.

В соответствии с законодательством РФ [1] для средств измерений, применяемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, предусмотрена обязательная процедура — *утверждение типа СИ*. Если средство измерений является комплексным и предназначено для

нескольких видов измерений, каждое из устройств, используемых для проведения измерений, должно быть аттестовано как средство измерений.

Среди средств измерений, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, есть большое количество автоматизированных информационно-измерительных систем коммерческого учёта электроэнергии (АИИС КУЭ). Каждая из таких систем содержит в своём составе, кроме счётчиков электроэнергии, также и систему обеспечения единого времени (СОЕВ), т.е. должна обеспечивать измерение времени. Все АИИС КУЭ входят в систему оптового рынка электроэнергии. В Приложении 11.1 к «Положению о порядке получения статуса субъекта оптового рынка и ведения реестра субъектов оптового рынка» изложены в том числе требования к характеристикам измерения времени. Система обеспечения единого времени СОЕВ формируется на всех уровнях АИИС КУЭ. СОЕВ выполняет законченную функцию измерений времени, имеет нормированные метрологические характеристики и обеспечивает синхронизацию времени от источника точного времени при проведении измерений количества электроэнергии с точностью не хуже $\pm 5,0$ с.

Структурная схема АИИС КУЭ в части измерения времени представлена на рис. 1.

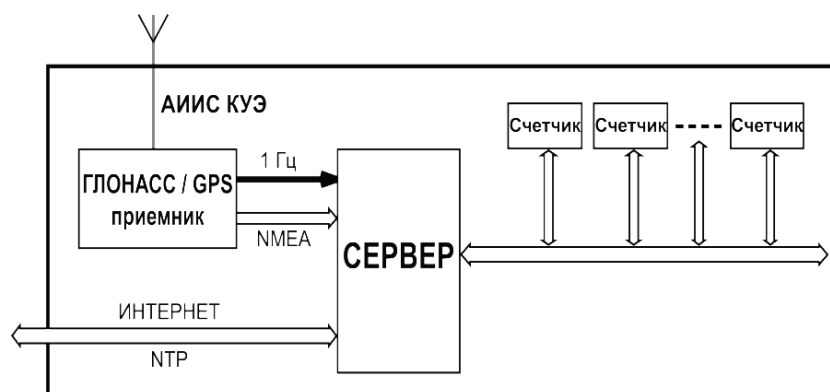


Рис. 1. Структурная схема АИИС КУЭ в части измерения времени

Как видно из рис. 1, основным средством измерения времени в АИИС КУЭ является выполняющий функцию сервера времени компьютер, системное время которого синхронизируется либо от сигналов ГЛОНАСС/GPS, либо через сеть Интернет от NTP-серверов ФГУП «ВНИИФТРИ» и его филиалов в Иркутске, Хабаровске и Новосибирске. При синхронизации от ГЛОНАСС/GPS обычно используется формируемый в приёмнике последовательный 8-битный код NMEA [2], содержащий в том числе информацию о календарной дате и текущем значении времени и поступающий на интерфейс RS232 компьютера, и сигнал 1 Гц, возрастающий фронт которого по своему

временному положению соответствует UTC(SU). При этом по коду NMEA осуществляется грубая синхронизация системного времени компьютера, а сигнал 1 Гц используется для более точной подстройки.

При синхронизации через сеть Интернет от NTP-серверов ФГУП «ВНИИФТРИ» в АИИС КУЭ обычно используется реализуемая службой времени Windows (W32Time) периодическая синхронизация системного времени от одного из NTP-серверов по упрощённому протоколу SNTP, не реализующему основные алгоритмы NTP-протокола [3]. При синхронизации системного времени компьютера только от одного NTP-сервера по SNTP протоколу точность синхронизации определяется, в основном, асимметрией задержки в канале связи между клиентом и сервером в прямом и обратном направлениях. Асимметрия задержки зависит от переключений в каналах связи, их загруженности и непредсказуема на момент проведения измерений. Измерения реальных характеристик расхождения шкалы системного времени относительно UTC(SU) как при синхронизации от ГЛОНАСС/GPS, так и при синхронизации от NTP-серверов при испытаниях с целью утверждения типа СИ не проводятся, и поэтому СОЕВ АИИС КУЭ не имеет нормированных характеристик погрешности синхронизации системного времени компьютеров, входящих в СОЕВ, относительно UTC(SU).

В соответствии с законодательством РФ в состав измерительных систем АИИС КУЭ должны входить либо средства измерений времени утверждённого типа, прошедшие поверку и имеющие нормированные метрологические характеристики погрешности синхронизации по времени, либо устройства синхронизации времени, аттестованные и утверждённые в качестве рабочих эталонов 3–4 разряда по государственной поверочной схеме для средств измерений времени и частоты, имеющие нормированные характеристики погрешности синхронизации.

Исследование возможности измерений расхождения шкал системного времени компьютеров относительно UTC(SU)

Расхождение двух сравниваемых шкал времени легитимным способом обычно осуществляется измерением разности временного положения сигналов 1 Гц, соответствующих этим шкалам, с помощью внесённого в реестр СИ частотомера, работающего в режиме измерения интервалов времени. Таким образом, задача измерений расхождения шкалы системного времени компьютера относительно UTC(SU) сводится к изысканию способов формирования физического сигнала 1 Гц, соответствующего по своему временному положению шкале системного времени.

В результате проведённых исследований были разработаны два способа решения этой задачи.

1. Формирование сигнала 1 Гц, временное положение которого соответствует шкале системного времени компьютера, с помощью разработанного программного обеспечения.
2. Использование выходного сигнала 1 Гц NTP-серверов серии «Метроном» или им подобных, работающих в режиме Stratum 2 и синхронизируемых по NTP-протоколу от системного времени проверяемого компьютера.

Измерение расхождения системного времени компьютера локальной сети относительно UTC(SU) с использованием сигнала 1 Гц, формируемого разработанной программой на разъёме интерфейса RS232

В результате проведённых исследований был определён алгоритм и разработана программа, которая с максимально возможной частотой запрашивает системное время и при смене номера секунды формирует на контакте 6 (*Data Set Ready*) интерфейса RS232 импульсы 1 Гц положительной полярности.

На рис. 2 представлена схема проведения измерений расхождения шкалы системного времени компьютера локальной сети относительно UTC(SU) с использованием разработанной программы.

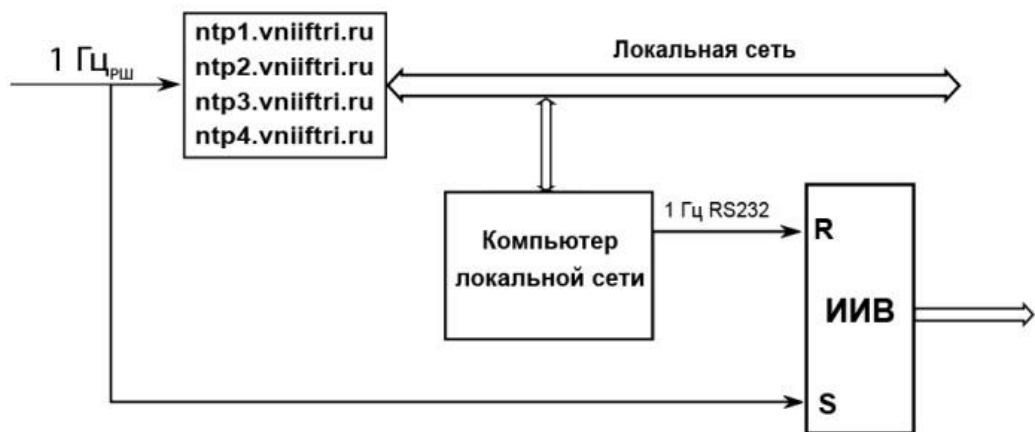


Рис. 2

Компьютер локальной сети работает в операционной системе Windows 7. На компьютере установлена программа-демон ntpd, реализующая алгоритмы NTP-протокола и обеспечивающая синхронизацию системного времени компьютера от группы NTP-серверов ФГУП «ВНИИФТРИ» в локальной сети.

Частотомер Agilent 53230A, работающий в режиме измерения интервалов времени, регистрирует расхождение временного положения сигнала 1 Гц на интерфейсе RS232 компьютера относительно сигнала 1 Гц рабочей шкалы Государственного эталона единиц времени, частоты и национальной

шкалы времени (ГЭВЧ), соответствующего UTC(SU). Результаты ежедневных измерений запоминаются в файле для их дальнейшей обработки.

Результат эксперимента в виде графика ежедневных измерений за интервал времени наблюдения 5,5 часа представлен на рис. 3.

Анализ представленного графика позволяет сделать следующие выводы:

- Системное время компьютера при использовании ntpd синхронизировано с UTC(SU), не имеет хода.
- Расхождение системного времени компьютера относительно UTC(SU) при использовании данного метода измерения лежит в пределах $\sim 0\text{--}1$ мс. Среднее значение расхождения — 0,34 мс, СКО — 0,27 мс.

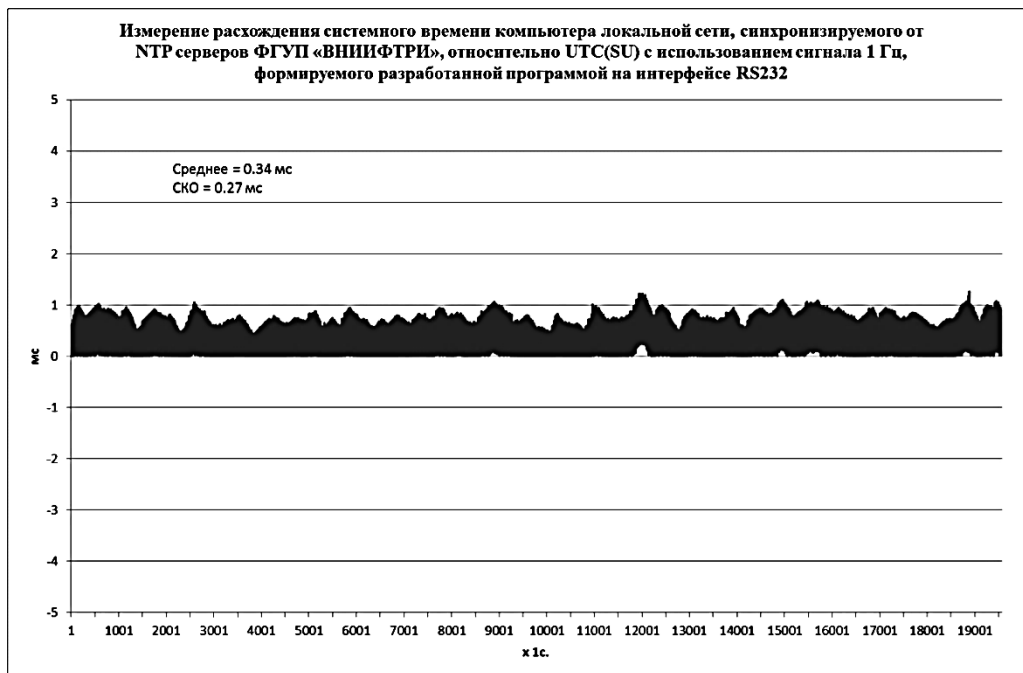


Рис. 3

Для более подробного анализа характера изменения системного времени относительно UTC(SU) на рис. 4 представлен тот же, что и на предыдущем рисунке, график, но за интервал времени наблюдения 15 минут.

Пилообразный характер графика объясняется тем, что системное время в результате работы ntpd не имеет хода относительно UTC(SU), а частота опроса программой значений системного времени определяется смещением частоты кварцевого генератора компьютера относительно номинального значения и работой самой программы. Диапазон изменения измеряемых значений $0\text{--}1$ мс определяется значением периода таймерных прерываний, которое в операционной системе Windows 7 равно 1 мс.

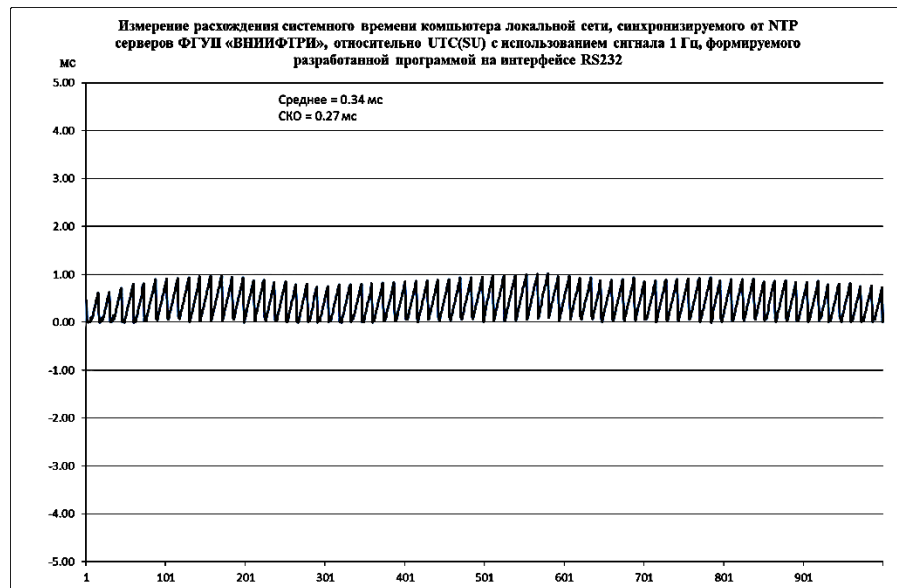


Рис. 4

Для того чтобы показать, чем отличается характер изменения системного времени компьютера при его синхронизации программой-демоном ntpd от периодической синхронизации от одного из NTP-серверов ФГУП «ВНИИФТРИ» по протоколу SNTP службой времени Windows (W32Time), что характерно для АИИС КУЭ, на рис. 6 представлен график измерений системного времени компьютера локальной сети, синхронизируемого раз в два часа от ntp3.vniiftri.ru.

Измерения осуществлялись с использованием программно формируемого сигнала 1 Гц на интерфейсе RS232. Схема проведения измерений представлена на рис. 5.



Рис. 5. Схема проведения измерений



Рис. 6

Как видно из графика, системное время компьютера за два часа между моментами синхронизации, когда компьютер работает в автономном режиме, уходит более чем на 500 мс, что определяется относительной погрешностью частоты кварцевого генератора компьютера порядка $7 \cdot 10^{-5}$.

Использование выходного сигнала 1 Гц NTP-сервера «Метроном 300/MRS», работающего в режиме Stratum 2 и синхронизируемого по NTP-протоколу от системного времени проверяемого компьютера

Вторым способом формирования сигнала 1 Гц, соответствующего по своему временному положению шкале системного времени компьютера, является использование NTP-сервера «Метроном 300/MRS» или ему подобных в режиме Stratum 2.

Упрощённая структурная схема NTP-сервера «Метроном 300/MRS» представлена на рис. 7.

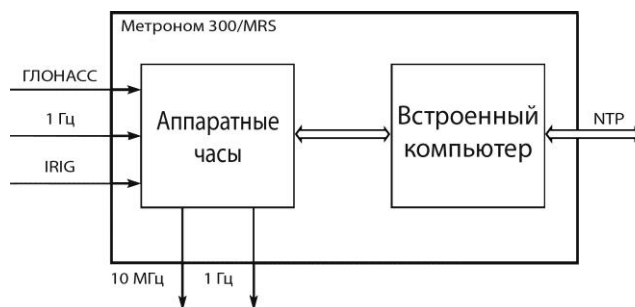


Рис. 7

Основными структурными составляющими NTP-сервера «Метроном 300/MRS» являются аппаратные часы и встроенный компьютер. Аппаратные часы, в свою очередь, содержат приёмник ГЛОНАСС/GPS, кварцевый генератор и, собственно, часы, хранящие информацию о календарной дате и текущих значениях времени.

При работе NTP-сервера в режиме Stratum 1 осуществляется синхронизация аппаратных часов от одного из опорных сигналов. Это могут быть сигналы ГЛОНАСС/GPS или сигналы 1 Гц, IRIG от эталонного источника. При этом временное положение сигнала 1 Гц аппаратных часов соответствует шкале времени опорных сигналов. После завершения процесса синхронизации аппаратных часов от одного из опорных сигналов системное время встроенного компьютера синхронизируется по шкале времени аппаратных часов, и с использованием программы-демона `ntpd` формируются пакеты NTP-протокола на Ethernet-выходах сервера.

При работе NTP-сервера «Метроном 300/MRS» в режиме Stratum 2 источниками синхронизации являются шкалы системного времени удалённых NTP-серверов, доступных в локальной сети или сети Интернет. При работе в режиме Stratum 2 в первую очередь синхронизируется системное время встроенного компьютера, а после завершения процесса синхронизации по системному времени встроенного компьютера синхронизируются аппаратные часы. Таким образом, временное положение сигнала 1 Гц аппаратных часов с определённой погрешностью соответствует шкале системного времени удалённого сервера.

Проведение измерений по калибровке NTP-сервера «Метроном 300/MRS»

Для определения погрешности, вносимой NTP-сервером «Метроном 300/MRS», работающим в режиме Stratum 2, при формировании сигнала 1 Гц, соответствующего шкале системного времени контролируемого компьютера, была осуществлена его калибровка.

Схема проведения калибровки приведена на рис. 8.



Рис. 8

В соответствии со схемой, системное время встроенного в «Метроном 300/MRS» компьютера синхронизировалось по локальной сети от первичного NTP-сервера ФГУП «ВНИИФТРИ» ntp1.vniiftri.ru. По шкале системного времени встроенного компьютера осуществлялась синхронизация аппаратных часов «Метронома 300/MRS». Расхождение временного положения сигнала 1 Гц аппаратных часов относительно 1 Гц рабочей шкалы ГЭВЧ измерялось с помощью частотомера Agilent 53230A, работающего в режиме измерения интервалов времени, и данные измерений запоминались в файле для их дальнейшей обработки.

График результатов измерений за интервал времени наблюдения три недели представлен на рис. 9.

Начальный участок графика соответствует процессу синхронизации NTP-сервера «Метроном 300/MRS» в режиме Stratum 2.

По данным измерений расхождение временного положения, формируемого NTP-сервером «Метроном 300/MRS» в режиме Stratum 2 сигнала 1 Гц относительно сигнала 1 Гц рабочей шкалы ГЭВЧ, соответствующего UTC(SU) составляет: $\Delta T_{\text{ср}} = 17,2$ мкс; СКО = 5,0 мкс.



Рис. 9

Использование NTP-сервера «Метроном 300/MRS» для измерений расхождения шкалы системного времени компьютера локальной сети относительно UTC(SU)

Схема проведения измерений представлена на рис. 10.

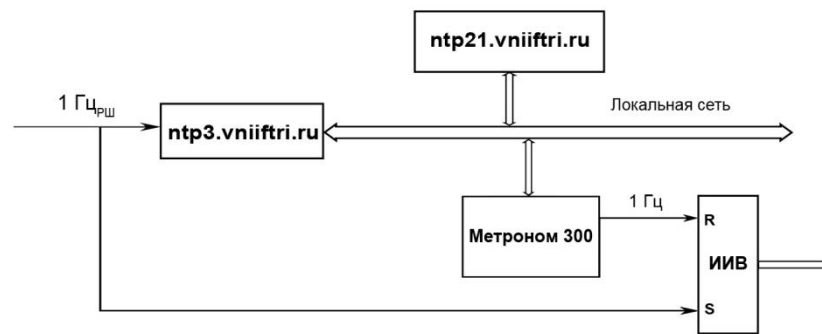


Рис. 10

При проведении данного эксперимента в качестве компьютера локальной сети был выбран вторичный NTP-сервер (сервер уровня Stratum 2) ФГУП «ВНИИФТРИ» `ntp21.vniiftri.ru`, синхронизируемый от первичных NTP-серверов и доступный в локальной сети. Источником синхронизации NTP-сервера «Метроном 300/MRS» являлась шкала системного времени `ntp21.vniiftri.ru`, и, таким образом, он использовался в качестве сервера уровня Stratum 3. Расхождение временного положения сигнала 1 Гц с выхода «Метронома 300/MRS», соответствующего шкале системного времени `ntp21.vniiftri.ru`, относительно сигнала 1 Гц рабочей шкалы ГЭВЧ измерялось с помощью частотомера Agilent 53230A, работающего в режиме измерения интервалов времени. Результаты измерений запоминались в файле для их дальнейшей обработки.

График результатов измерений за интервал времени наблюдения 2,8 суток представлен на рис. 11.



Рис. 11

Результат эксперимента показал возможность дистанционного измерения расхождения шкалы системного времени компьютера локальной сети относительно UTC(SU). По результатам эксперимента среднее значение этого расхождения составляет 92,8 мкс, СКО — 8,9 мкс.

**Использование NTP-сервера «Метроном 300/MRS»
для измерений расхождения шкал системного времени
компьютеров сети Интернет относительно UTC(SU)**

Целью данного эксперимента была оценка возможности измерения расхождения шкалы системного времени удалённого компьютера относительно UTC(SU) при возможности доступа к нему через сеть Интернет.

Схема проведения измерений представлена на рис. 12.

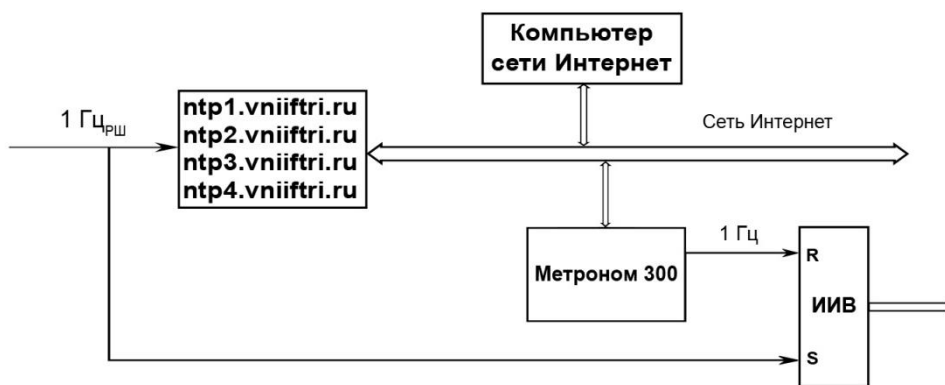


Рис. 12

При проведении данного эксперимента были проведены две серии измерений расхождения шкал системного времени удалённых компьютеров относительно UTC(SU). Первая серия измерений — для компьютера, находящегося недалеко от ФГУП «ВНИИФТРИ» (круговая задержка равна 3 мс); вторая — для компьютера, расположенного во Франкфурте-на-Майне (круговая задержка равна 50 мс). И в первом и во втором случаях системное время компьютеров было синхронизовано от группы NTP-серверов ФГУП «ВНИИФТРИ» с использованием программы-демона ntpd. Источником синхронизации NTP-сервера «Метроном 300/MRS» являлись шкалы системного времени удалённых компьютеров. Расхождение временного положения сигнала 1 Гц с выхода «Метронома 300/MRS», соответствующего шкале системного времени контролируемого компьютера, относительно сигнала 1 Гц рабочей шкалы ГЭВЧ измерялось с помощью частотомера Agilent 53230A, работающего в режиме измерения интервалов времени. Результаты измерений запоминались в файлах для их дальнейшей обработки.

График результатов измерений для компьютера, находящегося в ближней зоне, за интервал времени наблюдения 2,4 суток представлен на рис. 13.

Среднее значение расхождения шкалы системного времени относительно UTC(SU) составило 69,6 мкс, СКО — 96,1 мкс.

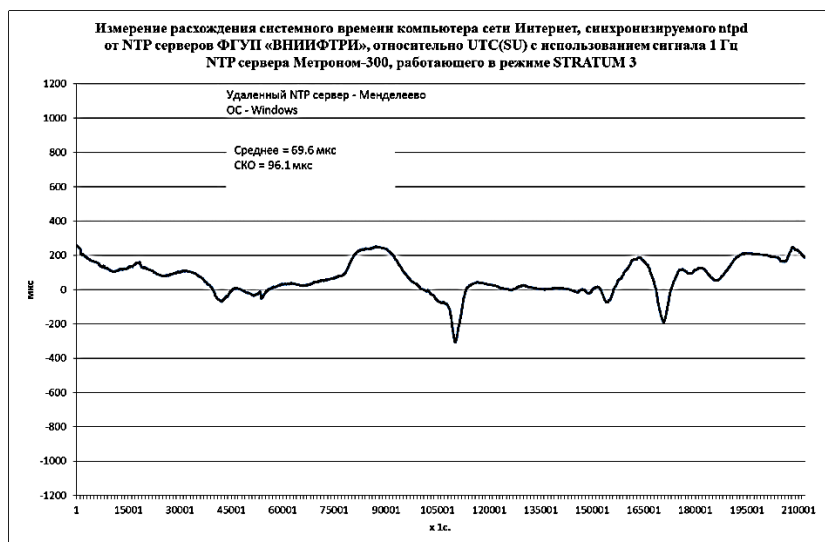


Рис. 13

График результатов измерений для компьютера, находящегося во Франкфурте-на-Майне, за интервал времени наблюдения 1,6 суток представлен на рис. 14.

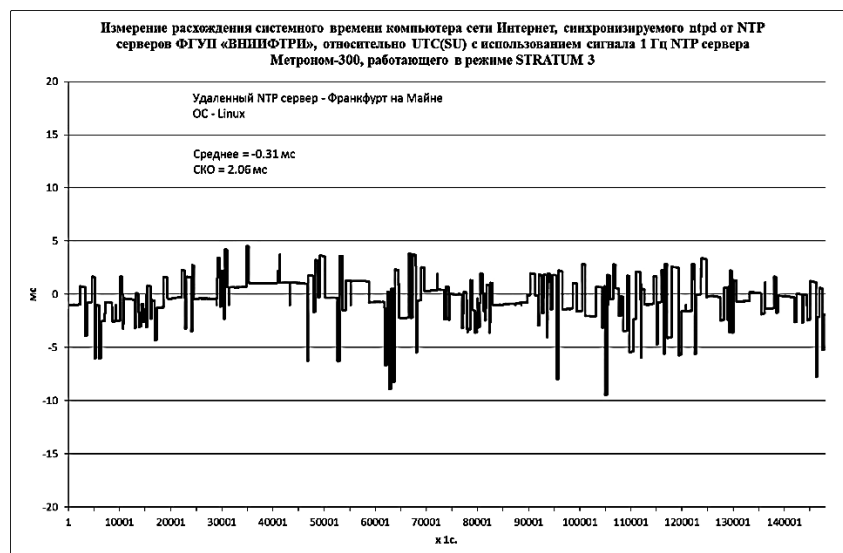


Рис. 14

Среднее значение расхождения шкалы системного времени относительно UTC(SU) составило 0,31 мс, СКО — 2,06 мс.

Результат эксперимента показал возможность дистанционного измерения расхождения шкал системного времени компьютеров сети Интернет относительно UTC(SU) с точностью, удовлетворяющей таких потребителей, как АИИС КУЭ.

Обоснование возможности использования компьютеров, системное время которых синхронизируется от группы NTP-серверов уровня Stratum 1 программой-демоном ntpd, в качестве средства измерения

Для постановки вопроса о возможности аттестации компьютеров, системное время которых синхронизируется от группы NTP-серверов уровня Stratum 1 с использованием программы-демона ntpd, в качестве средства измерения есть две предпосылки:

1. Программа-демон ntpd реализует все возможности и алгоритмы NTP по синхронизации системного времени компьютеров, свободно распространяется в Интернете. Исходный код программы является полностью открытым, доступен для скачивания на сайте ntp.org.
2. Результаты представленных далее экспериментов.

Сравнение результатов измерения расхождения шкалы системного времени контролируемого компьютера локальной сети относительно UTC(SU) средствами NTP-протокола с измерением разности временного положения сигнала 1 Гц рабочей шкалы ГЭВЧ и сигнала 1 Гц с выхода «Метроном 300/MRS», синхронизированного от контролируемого компьютера

Целью эксперимента являлось сравнение результатов измерения расхождения шкалы системного времени компьютера локальной сети, полученных двумя способами: компьютерными измерениями, осуществляемыми программой-демоном ntpd; измерениями разности временного положения сигнала 1 Гц NTP-сервера «Метроном 300/MRS», синхронизируемого от системного времени контролируемого компьютера, относительно сигнала 1 Гц рабочей шкалы ГЭВЧ с использованием измерителя интервалов времени.

Схема проведения измерений представлена на рис. 15.

В качестве контролируемого компьютера был выбран компьютер локальной сети с IP адресом 192.168.10.242. Этот выбор обоснован тем, что этот компьютер включён в список удалённых NTP-серверов, контроль шкал системного времени которых ведётся пунктом мониторинга ФГУП «ВНИИФТРИ» с 2013 года, и данные измерений средствами ntpd доступны за любой период времени.

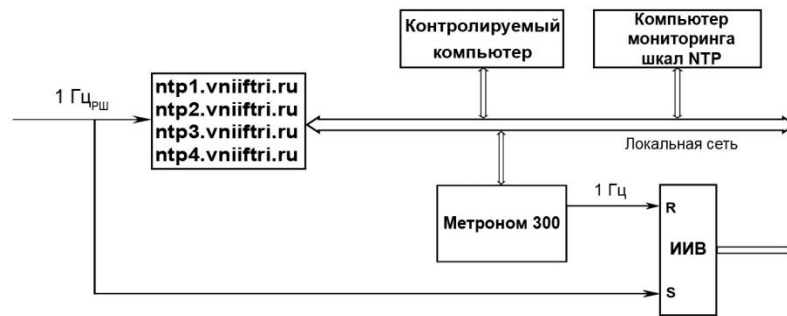


Рис. 15

Принцип определения расхождения шкал системного времени контролируемых NTP-серверов компьютером пункта мониторинга от UTC заключается в следующем:

1. Системное время компьютера пункта мониторинга синхронизируется по локальной сети от NTP-сервера ФГУП «ВНИИФТРИ» ntp1.vniiftri.ru, работающего от сигнала 1 Гц рабочей шкалы ГЭВЧ, соответствующего UTC(SU).
2. Средствами ntpd регистрируются значения расхождения шкал времени контролируемых NTP-серверов относительно шкалы системного времени компьютера пункта мониторинга.

Результаты таких измерений запоминаются одной из утилит ntpd в log-файле. Фрагмент log-файла, содержащий данные измерений расхождения шкалы системного времени компьютера локальной сети 192.168.10.242 относительно шкалы времени ntp1.vniiftri.ru, приведён на рис. 16.

```

17.12.2019 06:00:01
remote      refid      st t when poll reach  delay  offset  jitter
-----
#81.17.128.133 .PPS.      1 u 16 32 377 22.800 -2.902 444.292
-31.202.14.124 .PPS.      1 u 16 32 177 19.882  3.174  1.589
-31.202.14.125 .PPS.      1 u 18 32 377 22.002  4.428  3.398
88.204.171.178 .INIT.     16 u - 256 0  0.000  0.000  0.000
88.204.171.179 .INIT.     16 u - 256 0  0.000  0.000  0.000
88.204.171.180 .INIT.     16 u - 256 0  0.000  0.000  0.000
#212.138.170.134 .PPS.      1 u 17 32 377 150.378 16.934  1.863
*89.109.251.21 .MRS.      1 u 13 32 377  0.235  0.006  0.009
+89.109.251.22 .MRS.      1 u  9 32 377  0.241  0.000  0.013
+89.109.251.23 .MRS.      1 u 21 32 377  0.242  0.003  0.015
-89.109.251.24 .IRIG.     1 u 25 32 377  0.336 -0.038  0.018
-46.254.241.74 .MRS.      1 u 18 32 377 65.631  0.508  3.329
46.254.241.75 .MRS.      1 u 993 32  0 81.501 -8.334  0.000
#212.19.6.218 .PPS.      1 u 20 32 377 104.575  2.360  4.770
#212.19.17.226 .MRS.      1 u  5 32 377 105.648 -1.056  0.450
#80.242.83.227 .PPS.      1 u 30 32 377  77.149  6.386  2.633
-193.219.52.41 .PPS.      1 u 30 32 377  31.817  1.409  2.510
-193.219.52.211 .PPS.      1 u 11 32 377  27.353  1.713  0.128
#194.27.222.5 .PPS.      1 u 12 32 377 101.503 -3.090  1.407
-192.168.10.242 89.109.251.21 2 s 58 64 376  0.214 -0.016  0.016

```

Рис. 16

В числе прочих в файле регистрируются значения измеренных средствами ntpd расхождение offset шкал системного времени удалённых NTP-серве-

ров относительно шкалы ntp1.vniiftri.ru (IP 89.109.251.21) и круговой задержки delay.

Шкала времени NTP-сервера «Метроном 300/MRS», используемого в измерениях, синхронизируется от шкалы системного времени компьютера локальной сети 192.168.10.242. Разность временного положения сигналов 1 Гц «Метроном 300/MRS» и 1 Гц рабочей шкалы ГЭВЧ измерялась с помощью частотомера Agilent 53230A, работающего в режиме измерения интервалов времени. Результаты измерений запоминались в файле для их дальнейшей обработки.

На рис. 17 представлен график результатов измерения расхождения шкалы системного времени компьютера локальной сети 192.168.10.242 относительно UTC(SU), выполненных средствами ntpd и с использованием измерителя интервалов времени, а на рис. 18 — график разности этих результатов.

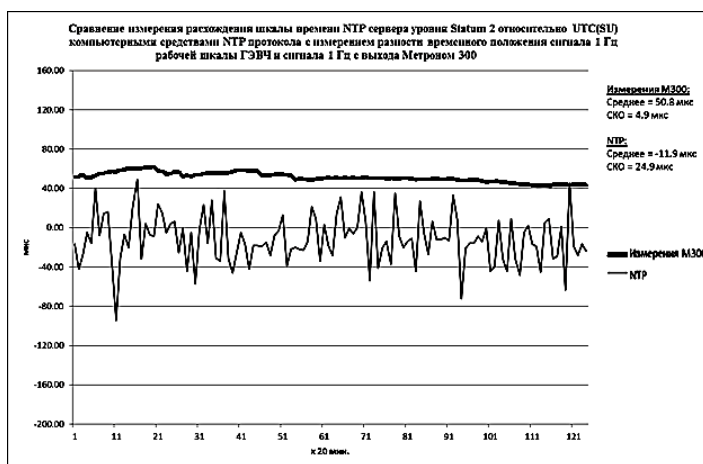


Рис. 17



Рис. 18

Среднее значение разности результатов измерений составило 62,8 мкс, СКО — 24,9 мкс. Если учесть задержку 17,2 мкс выходного сигнала 1 Гц NTP-сервера «Метроном 300/MRS», работающего в режиме Stratum 2 в локальной сети, полученную в результате калибровки, то среднее значение разности результатов измерений составит 45,6 мкс.

Сравнение результатов измерения расхождения шкалы системного времени NTP-сервера «Метроном 300/MRS», синхронизируемой от удалённого NTP-сервера ntp1.niiftri.irkutsk.ru, относительно UTC(SU) средствами NTP-протокола с измерением разности временного положения сигнала 1 Гц с выхода «Метронома 300/MRS» относительно сигнала 1 Гц рабочей шкалы ГЭВЧ

Для обоснования достоверности измерений, осуществляемых под управлением программы-демона ntpd, был проведён ещё один эксперимент. Объектом измерения в этом эксперименте являлось системное время встроенного в NTP-сервер «Метроном 300/MRS» компьютера, синхронизируемое принудительно от NTP-сервера Восточно-Сибирского филиала ФГУП «ВНИИФТРИ».

Для реализации выбранного алгоритма в файл конфигурации ntpd были введены следующие строки:

- /etc/ntp.conf;
- server ntp1.niiftri.irkutsk.ru true;
- server ntp1.vniiftri.ru.

Команда true обеспечивает принудительную синхронизацию «Метронома 300/MRS» от указанного в этой строке сервера, а вторая строка позволяет ntpd определять расхождение шкалы системного времени встроенного в «Метроном 300/MRS» компьютера относительно шкалы ntp1.vniiftri.ru.

Измерения расхождения системной шкалы времени встроенного в «Метроном 300/MRS» компьютера относительно сигнала 1 Гц рабочей шкалы ГЭВЧ, соответствующего UTC(SU), измерялось двумя способами:

1. Компьютерными измерениями, осуществляемыми программой-демоном ntpd.
2. Измерениями разности временного положения сигнала 1 Гц NTP-сервера «Метроном 300/MRS», синхронизируемого от системного времени контролируемого компьютера, относительно сигнала 1 Гц рабочей шкалы ГЭВЧ с использованием измерителя интервалов времени.

Схема проведения измерений приведена на рис. 19. На рис. 20 представлен график результатов измерения расхождения шкалы системного времени встроенного компьютера «Метроном 300/MRS» относительно UTC(SU), выполненных средствами ntpd и с использованием измерителя интервалов времени, а на рис. 21 — график разности этих результатов.

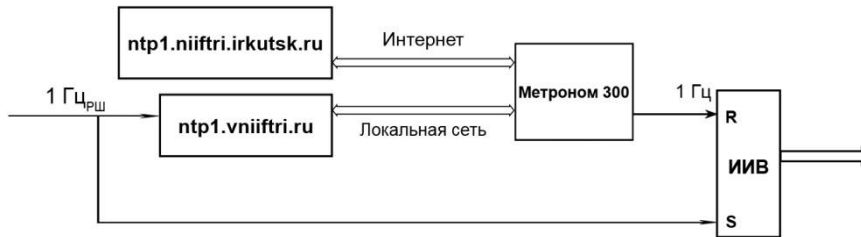


Рис. 19



Рис. 20



Рис. 21

Среднее значение разности результатов измерений составило 46,5 мкс, СКО — 19,4 мкс, что соответствует результатам предыдущего эксперимента.

Кратковременные выбросы на графике рис. 20 связаны с кратковременным увеличением круговой задержки и возникшей из-за этого асимметрией задержки в канале связи в прямом и обратном направлениях.

Выводы

1. Проведённые экспериментальные исследования показали возможность измерения расхождения шкал системного времени компьютеров, синхронизированных от источников точного времени, относительно UTC(SU) различными методами, в том числе удалённо через сеть Интернет.
2. Изложенные в статье методы измерений могут быть использованы при разработке методик испытаний АИИС КУЭ и подобных им систем с целью утверждения типа СИ в части измерения времени.
3. Испытания с целью утверждения типа СИ в части измерения времени для компьютерных систем, источником синхронизации системного времени которых являются NTP-серверы ФГУП «ВНИИФТРИ», возможны только от группы NTP-серверов при использовании программы-демона ntpd. ntpd реализует все алгоритмы NTP-протокола и сглаживает влияние асимметрии в каналах связи.
4. Результаты экспериментальных исследований показали обоснованность возможности аттестации компьютеров, системное время которых синхронизируется от группы NTP-серверов уровня Stratum 1 с использованием программы-демона ntpd, в качестве средства измерения.

Литература

1. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
2. NMEA 0183 Interface Standard, National Marine Electronics Association [Electronic resource]. URL: <https://www.nmea.org/>.
3. Haberman B. Network Time Protocol Version 4: Autokey Specification [Electronic resource] / Ed. D. Mills. Internet Engineering Steering Group (IESG). URL: <http://www.rfc-editor.org/info/rfc5906>.