

ОТЧЕТ

О ХОДЕ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ ПО ТЕМАТИКЕ «ВРЕМЯ И ЧАСТОТА» ПРОЕКТА КООМЕТ ЗА 2005 г.

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТ

За истекший период по тематике «Время и частота» проводились работы по 4-м темам:

- 12/RU-a/92 «Определение параметров вращения Земли (ПВЗ) по данным обсерваторий стран КООМЕТ» (постоянная метрологическая работа);
- 15/RU-a/92 «Взаимные сличения национальных шкал времени» (постоянная метрологическая работа);
- 17/RU-a/92 «Проведение исследований цезиевых реперов частоты» (постоянная метрологическая работа);
- 174/RU-99 «Состояние эталонной базы стран-членов КООМЕТ в области времени и частоты».

По всем темам получены содержательные результаты и полезная информация.

Участники работ: ФГУП «ВНИИФТРИ», Россия; ПТБ, Германия; НМЦ, Болгария; СМУ, Словакия; ГУМ, Польша; БелГИМ, Р.Беларусь; ГНПО «Метрология», Украина; НИСМ, Молдавия; РГП «КазИнМетр», Р.Казахстан; ЦНИИМ, Народная Демократическая Республика Корея.

II. РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСЛЕДНЕГО ЗАСЕДАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО КОМИТЕТА КООМЕТ ТК 1.11 «ВРЕМЯ И ЧАСТОТА»

В отчетном году члены технического комитета не сочли целесообразным проведение специального заседания технического комитета КООМЕТ ТК 1.11 «Время и частота».

III. ОБЗОР ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ

ТЕМА 12/RU-a/92

”ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ (ПВЗ) ПО ДАННЫМ ОБСЕРВАТОРИЙ СТРАН-КООМЕТ”

(постоянная метрологическая работа)

Координатор: ФГУП «ВНИИФТРИ», Россия.

Партнеры: ФГУП «ВНИИФТРИ», Россия; ГАО АН Украины.

В 2005 г. продолжались регулярные наблюдения звезд и искусственных спутников Земли в обсерваториях России, Украины, Болгарии, Узбекистана, Польши и Чехии и передача результатов в центр обработки и вычислений ПВЗ - институт метрологии времени и пространства (ИМВП) ВНИИФТРИ. Проводился взаимный обмен результатами наблюдений и вычислений ПВЗ между странами-участницами, а также международными и национальными центрами определений ПВЗ. Регулярно велись вычисления значений координат полюса и длительности суток по результатам GPS наблюдений в пунктах на территории России. Точность определений ПВЗ всеми средствами стран-участниц составила примерно $0.001''$ по координатам полюса и 0.2 мс по всемирному времени, что приближается к точности результатов Международной Службы Вращения Земли.

ТЕМА 15/RU-a/92

“ВЗАИМНЫЕ СЛИЧЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ ШКАЛ ВРЕМЕНИ”

(постоянная метрологическая работа)

Координатор: ФГУП «ВНИИФТРИ», Россия.

Партнеры: БелГИМ, Р.Беларусь; НМЦ, Болгария; РГП «КазИнМетр», Р.Казахстан
ГУМ, Польша; ФГУП «ВНИИФТРИ», Россия; СМУ, Словакия; ГНПО
«Метрология», Украина;

В 2005 году проводились сличения шкалы времени UTC(SU) - Россия со шкалами времени UTC(BY) - Р.Беларусь, UTC(PL) – Польша и UTC(UA) –Украина. Осуществлялся взаимный обмен измерительной информацией.

Для взаимных сличений с национальными шкалами времени в ФГУП «ВНИИФТРИ» использовались следующие приемники: одноканальный одночастотный приемник сигналов GPS TTR-6, многоканальный двухчастотный геодезический приемник сигналов ГЛОНАСС/ GPS JPS LEGACY 2078, одноканальный приемник сигналов ГЛОНАСС А-724-М.

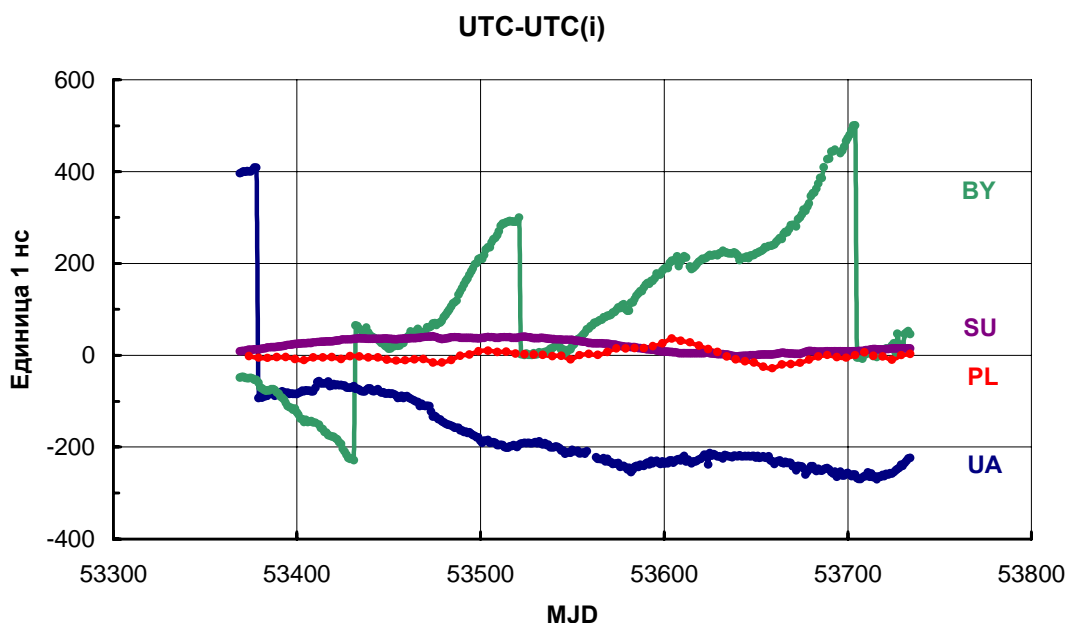
Сличения шкал времени UTC(SU) и UTC(BY) проводились с использованием одновременных приемов сигналов КНС ГЛОНАСС (несколько сеансов в сутки) и с использованием приемов сигналов КНС GPS (среднесуточные данные и в формате CGGTTS.V1). Для сличения по сигналам GPS в БелГИМе использовался приемник VP ONCORE E00YXH. За отчетный период в UTC(BY) были проведены 3 коррекции шкалы времени: 3 марта, MJD=53432, -300 нс; 1 июня MJD=53522, 300 нс и 1 декабря, MJD=53705, 500 нс.

Сличения шкал времени UTC(SU) и UTC(GUM) проводились с использованием приемов сигналов КНС GPS в дифференциальном режиме в соответствии с требованиями [1]. В GUM использовался 8-ми канальный приемник AOS SRC TTS-2.

Сличения шкал времени UTC(SU) и UTC(UA) проводились с использованием сигналов КНС GPS (среднесуточные данные). 9 января, MJD=53379, в UTC(UA) была проведена коррекция шкалы времени на 500 нс.

Информация о шкале времени «КазИнМетра» в 2005 году не поступала.

На приведенном ниже рисунке представлено взаимное положение шкал времени лабораторий участников в 2005 г. относительно шкалы всемирного координированного времени UTC, полученное при сличениях по сигналам GPS.



| | BY | PL | SU | UA |
|---|-------------------------|---------------|-------------------------|--------------------------|
| Расхождение шкал UTC - UTC(i) (нс) на 30.12.2005, MJD = 53734 | 46,2 | 3,4 | 15,2 | -224 |
| Расхождение размеров единиц $\Delta f/f[\text{UTC} - \text{UTC}(i)] \times 10^{+14}$ среднее за год | 1,89¹ | 0,02 | 0,02 | -0,38² |
| Стандартная случайная неопределенность сличений (нс) | ≤10 | <10 | <10 | ≤10 |
| Используемые каналы сличений | ГЛОНАСС, GPS | GPS | ГЛОНАСС, GPS | GPS |

В таблице можно увидеть информацию о размерах единиц времени участниц по отношению к шкале всемирного координированного времени UTC, о проведенных коррекциях и сведения об используемых каналах сличений.

От служб времени и частоты Болгарии и Словакии измерительная информация не поступала.

Представленные выше обобщенные сведения не покрывают весь спектр деятельности партнеров по сличению шкал времени. Так в ГНПО «Метрология», Украина, регулярно проводились работы по сравнению национальной шкалы времени Украины UTC(UA) со шкалой всемирного координированного времени UTC, прогноз которой содержится в навигационном сообщении, с использованием сигналов спутниковой радионавигационной системы (СРНС) GPS. Также проводились работы по сравнению шкал времени государственных эталонов единиц времени и частоты Украины и Федеративной Республики Германии с использованием сигналов СРНС GPS. Результаты этих работ подготавливались в виде еженедельных (оперативных) и ежемесячных (официальных) информационных бюллетеней Государственной службы едино-

¹ При расчете расхождения размеров единиц были учтены коррекции шкалы UTC(BY) 3 марта, MJD=53432, -300нс; 1 июня MJD=53522, 300нс и 1 декабря, MJD=53705, 500нс.

² При расчете расхождения размеров единиц была учтена коррекция шкалы UTC(UA) 9 января, MJD=53379, на 500нс.

го времени и эталонных частот Украины и рассылались по электронной почте и размещались на сайте ННЦ «Институт метрологии» (<http://www.metrology.kharkov.ua>).

Помимо сличений ориентированных на внутри KOOMETовские нужды PTB участвовало в очень интересной компании по сличению шкал времени с рядом лабораторий EUROMET и NIST - владельцами первичных цезиевых реперов частоты фонтанного типа.

В рамках регулярных дуплексных (TWSTFT) сличений между 4-мя европейскими лабораториями (BNM-SYRTE, IEN, NPL, PTB) и NIST выполнялось ежедневно 12 эквидистантных серий из 4-х измерений. Такой подход позволял получать состоятельные оценки погрешности каналов сличений. Целесообразность столь высокой плотности дуплексных измерений была подтверждена в течение измерительной кампании нескольких лабораторий в течение октября/ноября 2004. В качестве опорных генераторов для сличения "фонтанов" использовались активные водородные мазеры. Три технологии сличений были использованы одновременно: помимо дуплексного канала, который впервые работал по графику 12 эквидистантных серий в сутки, использовались двухчастотные приемы кодовых измерений геодезических приемников, что позволяло учесть ионосферную составляющую, так называемая GPS TAI P3 технология, и, наряду с этим те же данные геодезических приемов обрабатывались с использованием фазы несущей (GPS CP), давая еще один источник сравнения частот удаленных стандартов. Технология GPS CP продемонстрировала наиболее высокий уровень разрешающей способности по частоте среди трех использованных методов. При этом разрешающая способность достигала 1×10^{15} на интервалах выборки 1 сутки для технологий TWSTFT и GPS CP. GPS TAI P3 методы позволяли достигнуть подобного уровня лишь на временах двое и более суток. Все использованные подходы дали одинаковые оценки средних разностей частот между сличаемыми стандартами частоты в пределах 1σ неопределенности в несколько единиц 10^{-16} . В ходе эксперимента были оценены разности частот между тремя "фонтанами" IEN (IEN-CsF1), NPL (NPL-CsF1), и OP (OP-FO2). При этом разность менее 1σ неопределенности была установлена между NPL и OP, в тоже время "фонтан" IEN отличался от предыдущих двух в пределах 2σ .

ТЕМА 17/RU-a/92

«ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ЦЕЗИЕВЫХ РЕПЕРОВ ЧАСТОТЫ»

(постоянная метрологическая работа)

Координатор: ФГУП «ВНИИФТРИ», Россия.

Партнеры: ПТБ, Германия; ФГУП «ВНИИФТРИ», Россия; СМУ, Словакия;
ГНПО «Метрология», Украина.

В 2005 г. во ВНИИФТРИ, Россия, как и в предыдущие годы работы по первичным стандартам частоты велись по двум основным направлениям: оперативная эксплуатация первичного цезиевого репера на тепловых атомах МЦР102 и разработка цезиевого репера фонтанного типа.

В части постоянной эксплуатации репера частоты МЦР102 согласно регламенту проводились регулярные сличения частоты водородных хранителей с частотой репера, ремонтно-профилактические работы, а также осуществлялось совершенствование аппаратуры и методик для снижения систематических и случайных погрешностей при сличениях. Продолжалось совершенствование системы управления измерениями МЦР102, позволяющей осуществить комплексную автоматизацию измерительного процесса, обработку и анализ данных. По результатам сличений среднегодовое значение относительной разности частот между ТАИ и МЦР102 в 2005 г. составляло -1.6×10^{-14} . Среднеквадратическое отклонение усредненных на месячных интервалах измерений относительных разностей частот от среднегодового значения составляло 1.0×10^{-14} . Неопределенность типа В для репера частоты МЦР102 оценивается, как и в предыдущем году, величиной 3.0×10^{-14} .

В 2005 г. продолжались работы по цезиевому фонтану, основная цель которых состояла в исследовании и оптимизации параметров цезиевого фонтана, работающего в режиме атомного спектроскопа. Результаты этих исследований используются при проектировании метрологического стандарта частоты на фонтане холодных атомов. В частности для измерений спин-обменного столкновительного сдвига предполагается установить дополнительный СВЧ-резонатор в конструкцию вакуумной системы, разрабатываемой для будущего репера частоты фонтанного типа. Так как дополнительный СВЧ резонатор невозможно использовать на экспериментальной установке из-за изменения ее размеров, то была разработана новая схема экспериментальной установки. В пользу создания новой экспериментальной установки свидетельствуют также исследования системы детектирования. Существующая экспериментальная установка была создана главным образом для исследования вопросов по охлаждению атомов и

управлению их движением. Были исследованы все стадии охлаждения атомов и управления их движением. Но установка изначально не отвечала требованиям для использования ее в качестве атомного спектроскопа. Все эксперименты проводились с детектированием атомов в состоянии $F=4$, для чего достаточно было иметь один детектор и один детектирующий луч. Проведенные исследования системы детектирования показали, что для детектирования атомов в двух состояниях ($F=4$ и $F=3$) необходимо иметь 4 лазерных луча. В существующей установке из-за ограниченных размеров оптического окна все эти 4 луча пропустить невозможно. Дополнительные трудности возникают из-за отсутствия просветления на окнах, пропускающих лазерные лучи. Поэтому было принято решение разработать новую экспериментальную установку – атомный спектроскоп, в котором изменена секция детектирования. В этой секции используются более широкие окна, допускающие использование 4 лучей. В этой же секции располагается дополнительный СВЧ резонатор для осуществления накачки атомов в состояние $F=3, m=0$, и для удаления нерабочих атомов во время их пролета через зону детектирования. Так как эти изменения требуют полной переделки спектроскопа, то было также предложено изменить оптическую схему, а именно: убрать из схемы вертикальный луч, который может вызывать сдвиги частоты, так как он проходит через пролетную область, где происходит СВЧ переход.

Была предложена оптическая схема, в которой используются два луча наклоненных под

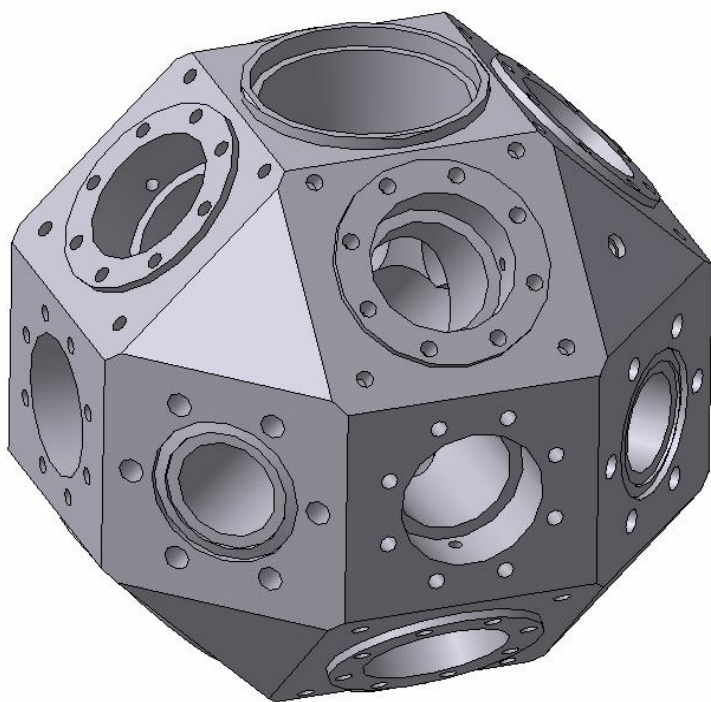


Рис. 2.1.4.1 Узел оптической трясины

45° к вертикали и перпендикулярный к ним горизонтальный луч. При этом оказывается, что эту схему можно дополнить второй системой взаимно перпендикулярных лучей, которая оказывается ортогональной к первой системе лучей. Такая схема позволяет использовать либо большее число лучей для охлаждения атомов, либо реализовать на одной и той же установке одновременную работу двух атомных фонтанов, например на атомах цезия и на атомах рубидия. На рис. 2.1.4.1 показан узел «оптической трясины» для этой установки.

Несмотря на отсутствие второго детектора, были проведены исследования магнитного поля в режиме атомного спектроскопа. Для этого была разработана процедура перевода атомов

из состояния F4 в состояние F3 во время их запуска вверх. Под воздействием СВЧ излучения атомы переходят в состояние F4 и детектируются существующей системой.

Исследования показали, что на магнитно-независимом переходе $m=0$ наблюдаются интерференционные осцилляции Рэмси, а ширина резонанса Раби составляет 6 Гц. На переходе $m=1$ резонанс Раби составляет 30 Гц, а осцилляции Рэмси не наблюдаются. Магнитное С-поле было уменьшено до $\sim 0,1$ мЭ с целью наблюдения всех возможных СВЧ переходов. На рис. 2.1.4.2 показана запись резонансов Раби. Наблюдается 15 резонансов, т.е. осуществляются все возможные магнитные переходы. Это свидетельствует о том, что в области СВЧ резонатора присутствует горизонтальное магнитное поле, сопоставимое по величине с вертикальным С-полем, т.е. присутствует сильная неоднородность магнитного поля.

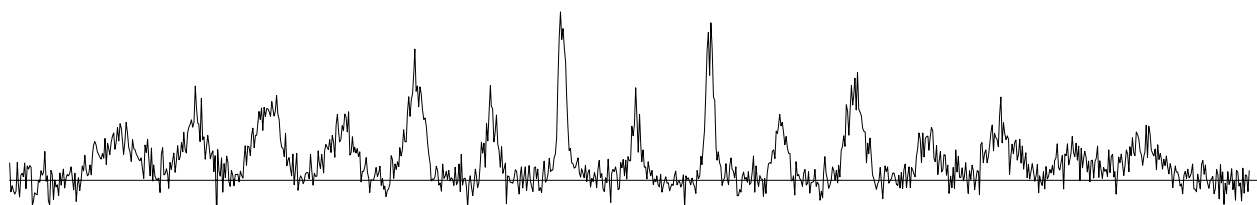


Рис.2.1.4.2.

Резонансы Раби. С-поле ~ 0.15 мЭ, сканирование 3000 Гц, центральный резонанс соответствует переходу $m=0$, рядом с ним резонанс $m=0 \leftrightarrow \pm 1$.

Атомный спектроскоп был демонтирован и осуществлен поиск источников паразитного магнитного поля. После исследований были обнаружены магнитные латунная шайба и винт. Шайбу и винт удалось заменить без нарушения вакуумной системы. После сборки атомного спектроскопа были проведены повторные исследования и получены резонансы Раби на магнитно-зависимых переходах шириной 6 Гц, т.е. такие же как и на переходе $0 \leftrightarrow 0$.

На рис.2.1.4.3 показаны осцилляции Рэмси на переходе $m=1$. Видна некоторая асимметрия резонансов, однако эта асимметрия зависит от тока подмагничивания во вспомогательных катушках и служит мерилем правильности установки тока подмагничивания. Таким образом на данном этапе получено однородное магнитное поле, которое обладает достаточной однородностью для исключения магнитных сдвигов на уровне $(1-3) \times 10^{-15}$.

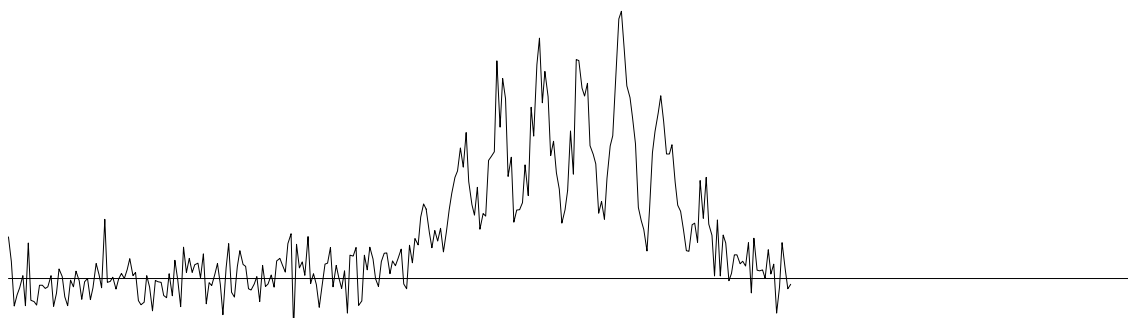


Рис.2.1.4.3

Осцилляции Рэмси на переходе $m=1$, магнитное поле 7 Мэ.

После устранения дефектов в системе магнитного экранирования проводились эксперименты по измерению частоты атомного перехода на существующей установке. Для этого была разработана программа измерения и в интерфейсный блок добавлены команды на включение и выключение электромагнитных затворов, перекрывающих оптические лазерные лучи в области детектирования и в пролетной области. После оптимизации параметров и отладки программы получены результаты измерений, представленные на рис.2.4.1.4 и 2.4.1.5.

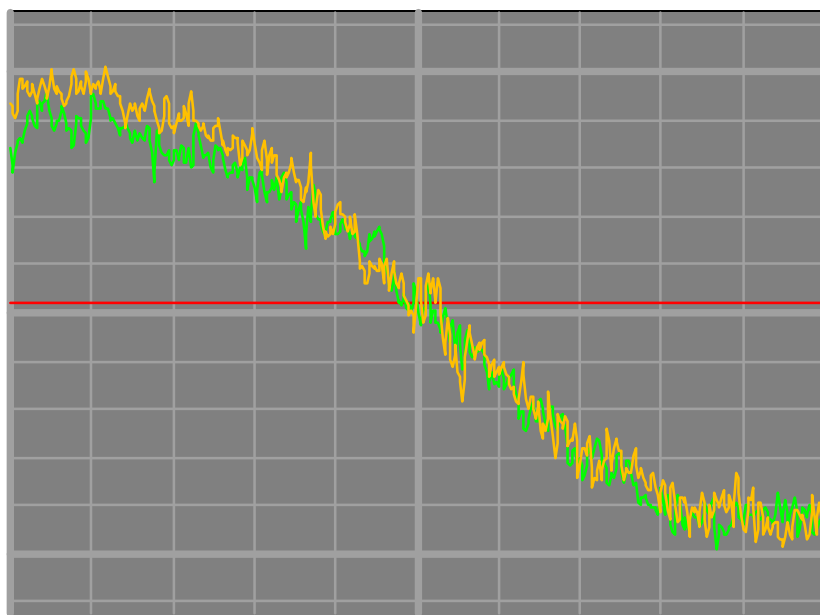


Рис.2.4.1.4

Определение частоты атомного перехода

В центре начало координат, по оси абсцисс соответствует номинальной частоте перехода. 1 клетка – 0,2 Гц, по оси ординат произвольные единицы, пересечение кривой с осью абсцисс соответствует измеренной частоте атомного перехода.

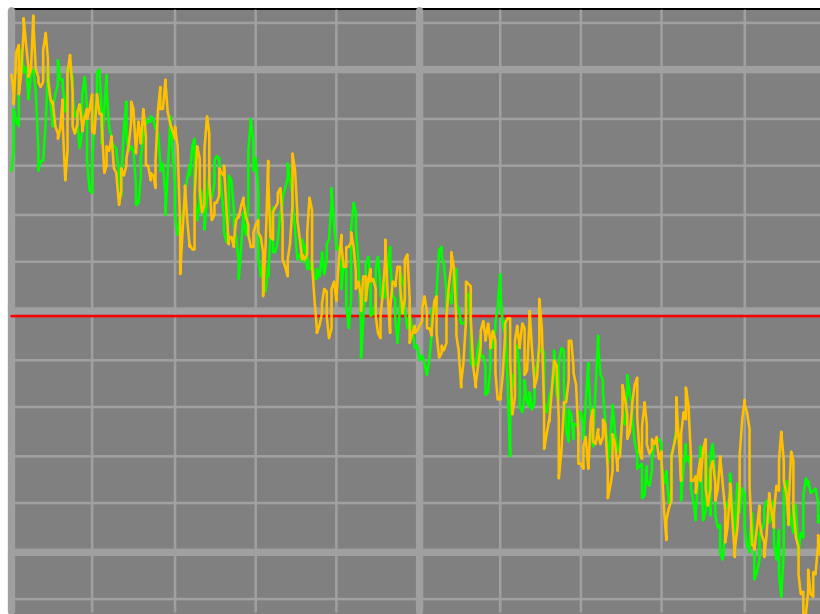


Рис.2.4.1.5

Определение частоты атомного перехода. Масштаб по оси абсцисс 1 кл.- 0.05 Гц.

На последнем рисунке представлены результаты 1000 измерений. По имеющимся числовым данным была произведена оценка потенциально достижимой стабильности за сутки. Можно отметить, что даже с одним детектором эта величина может составлять $(1-3) \times 10^{-14}$. Это дает надежду, что переход на детектирование двух состояния атомного облака позволит достичь стабильность $\sim 10^{-15}$ за сутки.

В заключении можно отметить, что в результате проведенных исследований удалось решить проблемы с неоднородностью магнитного поля, сформулировать требования к оптической схеме и разработать новую схему с включением в нее дополнительного СВЧ резонатора и размещения второго детектора для детектирования обоих состояний атома цезия. Исследования работы установки в режиме спектроскопа показали, что на проектируемом стандарте частоты с новой оптической схемой может быть достигнута стабильность частоты $\sim 10^{-15}$ за сутки.

В РТВ, Германия, равно как и во ВНИИФТРИ, работы по исследованию цезиевых реперов частоты представлены двумя основными направлениями: первичными стандартами частоты CS1 и CS2 на тепловых атомах, которые находятся в ответственности Рабочей группы "Распространение времени", что является свидетельством отработанности технологии и готовности ее использования для рутинных измерений, и исследованиями на цезиевом фонтане CSF1 и разработками CSF2, которые являются предметом ответственности Рабочей группы "Единица времени". Обе группы входят в состав отдела "Время и частота". В РТВ в 2005 году продолжалась эксплуатация первичных цезиевых реперов частоты на тепловых атомах CS1 и CS2 и цезиевого фонтана CSF1. Исследовательские программы по совершенствованию цезиевых репе-

ров частоты на тепловых атомах CS1 и CS2 были остановлены. Напротив, все силы были сосредоточены на усовершенствованиях CSF1 и разработке нового стандарта CSF2, который дал пучок охлажденных атомов в 2004 г. и использование которого в полной мере ожидается в 2006 г.

Последующее изложение представляет более подробную информацию по этим вопросам.

Первичные часы.

Первичные стандарты частоты CS1, CS2 и CS3 использовались в качестве часов, в которых управляемый кварцевый генератор использовался в качестве источника выходного сигнала 5 МГц и импульсного (часового) сигнала 1 Гц, который, в свою очередь, постоянно сравнивался с UTC(PTB). Рабочие параметры всех устройств регулярно проверялись и подтверждались, для формирования состоятельных оценок неопределенности часов за любой период внутри отчетного года. Это набор параметров состоял из:

- Зеемановская частота
- Уровень СВЧ поля
- Ширина линии часового перехода
- Спектральная чистота СВЧ сигнала возбуждения
- Набор параметров сигналов в системе электроники

В течение 2005 на установках CS1 и CS2 было выполнено три реверсирования пучка. В течение года не было установлено никаких причин для внесения изменений в приписанные оценки неопределенности стандартов частоты, которые составляли $u_B = 8 \cdot 10^{-15}$ и $12 \cdot 10^{-15}$ для CS1 и CS2 соответственно.

Цезиевые фонтаны CSF1 и CSF2

Оперативная работа с CSF1 в 2005 г. не была продолжена. Во время кампании по проведению сравнений частот фонтанов в октябре-ноябре 2004 г. было обнаружено внезапное изменение частоты CSF1 PTB относительно FO2 (BNM-SYRTE), CSF1 (IEN) и CsF1 (NPL) величиной $\sim 21 \times 10^{-14}$. Причиной этого мог быть поврежденный кабель в 5 МГц устройстве. Во время изучения этой проблемы приоритет был отдан инспекции и другим открытым вопросам CSF1 по отношению к оперативной работе. Именно поэтому CSF1 не использовался в качестве первичного средства за исключением короткого периода в августе 2005 г. когда он играл роль первичного репера при проведении измерения на оптических стандартах частоты. Для этих измерений была проведена специальная оценка неопределенности CSF1, которая дала величину $u_B =$

2.6×10^{-15} , что почти в три раза выше оценки предыдущих лет и связано с незавершенностью оценок остальных систематических эффектов. Исследования потенциальных причин систематических сдвигов частоты в фонтанах к настоящему времени завершены результаты будут доложены на Европейском форуме по времени и частоте 2006. Предполагается, что оперативная работа с первичным стандартом CSF1 будет возобновлена в 2006г.

К сожалению, разработка CSF2 идет не так быстро как хотелось бы. К настоящему времени получена рамзеевская линия и все подсистемы настроены для получения оптимальных соотношений сигнал шум и минимума неопределенности u_B . Работы по завершению оценивания характеристик CSF2 будут приоритетными в этом году, но вместе с тем вряд ли будут завершены ранее конца 2006 г.

В ГНПО «Метрология», Украина, работы по теме 17/RU-a/92 «Проведение исследований цезиевых реперов частоты» в 2005 г. не проводились.

ТЕМА 174/RU – 99
«СОСТОЯНИЕ ЭТАЛОННОЙ БАЗЫ СТРАН-ЧЛЕНОВ КООМЕТ
В ОБЛАСТИ ВРЕМЕНИ И ЧАСТОТЫ»

| | |
|--------------|--|
| Координатор: | ФГУП «ВНИИФТРИ», Россия. |
| Партнеры: | БелГИМ, Р.Беларусь; НМЦ, Болгария; РГП «КазИнМетр», Р.Казахстан; ГП «Киргизский центр испытаний и сертификации», Республика Кыргызстан; ЦНИИМ, НДР Корея; ИНИМЕТ, Республика Куба; НИСМ, Молдавия; ФГУП «ВНИИФТРИ», Россия; СМУ, Словакия; ГНПО «Метрология», Украина. |

Далеко не все участники темы представили информацию об изменении в аппаратном составе эталонных комплексов.

В состав комплекса Национального эталона времени, частоты и шкалы времени БелГИМ, Р.Беларусь, входит ансамбль из 6-и водородных стандартов: Ч1-70 – 3 шт.(два из них модернизированы, Ч1-80 – 2 шт., VCH-1005 – 1 шт. В состав эталона также входит и возимый водородный стандарт VCH-1004, аппаратура внутренних и внешних сличений,

система размножения сигналов, формирователь сигналов проверки белорусского времени «6 точек», автономное электропитание по переменному и постоянному напряжению.

Суммарная погрешность эталона относительно ГЭВЧ Российской Федерации составляет $\leq 6 \times 10^{-14}$;

Расхождение шкал $|\text{UTC}(\text{BY}) - \text{UTC}(\text{SU})| \leq 0.5 \text{ мкс.}$

Измерительные возможности ГП «Киргизский центр испытаний и сертификации», Республика Кыргызстан представлены рубидиевым стандартом частоты типа Ч1-74, который обеспечивает выходные частоты 100 кГц, 1 МГц и 5 МГц. При этом суммарная неопределенность измерений обеспечивается на уровне $u_B \sim 1 \times 10^{-12}$.

Развернутая информация поступила из ИНИМЕТ, Республика Куба. Она в значительной степени повторяет прошлогоднюю и поэтому ниже будет приведена только в части изменений.

Оборудование и технические характеристики Национального эталона времени и частоты Республики Куба

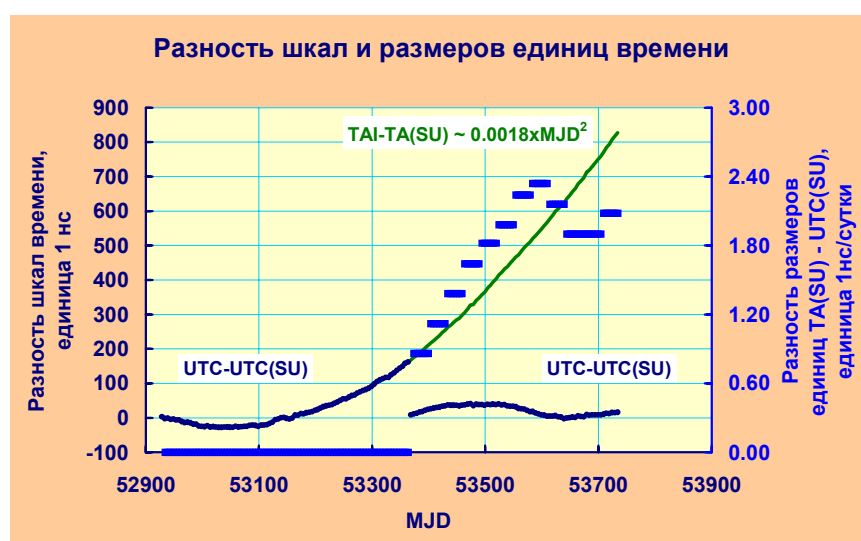
| Национальный эталон времени и частоты (Метрологические характеристики) | | | | | | |
|---|--------|-----------------------|---|---------------------------|---|---|
| Тип стандарта частоты | номер | дрейф частоты 1/месяц | Типичное значение вариации Аллана 1/сутки | Время стандарта - UTC мкс | Расширенная неопределенность (интервал достоверности = 2) | Сличения обеспечивающие заявленные характеристики |
| Рубидиевый стандарт частоты типа Ч1-69 (модифицированный) | 401015 | 1×10^{-11} | 2.4×10^{-12} | < 10 | 11×10^{-13} | Сличения с помощью GPS 4 раза в сутки |
| Рубидиевый стандарт частоты типа Ч1-69 (модифицированный) | 401110 | 1×10^{-11} | 2.7×10^{-12} | < 10 | 12×10^{-13} | Сличения с помощью GPS 4 раза в сутки |
| Рубидиевый стандарт частоты типа Ч1-69 (модифицированный) | 401011 | 1×10^{-11} | 4.6×10^{-12} | < 10 | 18×10^{-13} | Сличения с помощью GPS 4 раза в сутки |
| Рубидиевый стандарт частоты типа Ч1-69 (модифицированный) | 401112 | 1×10^{-11} | 1.9×10^{-12} | < 10 | 8×10^{-13} | Сличения с помощью GPS 4 раза в сутки |

Серьезные изменения произошли в аппаратно-программном комплексе Государственного первичного эталона Российской Федерации, ФГУП «ВНИИФТРИ», Россия. Они

коснулись методических аспектов формирования Национальной шкалы времени РФ - UTC(SU).

Самым существенным отличием формирования шкал времени TA(SU) и UTC(SU) в отчетном году по сравнению со всей предыдущей историей отечественной службы времени был переход на новую реализацию национальной шкалы времени UTC(SU) 30 декабря 2004 г., MJD 53369, [2-4]. Хотя формально переход произошел в 2004 г., его результат может быть оценен лишь год спустя.

Основная идея новой реализации национальной шкалы времени UTC(SU) заключается в построении такой шкалы времени, которая, максимально сохраняя все лучшие свойства - нестабильность размера единицы - представила бы потребителям национальное время максимально приближенное к международной опорной системе UTC. При этом полностью сохраняется автономность работы национальных средств исчисления времени путем формирования, как и ранее, шкалы атомного времени TA(SU). Хотя и ранее ГСВЧ также велось две шкалы времени: UTC(SU) и TA(SU), но разница между ними составляла целое число "скачущих" (leap) секунд. Начиная с 00 h UTC 30 декабря 2004 г., MJD 53369, размеры единиц времени в шкалах UTC(SU) и TA(SU) отличаются.

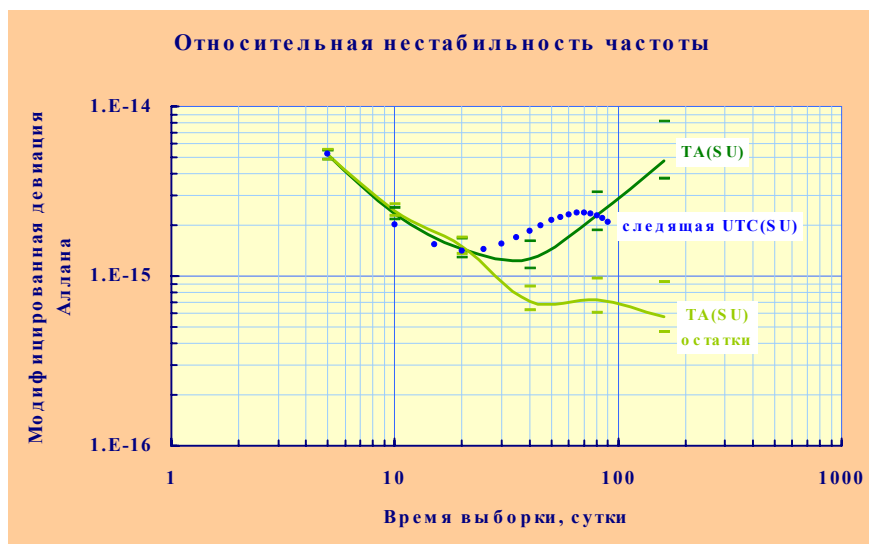


Наглядно результаты корректировки и новой реализации UTC(SU) представлены на приведенном рисунке. Как видно из рисунка автономная атомная шкала времени TA(SU) продолжает поддерживаться без каких либо видимых изменений. Её наличие служит порукой независи-

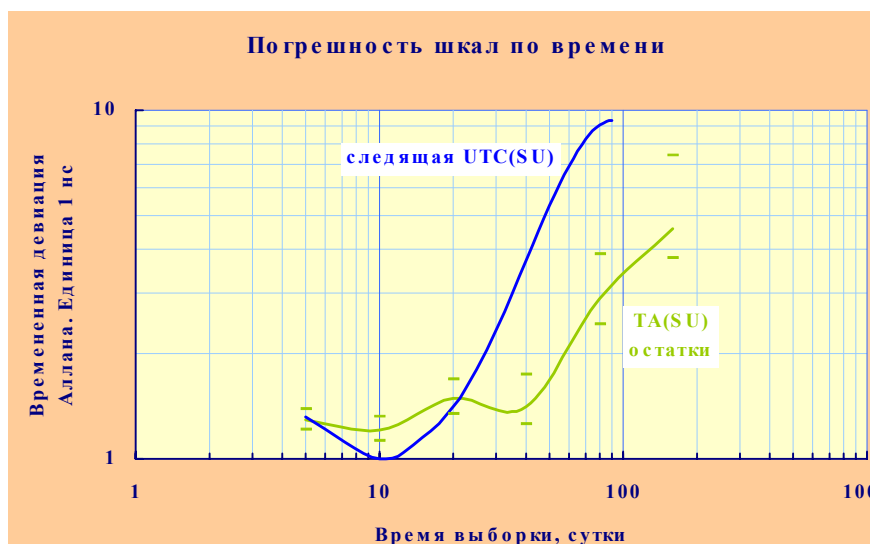
мости временной системы страны и дает возможность поддержания шкалы координированного времени в расчетных точностных пределах даже в случае отсутствия на ограниченных интервалах времени сличений с шкалой UTC.

В начальный момент 30 декабря 2004 г. разность шкал UTC и UTC(SU) была около 160 ns и относительная разность размеров единиц около 1.6×10^{-14} . По ряду причин мы ввели скачок по моменту 160 ns, но не смогли ввести скачок по частоте равный полной разности размеров единиц, а лишь 1×10^{-14} . Вследствие этого нам потребовалось около полугода, чтобы постепенно

выровнять разность размеров единиц времени. К сожалению за это время мы накопили дополнительную разность по моменту около 40 нс и потребовалось еще около 5 месяцев для достижения разности UTC-UTC(SU) менее 10 нс. В этом смысле поведение следящей системы пока не очень показательно, но теперь, когда мы находимся в окрестности нулевой разности шкал и размеров единиц времени следует рассчитывать на достижение более высоких результатов.



тоты ~ 0.0036 нс/сутки².



временные вариации UTC(SU) относительно UTC не превосходят 10 нс на тех же интервалах выборки.

В ГНПО «Метрология», Украина, изменений в составе и характеристиках эталонной базы в 2005 г. не было.

Представляют интерес оценки нестабильности частоты новых шкал времени: TA(SU) и UTC(SU), причем для TA(SU) приведена как нестабильность самой TA(SU), так и остатков после учета ее детерминированной части связанной с остаточным дрейфом час-

Фактически основная цель введения следящей шкалы достигнута: в настоящее время нестабильность частоты UTC(SU) относительно UTC на интервалах времени ~ 3 месяцев уже превосходит уровень нестабильности автономной атомной системы, а вре-

IV. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С МЕЖДУНАРОДНЫМИ И РЕГИОНАЛЬНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ

| | |
|---|--|
| Международное Бюро Мер и Весов (BIPM): | регулярный обмен данными для формирования TAI; |
| Консультативный Комитет по времени и частоте (CCTF): | участие в работе CCTF и его рабочих группах |
| Консультативный Комитет по длине (CCL) | участие в выработке рекомендаций по вторичному представлению секунды |
| Международный Союз электросвязи (ITU): | участие в работе группы 7A; |
| Международная служба вращения Земли (IERS): | регулярный обмен данными; |
| Международная геодинамическая служба (IGS): | обмен данными наблюдений и результатами их обработки; |
| Международная служба лазерной локации спутников (ILRS): | обмен данными наблюдений и результатами их обработки; |

V. РАБОТЫ ПО УЧАСТИЮ В РЕАЛИЗАЦИИ СОГЛАШЕНИЯ О ВЗАИМНОМ ПРИЗНАНИИ НАЦИОНАЛЬНЫХ ЭТАЛОНОВ, КАЛИБРОВОК И СЕРТИФИКАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ, ВЫДАВАЕМЫХ НАЦИОНАЛЬНЫМИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМИ УЧРЕЖДЕНИЯМИ (MRA)

8 июня 2005 была успешно завершена экспертиза СМС файлов ВНИИФТРИ в области измерений времени и частоты в EUROMET, о чем было получено подтверждение из JCRB. К сожалению экспертиза СМС файлов ВНИИФТРИ в APMP так и не была завершена, несмотря на неоднократные напоминания в адрес соответствующего ТК APMP.

В конечном счете, в результате сложившейся патовой ситуации пришлось повторно 12 апреля 2006 г. выставить СМС файлы ВНИИФТРИ в области измерений времени и частоты на экспертизу с помощью сайта JCRB. Принять участие в экспертизе проявили готовность представители APMP, EUROMET и SADCMET. От EUROMET уже получен положительный отзыв,

АРМР сделало два замечания, одно чисто редакционное, второе касается не опущенных в одной из позиций условий измерений. Оба замечания устранены. Ожидаемый срок завершения экспертизы SADC MET 30 июня 2006 г.

30 марта на основании приглашения руководителя подразделения Q.51 PTB по взаимоотношениям с Европой и Центральной и Восточной Азией Д-ра Г.-Д. Фелфе и при финансовой поддержке EUROMET председатель ТК "Время и частота" KOOMET Кошеляевский Н.Б. принимал участие в заседании Технического Комитета EUROMET по времени и частоте в качестве наблюдателя и которое проходило под председательством Д-ра А. Бауха, члена ТК EUROMET по времени и частоте от ФРГ. Основным отличием EUROMET от KOOMET является его существенно более высокая степень консолидированности интересов партнеров в рамках Евросоюза. Самым ярким отражением этого было участие стран в разработке дорожных карт развития своей отрасли, в которых они определяли основные цели и рубежи уровней развития по направлениям квантовых часов, средств передачи времени и космических приложений технологий времени и частоты.

Подобные карты представляют наглядный способ демонстрации конечных целей, существующего уровня и необходимых средств и способов их достижения. После их рассмотрения и утверждения некоторых из представленных проектов национальные метрологические учреждения, готовившие эти проекты, могут подавать заявки на конкурс на право участия в реализации проекта. Пока трудно представить такой уровень взаимодействия в KOOMET.



Вечером того же дня после завершения работы ТК была под руководством А. Бауха организована экскурсия в лабораторию атомных часов PTB. Над входом в помещение квантовых часов находятся часы наглядно демонстрирующие посетителям разницу между системами TAI, UTC и местным поясным временем. Эта лаборатория является обладателем трех первичных цезиевых реперов частоты на тепловых пучках атомов и двух приборов фонтанного типа. Она наряду с USNO в США и NIST в Японии, является ключевой лабораторией в

Европе с точки зрения осуществления международных сличений удаленных часов, на основе которых строится шкала Международного атомного времени TAI. Её вклад первичными средствами на некоторых интервалах времени является определяющим при формировании TAI. Над входом в помещение квантовых часов находятся часы наглядно демонстрирующие посетителям разницу между системами TAI, UTC и местным поясным временем.

Само помещение часов это зал площадью в несколько тысяч квадратных метров и высотой более пяти метров. Стены его экранированы медью и в зале поддерживается постоянная температура в пределах ± 0.2 К. Под потолком установлена на направляющих кран-балка, которая активно используется для монтажа довольно массивного оборудования.

Первичные цезиевые реперы CS1, CS2 и CS3 показанные на рисунках на протяжении



двух десятилетий составляли основу мировой системы ТАИ. На протяжении последнего года было осуществлено несколько реверсирований направления пучка в CS1 и CS2, которые подтвердили, что их точность согласуется с определенной ранее и составляет 8×10^{-15} и 12×10^{-15} для CS1, CS2 соответственно. Помимо них в этом зале размещены и другие стандарты, в том числе и оба репера на основе фонтана, а также проводятся работы по другим перспективным стандартам частоты. Приведенный ниже вид стандарта частоты на основе цезиевого фонтана CSF1 существенно отличается от предшественников на тепловых атомах своей оптической частью, предназначенной для локализации и охлаждения атомов, их подбрасывания и детектирования, и которая составляет заметную долю его стоимости. В октябре-ноябре

2004 г. этот стандарт с приписанной точностью $\sim 8 \times 10^{-16}$ принимал участие в международных



сличениях со стандартами FO2 (BNM-SYRTE), CSF1 (IEN) и CsF1 (NPL). После внезапной поломки с изменением частоты на 21×10^{-14} был подвергнут ревизии, которая пока не завершена. В настоящее время заявленная точность составляет $\sim 2.6 \times 10^{-15}$, что почти вдвое уступает результатам 2004 г. Исследования на стандарте CSF2 продолжаются и ожидается его введение в строй в конце 2006 г.

Помимо работ по первичным средствам и исследовательских проектов в этом же помещении размещен ансамбль постоянно работающих часов, состоящий из трех цезиевых атомнолучевых часов типа HP 5071A и двух водородных мазеров российского производства типа VCH 1006.

Нам также были продемонстрированы и другие помещения лаборатории времени, в первую очередь связанные со сличениями шкал времени других удаленных лабораторий, передачей и распространением времени. Др. А. Баух, который в настоящее время отвечает за передачу времени в РТВ, в частности хорошо отзывался о микростеппере производства SDI типа HROG-5, который позволяет вводить отстройку частоты с разрешением до 5×10^{-19} в диапазоне $\pm 2 \times 10^{-7}$. Характерной, бросающейся в глаза, особенностью аппаратных является размещение фидеров, и в первую очередь сигнальных и коммуникационных, в лотках несколько выше шкафов с аппаратурой, но в тоже время не под самым потолком. Это существенно облегчает доступ к ним и оставляет проходы свободными от кабелей.

VI. ЛИТЕРАТУРА

- 1 Technical Directives for Standardization of GPS Time Receiver Software to be implemented for improving the accuracy of GPS common-view time transfer by the Group on GPS Time Transfer Standards, a Sub-Working Group of the CCDS Working Group on improvements to

TAI, Rapport BIPM-93/6.

- 2 БЮЛЛЕТЕНЬ Г- 78, об изменении реализации шкалы времени UTC(SU), 20 декабря 2004 г., Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, Институт метрологии времени и пространства, ФГУП «ВНИИФТРИ».
- 3 N. Koshelyaevsky, E. Zagirova , UTC(SU) Steering Time Scale Strategy. Data Stimulation and First Results, Proceeding of the 19th European Frequency and Time Forum, 21 – 24 March 2005, Besancon, France.
- 4 L. Gornaeva, N.Koshelyaevsky, E.Zagirova, UTC(SU) steering time scale. Current status and further improvements, Proceeding of the 20th European Frequency and Time Forum, March 27 - 30 2006, Braunschweig, Germany