

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ШКАЛ ВРЕМЕНИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ NTP СЕРВЕРОВ УРОВНЯ Stratum 1

С.Н. Каган, С.В. Пестерев

ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл.
skagan@vniiftri.ru

Рассматриваются вопросы формирования и хранения времени в компьютерах, возможные методы, используемые для его подстройки.

Questions of formation and time storage in computers, possible methods of using for its adjustment are considered.

Ключевые слова: время, компьютерные системы, алгоритмы NTP, смещения и погрешности

Широкое распространение компьютерных систем привело к появлению нового класса потребителей точного времени. В их число входят самые различные технические системы, использующие компьютеры и требующие синхронизации шкал их системного времени с точностью порядка от нескольких миллисекунд до секунды.

Это, прежде всего, системы, использующие электронную регистрацию финансовых операций, требующие обязательную оцифровку времени совершения сделки, системы синхронизации многочисленных локальных компьютерных сетей, регистрации продолжительности телефонных переговоров в обычных и сотовых телефонных системах, регистрации временного трафика в сети Интернет и др.

Для синхронизации шкал системного времени компьютеров можно использовать различные методы и средства, опирающиеся на систему передач эталонных сигналов частоты и времени по различным каналам связи. Но для компьютеров, подключенных к глобальной сети Интернет, наиболее простым и удобным является использование синхронизации по имеющимся в сети эталонным серверам времени – NTP серверам.

На сегодняшний день синхронизация шкал времени в компьютерных сетях происходит с использованием специально разработанных стандартных протоколов. В настоящее время самым популярным протоколом синхронизации шкал времени компьютеров является утвержденный международным документом (Request for Comments RFC-5905, June 2010) протокол NTP (Network Time Protocol) версии v.4, который обеспечивает наибольшую точность и надежность передачи времени.

Передачи точного времени через глобальную сеть Интернет, позволяющие удовлетворить потребности клиентов в синхронизации шкал времени компьютеров и компьютерных сетей, начаты во ФГУП «ВНИИФТРИ» в 2005 г.

В настоящее время эксплуатируются четыре первичных (Stratum 1) и один вторичный (Stratum 2) NTP серверы, расположенные непосредственно во ФГУП «ВНИИФТРИ», и по два первичных NTP сервера в филиалах ФГУП «ВНИИФТРИ» в г. Иркутске и г. Хабаровске. Все NTP серверы внесены в официальный международный список доступных NTP серверов. Информация о них также публикуется в ежегодных отчетах ВРМ.

В качестве NTP серверов используются промышленные NTP серверы фирмы Mainberg M300/MRS и Symmetricom SyncServer S250i, обеспечивающие работу от опорных сигналов 5 МГц и 1 Гц рабочей шкалы Государственного первичного эталона единиц времени, частоты и национальной шкалы времени (ГЭВЧ) во ФГУП «ВНИИФТРИ» и опорных сигналов 5 МГц и 1 Гц рабочих шкал времени вторичных эталонов в филиалах ФГУП «ВНИИФТРИ».

Перечень IP адресов NTP серверов ФГУП «ВНИИФТРИ» приведен в таблице 1.

Таблица 1

IP адрес	Географическое расположение	Доступ
ntp1.vniiftri.ru	п. Менделеево	свободный
ntp2.vniiftri.ru	п. Менделеево	свободный
ntp3.vniiftri.ru	п. Менделеево	свободный
ntp4.vniiftri.ru	п. Менделеево	свободный
ntp1.niiftri.irkutsk.ru	г. Иркутск	свободный
ntp2.niiftri.irkutsk.ru	г. Иркутск	свободный
vniiftri.khv.ru	г. Хабаровск	свободный
vniiftri2.khv.ru	г. Хабаровск	свободный

Широкое использование NTP серверов ФГУП «ВНИИФТРИ» потребителями демонстрируют графики, представленные на рисунках 1 и 2 и отражающие количество ежесуточных запросов на синхронизацию.

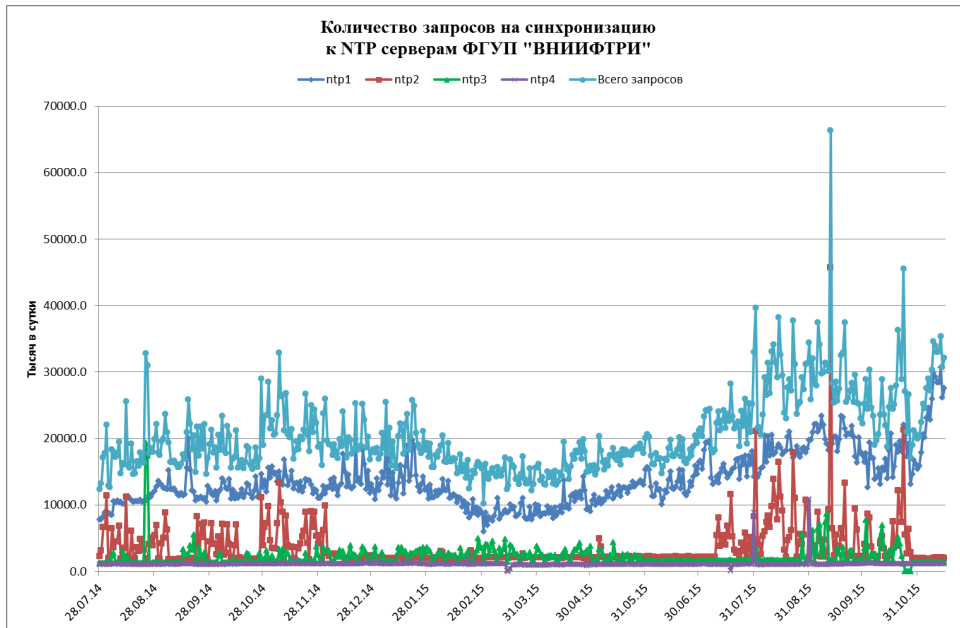


Рис. 1 Количество ежесуточных запросов на синхронизацию к NTP серверам ФГУП «ВНИИФТРИ»



Рис. 2. Динамика роста количества ежесуточных запросов на синхронизацию

NTP протокол предусматривает для целей синхронизации шкал системного шкалы времени компьютера клиента использование группы NTP серверов, из которых он по имеющимся алгоритмам NTP выбирает наилучшие [1].

Смещение шкалы системного времени компьютера клиента относительно шкалы времени принимаемого сервера в произвольный момент времени t может быть представлено формулой 1 [2, 3]:

$$\Delta T(t) = \Delta T(t_0) + dT(\Delta F(t)) + ddT(D(t)) + \Delta T(X(t)) + \Delta T(t_c - UTC), \quad (1)$$

где:

t – текущее значение времени;

t_0 – время последней синхронизации;

$\Delta T(t_0)$ – смещение шкалы времени клиента при последней синхронизации;

$dT(\Delta F(t))$ – смещение шкалы времени, связанное со сдвигом частоты клиента;

$ddT(D(t))$ – смещение шкалы времени, связанное с дрейфом частоты клиента;

$\Delta T(X(t))$ – случайная составляющая процесса;

$\Delta T(t_c - UTC)$ – смещение шкалы времени NTP-сервера относительно опорной шкалы времени.

Принцип определения смещения шкалы времени клиента относительно шкалы времени сервера заключается в следующем.

В момент времени t_1 клиент посылает в адрес NTP сервера запрос на синхронизацию, причем в отправляемом пакете содержится информация о времени отправки запроса в шкале клиента T_1 . NTP сервер получает запрос в момент времени t_2 , определяемый задержкой прохождения запроса в сети τ , и регистрирует его в своей шкале времени T_2 . В момент времени t_3 запрос направляется обратно клиенту с информацией о времени его получения и отправки T_2 и T_3 в шкале NTP сервера. С задержкой τ в момент времени t_4 абонент получает возвращенный запрос и регистрирует момент его прихода в своей шкале времени T_4 . Из содержащейся в полученном пакете информации можно вычислить как величину смещения ΔT шкалы времени клиента относительно шкалы сервера, так и время задержки в сети от клиента до сервера. Основным источником ошибки при этом является предположение, что задержки в прямом и в обратном направлении равны, что часто не соответствует действительности.

$$\Delta T = [(T_2 - T_1) - (T_4 - T_3)]/2 . \quad (2)$$

Так как алгоритм действия NTP протокола подобен процессу частотно-фазовой синхронизации, после завершения этого процесса второй и третьей составляющими формулы 1 можно пренебречь.

Случайная составляющая процесса $\Delta T(X(t))$ является наиболее интересной для исследования. Она в основном определяется асимметрией канала связи, меняющейся во времени.

Смещение шкалы времени NTP-сервера относительно опорной шкалы времени $\Delta T(t_{c-UTC})$ пренебрежительно мало по сравнению с $\Delta T(X(t))$, и его можно не учитывать.

В ноябре 2014 г. – феврале 2015 г. были проведены исследования по определению реального расхождения системных шкал времени компьютеров потребителей относительно UTC(SU) при синхронизации по группе NTP- серверов уровня Stratum 1. При этом в качестве NTP-сервера уровня Stratum 2 использовался промышленный NTP-сервер Symmetricom SyncServer S250i, имеющий физический выход сигнала 1 Гц, соответствующий системной шкале сервера. Измерения велись относительно сигнала 1 Гц рабочей шкалы ГЭВЧ. В список NTP серверов, используемых для синхронизации, были включены NTP-серверы уровня Stratum 1 Иркутска, Хабаровска, Харькова, Литвы и Физико-технического института РТВ в Брауншвейге. Собственные NTP-серверы для объективности исследований в этот список включены не были, как имеющие заведомо наибольший приоритет.

Результаты проведенных измерений представлены на рисунке 3.

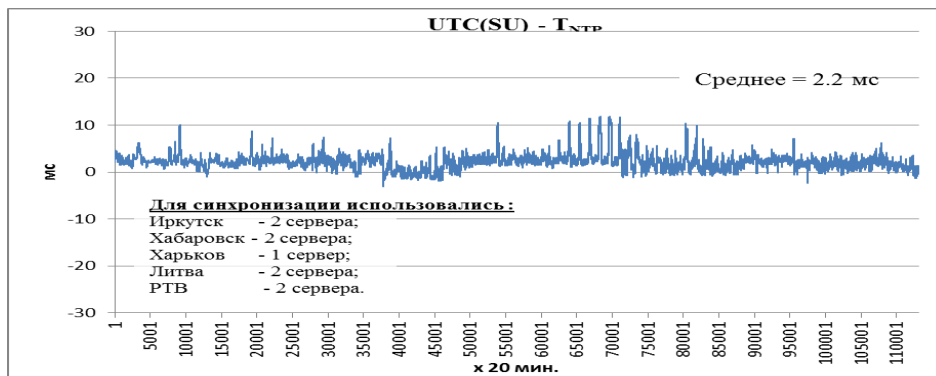


Рис. 3. Данные определения расхождения временного положения шкалы NTP-сервера уровня Stratum 2, синхронизируемого с использованием NTP протокола от группы NTP-серверов уровня Stratum 1, относительно UTC(SU) с 17.11.2014 по 11.02.2015 г.

За время измерений с 17.11.2014 г. по 11.02.2015 г. среднее значение отклонения системной шкалы времени NTP-сервера Stratum 2 относительно UTC(SU) составило 2,2 мс, максимальное значение отклонения не превышало 12 мс.

На рисунке 4 представлена гистограмма статистики выбора основного сервера для синхронизации, подтверждающая, что NTP протокол выбирает для синхронизации предпочтительно наименее удаленные серверы.

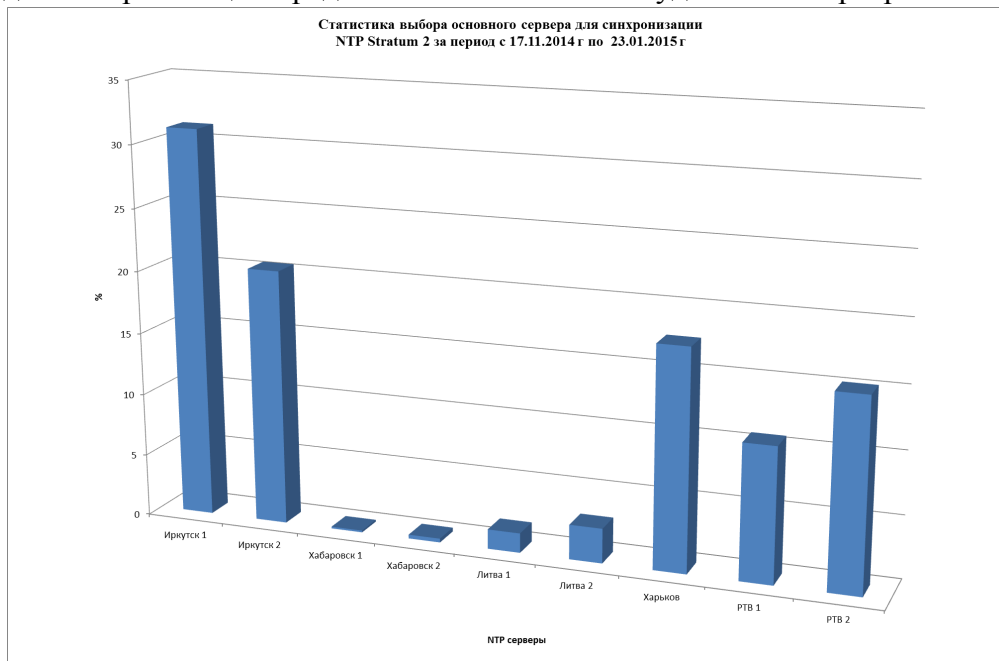


Рис. 4. Статистика выбора основного сервера для синхронизации

С марта 2014 г и по настоящее время осуществляется удаленный мониторинг шкал времени NTP серверов Восточно-Сибирского и Дальневосточного филиалов ФГУП «ВНИИФТРИ». Так как расхождение шкал времени вторичных эталонов относительно шкалы времени ГЭВЧ не превышает ± 30 нс, результаты такого мониторинга позволяют оценить погрешность определения смещения шкалы времени клиента, вносимую именно асимметрией задержки канала связи в прямом и обратном направлениях.

Кроме NTP серверов ГСВЧ, в рамках КООМЕТ осуществляется также удаленный мониторинг шкал времени NTP-серверов ГП «ННЦ "Институт метрологии" (г. Харьков) и Государственного научно-исследовательского института «Центр физических наук и технологий» (г. Вильнюс).

Для синхронизации шкал системного времени компьютера при монито-

ринге NTP-серверов используется программа-демон **ntpd**, реализующая возможности NTP протокола.

Принцип определения расхождения шкал времени, контролируемых NTP-серверов в месте расположения пункта контроля от UTC(SU), заключается в следующем:

1) системное время компьютера пункта мониторинга синхронизируется по локальной сети от собственного NTP-сервера, работающего от сигналов рабочей шкалы ГЭВЧ;

2) средствами **ntpd** регистрируются значения расхождения шкал времени контролируемых NTP-серверов относительно шкалы системного времени компьютера пункта мониторинга;

3) с помощью специального программного обеспечения в реальном масштабе времени рассчитывается неопределенность измеренных расхождений шкал времени.

Схема проведения измерений в пункте мониторинга ФГУП «ВНИИФТРИ» приведена на рисунке 5.

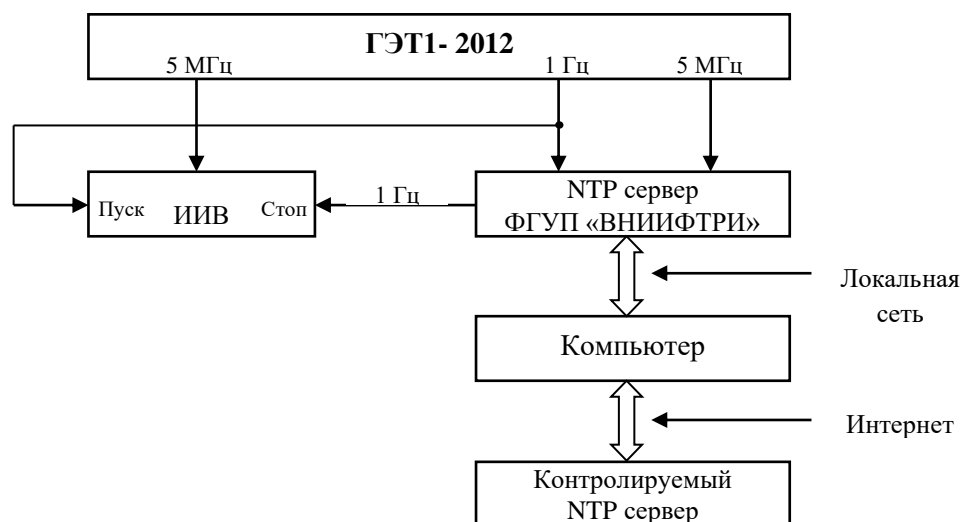


Рис. 5. Схема проведения измерений в пункте мониторинга ФГУП «ВНИИФТРИ»

Для реализации такого алгоритма в файле конфигурации **ntpd** должны быть прописаны все контролируемые NTP серверы, а также NTP-сервер, по которому синхронизируется системное время компьютера пункта мониторинга:

`/etc/ntp.conf`

```

server ntp1.vniiftri.ru prefer
server ntp1.niiftri.irkutsk.ru
server ntp2.niiftri.irkutsk.ru
server vniiftri.khv.ru
server vniiftri2.khv.ru
server ntpd.metrology.kharkov.ua
server laikas.pfi.lt
server laikas2.pfi.lt

```

Команда «prefer» обеспечивает приоритетную синхронизацию от соответствующего сервера при условии его нормальной работы.

Утилита **ntpd**, контролирующая работу **ntpd**-демона, выводит в log-файл информацию следующего вида:

14.12.2015 05:00:01

remote	refid	st	t	when	poll	reach	delay	offset	jitter
*89.109.251.21	.MRS.	1	u	6	32	377	0.280	-0.069	0.010
#46.254.241.74	.PPS.	1	u	20	32	377	71.573	1.667	0.157
#46.254.241.75	.PPS.	1	u	22	32	377	70.265	2.478	3.685
-212.19.6.218	.PPS.	1	u	27	32	377	103.583	-0.193	0.217
-212.19.17.26	.PPS.	1	u	30	32	377	102.984	-0.016	0.216
-81.17.128.133	.PPS.	1	u	2	32	377	17.475	0.988	0.075
-193.219.52.41	.PPS.	1	u	13	32	377	37.319	-0.987	0.026
-193.219.52.211	.PPS.	1	u	19	32	377	33.323	-0.782	0.234

где:

remote – доменное имя или IP-адрес;

refid – источник синхронизации;

st – уровень сервера;

t – глобальная или локальная сеть;

when – время с последнего обращения;

pool – период обращения на синхронизацию;

reach – доступность;

delay – общая задержка;

offset – смещение шкалы клиента относительно шкалы сервера;

jitter – дисперсия результатов измерения.

Результаты изменения общей задержки и смещения шкалы времени при удаленном мониторинге шкал времени NTP серверов по данным пункта мониторинга ФГУП «ВНИИФТРИ» за октябрь 2015 г приведены на рисунках 8 – 11.

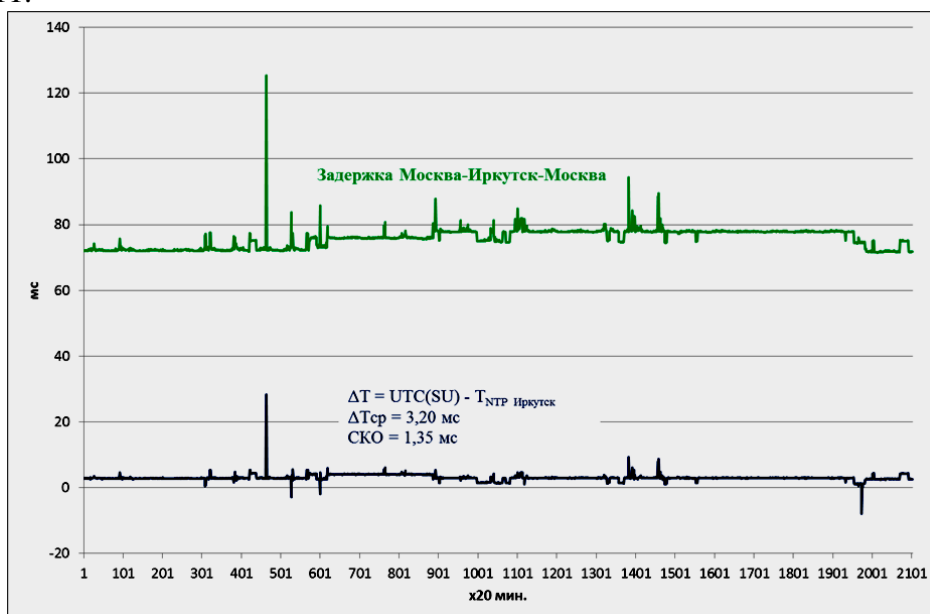


Рис. 8. Изменение общей задержки и смещения шкалы времени NTP-сервера, г. Иркутск по данным мониторинга во ФГУП «ВНИИФТРИ»

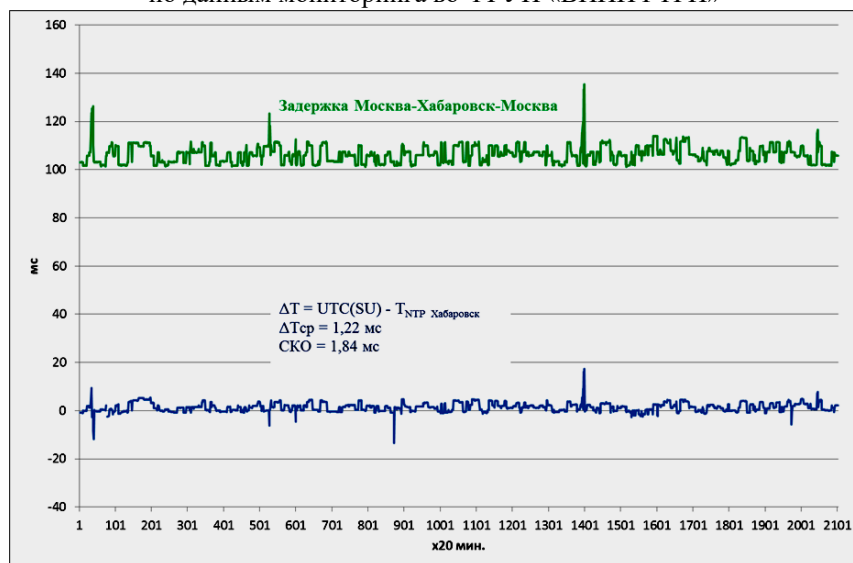


Рис. 9. Изменение общей задержки и смещения шкалы времени NTP-сервера, г. Хабаровск по данным мониторинга во ФГУП «ВНИИФТРИ»

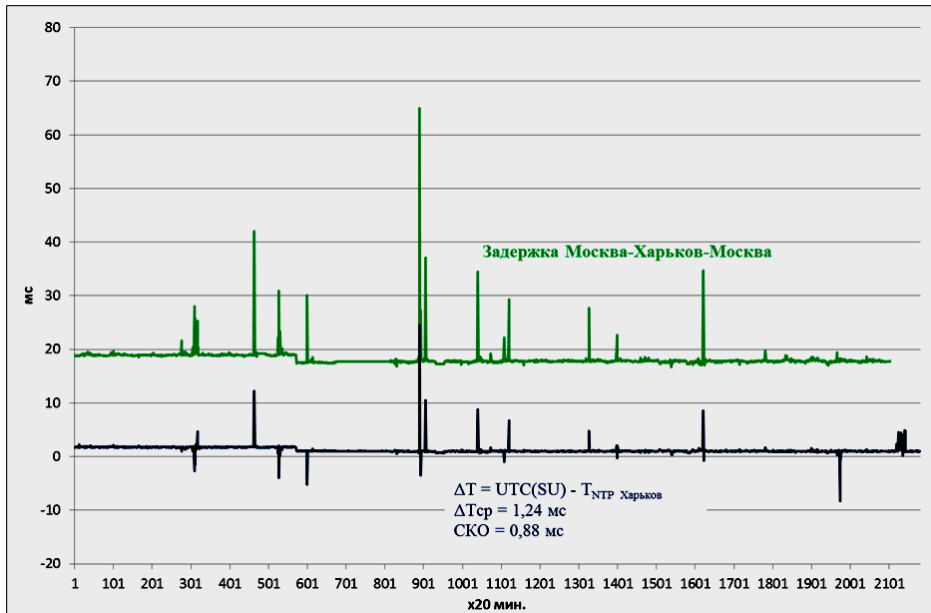


Рис. 10. Изменение общей задержки и смещения шкалы времени NTP-сервера, г. Харьков по данным мониторинга во ФГУП «ВНИИФТРИ»

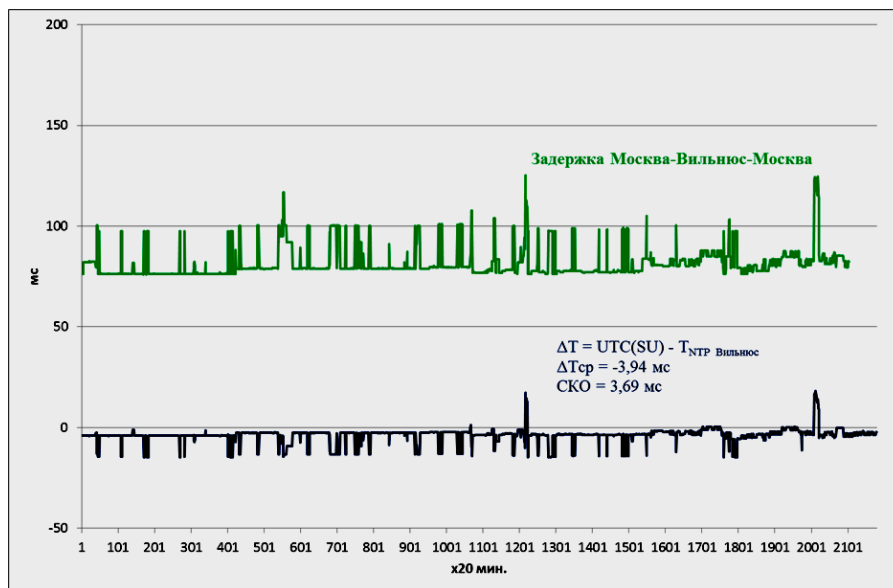


Рис. 11. Изменение общей задержки и смещения шкалы времени NTP-сервера, г. Вильнюс по данным мониторинга во ФГУП «ВНИИФТРИ»

На рисунке 12 приведен график изменения среднемесячных значений смещения шкал времени NTP серверов филиалов ФГУП «ВНИИФТРИ» в г. Иркутск и г. Хабаровск по данным пункта мониторинга ФГУП «ВНИИФТРИ».

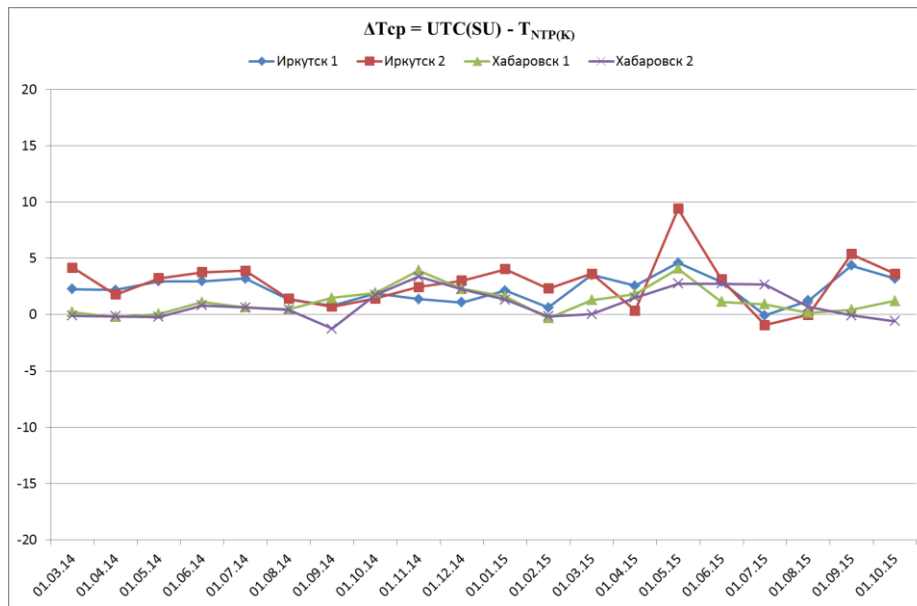


Рис. 12

Из приведенных выше результатов эксперимента можно сделать следующие выводы.

Изменения общей задержки в канале связи между потребителем и удаленным NTP сервером, приводящие к изменению асимметрии задержки в канале связи в прямом и обратном направлениях, вносят погрешность при определении реального смещения шкалы системного времени компьютера потребителя относительно шкалы времени сервера. Величина вносимой погрешности равна примерно половине величины изменения общей задержки.

Среднемесячные значения смещения шкал времени NTP-серверов по данным пункта мониторинга ФГУП «ВНИИФТРИ» за все время наблюдения находились в пределах 0 – 10 мс.

Синхронизация шкалы системного времени компьютера потребителя по единственному NTP-серверу даже уровня Stratum 1 не является надежным способом синхронизации, так как полностью зависит от асимметрии канала связи и доступности данного NTP-сервера.

Для надежной синхронизации шкал системного времени компьютеров

потребителей необходимо полное использование возможностей алгоритмов NTP протокола, который предусматривает обработку данных от группы NTP-серверов (максимум 64), выбирая из них для синхронизации при каждом запросе лучшие. Наилучшим вариантом являются NTP-серверы уровня Stratum 1, синхронизирующие собственные шкалы от национальных шкал времени. Для России – это 8 NTP серверов ФГУП «ВНИИФТРИ» и его филиалов.

За время измерений с 17.11.2014 г. по 11.02.2015 г. среднее значение отклонения системной шкалы времени NTP сервера Stratum 2 относительно UTC(SU) при синхронизации по группе из девяти NTP-серверов уровня Stratum 1 составило 2,2 мс, максимальное значение отклонения не превышало 12 мс.

Литература

1. Mills David L. NTP Clock Discipline Principles, <http://www.eecis.udel.edu/~mills>, 2003.
2. Mills David L. Computer network time synchronization, 2010.
3. Mills D., Delaware U., Martin J., Burbank J., Kasch W. Network Time Protocol Version 4. <https://tools.ietf.org/html/rfc5905>, 2010.