

ШКАЛЫ ВРЕМЕНИ И ИХ РЕГЛАМЕНТАЦИЯ В РЕКОМЕНДАЦИЯХ МСЭ

Г. В. Коновалов, ведущий научный сотрудник ЦНИИС, к.т.н.; gerkon@zniis.ru

А. М. Меккель, заместитель директора по науке ЦНИИС, к.т.н.

Ключевые слова: *счет дней, система юлианских дат, единицы времени, шкалы времени, Международная атомная шкала времени, Всемирное координированное время.*

Введение. Проблемам частотно-временного обеспечения телекоммуникаций посвящены рекомендации МСЭ-Р серии TF (Time signals and frequency standards emissions — распространение сигналов времени и частотных эталонов). Сегодня серия TF состоит из 16 действующих рекомендаций; девять из них, непосредственно относящихся к регламентации шкал времени, приведены в таблице.

Одной из задач частотно-временного обеспечения телекоммуникаций является передача сигналов точного времени. Данная процедура основывается на установленной единице и шкале времени. Рек. МСЭ-Р TF.686-2 определяет время как строго необратимый континуум упорядоченных событий, а шкалу времени — как систему однозначно упорядоченных событий, на которой время является мерой интервала между двумя событиями, или же мерой длительности события.

Международная стандартизация единиц и шкал времени имеет длинную историю. Поскольку время является одним из основополагающих понятий во многих областях знаний — астрономии, физике, философии, психологии и т. д., шкалы времени создавались для различных применений и с учетом различных требований к точности отсчета времени. В статье дается сравнительный анализ существующих шкал времени, приводятся сведения о регламентации шкал времени Международным союзом электросвязи применительно к телекоммуникациям (в виде ссылок на приведенные в таблице рекомендации МСЭ-Р серии TF), рассматриваются перспективы совершенствования этих шкал. Содержание

статьи основано на материалах МСЭ и публикациях в области астрономии.

Шкалы времени и их классификация. Определение момента и промежутка времени требует введения понятия шкалы времени, которое включает выбор некоторого периодического астрономического или физического процесса, построение теории этого процесса и задание единицы времени.

Природные периодические процессы можно условно разбить на две основные группы: связанные и не связанные с движением небесных тел. В зависимости от периодического процесса определены и используются следующие шкалы времени:

- солнечного времени;
- звездного времени;
- динамического времени (эфемеридное, барицентрическое и земное время);
- атомного времени;
- пульсарного времени.

В шкалах солнечного и звездного времени из-за переменной скорости вращения Земли длительность единицы времени является переменной величиной, причем точный закон ее изменения не известен. Среднее солнечное время на меридиане Гринвича называется Всемирным временем (Universal Time — UT). Однако в него необходимо вносить поправки, вызванные смещением полюсов Земли, влиянием приливов и сезонных смещений атмосферных масс и др.

Шкалы динамического времени определяются на основе теорий движения Земли и других тел Солнечной системы (шкала эфемеридного времени — в рамках ньютоновой механики, шкалы барицентрического и земного времени — в рамках теории относительности).

Рекомендация МСЭ-Р	Дата ввода в действие	Наименование	
		Английское	Русский перевод
TF.457-2	10.1997	Use of the modified Julian date by the standard-frequency and time-signal services	Использование модифицированной юлианской даты службами стандартных частот и сигналов времени
TF.458-3	02.1998	International comparisons of atomic time scales	Международное сличение атомных шкал времени
TF.460-6	02.2002	Standard-frequency and time-signal emissions	Передача стандартных частот и сигналов времени
TF.486-2	02.1998	Use of UTC frequency as reference in standard frequency and time signal emissions	Использование частоты Всемирного координированного времени как эталона при передаче стандартных частот и сигналов времени
TF.535-2	02.1998	Use of the term UTC	Использование термина «Всемирное координированное время»
TF.536-2	05.2003	Time-scale notations	Нотации шкал времени
TF.686-2	02.2002	Glossary and definitions of time and frequency terms	Словарь и определения терминов, относящихся к времени и частоте
TF.1010-1	10.1997	Relativistic effects in a coordinate time system in the vicinity of the Earth	Релятивистские эффекты в системах координатного времени в окрестностях Земли
TF.1552	02.2002	Time scales for use by standard-frequency and time-signal services	Шкалы времени для использования службами стандартных частот и сигналов времени

Шкала атомного времени основана на показаниях атомных часов, и единица атомного времени связана с частотой излучения или поглощения энергии при переходе атомов из одного квантового состояния в другое. Шкалы атомного и динамического времени независимы как друг от друга, так и от шкал солнечного и звездного времени, т. е. от вращения Земли.

Для современного частотно-временного обеспечения телекоммуникаций МСЭ-Р рекомендует (ТФ.486-2, ТФ.535-2 и др.) шкалу так называемого Всемирного координированного времени (Universal Time Coordinated — UTC).

Системы счета дней. Обычные календарные даты требуют указания дня, месяца и года. Такое обозначение момента времени на любой временной шкале неудобно и с точки зрения формализации астрономических расчетов, и для передачи информации в виде кодированных сигналов времени. Поэтому Рек. ТФ.457-2 установлено требование исчисления дня в десятичной системе счисления, причем календарные дни следует отсчитывать с 00:00 (т. е. с полночи) принятой шкалы времени в виде числа с пятью значащими цифрами.

Для удобства формального обозначения даты используются понятия юлианской (Julian Date — JD) и модифицированной юлианской (Modified Julian Date — MJD) даты. Система юлианских дат была введена еще в XVI в. французским ученым Джозефом Скалигером и названа в честь его отца Юлия.

В соответствии с Рек. ТФ.686-2 юлианской датой называется номер определенного дня, который непрерывно отсчитывается от начальной точки — 12 ч 00 мин (полдня) 1 января 4713 г. до н. э. (начало нулевого юлианского дня). Юлианская дата обычно относится к Всемирному времени, но может применяться и в других контекстах. В частности, с 1998 г. Международный астрономический союз (IAU) рекомендует использовать JD как одну из разновидностей динамического времени — змного.

Обычная юлианская дата имеет семь цифр до запятой, и для небольших промежутков времени, например десятилетий, несколько первых цифр не меняются, из-за чего использование полного номера юлианского дня становится нерациональным. Удобнее вести отсчет суток с начальной даты, которая гораздо ближе к современной эпохе: это позволяет существенно сократить номер дня. Поэтому юлианская дата и была модифицирована.

Модифицированная юлианская дата, определенная IAU, а также Рек. ТФ.457-2 и Рек. ТФ.686-2, связана с обычной юлианской соотношением $MJD = JD - 2400000,5$. В отличие от юлианских дней, которые начинаются в гринвичский полдень, начало модифицированного юлианского дня приходится на полночь, что соответствует принятому сегодня делению времени на сутки. Кроме того, в период 1859—2130 гг. значения MJD являются положительными и для их записи достаточно пяти значащих цифр (а не семи, как для JD). Начало отсчета модифицированных юлианских дней ($MJD = 0$) приходится на полночь с 16 на 17 ноября 1858 г. по григорианскому календарю.

Непрерывная десятичная нумерация дат делает удобным использование MJD для отсчета времени (в качестве оси абсцисс) в различных графиках, отражающих длительные временные процессы.

Неравномерные шкалы времени. Шкалы солнечного времени. Местное истинное солнечное время равно геоцентрическому часовому углу центра видимого диска Солнца, отсчитываемому относительно мгновенного меридиана места наблюдения плюс 12 ч. Момент верхней (нижней) кульминации центра

видимого диска Солнца на данном меридиане называется истинным полднем (истинной полночью). Истинные солнечные сутки — это промежуток времени между последовательными одноименными кульминациями центра Солнца. За начало солнечных суток принимают истинную полночь.

Существует два типа солнечного времени: истинное солнечное время и среднее солнечное время. Из-за неравномерности истинного солнечного времени оно малоприспособлено для практического применения — вместо него используется среднее солнечное время. Для определения среднего солнечного времени берется «суррогат» Солнца (среднее экваториальное Солнце) — фиктивная точка, равномерно движущаяся по небесному экватору в ту же сторону, что и истинное Солнце.

Полный оборот по экватору среднее экваториальное Солнце делает за тот же промежуток времени, что и истинное Солнце по эклиптике. Средние солнечные сутки — это промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями среднего экваториального Солнца. За начало средних солнечных суток принимается средняя полночь (т. е. момент нижней кульминации).

Как следует из Рек. ТФ.686-2, среднее солнечное время (Mean Solar Time) — это мера времени, определенная в соответствии с истинным суточным движением Солнца с учетом эллиптичности орбиты Земли и наклона земной оси относительно плоскости эклиптики. Тем самым обеспечивается большая равномерность шкалы среднего солнечного времени.

Среднее время по Гринвичу (Greenwich Mean Time — GMT), как указано в Рек. ТФ.686-2, является средним солнечным временем, измеренным в Королевской обсерватории в Гринвиче. GMT было принято в 1884 г. в качестве первой в мире глобальной шкалы времени и широко использовалось до тех пор, пока не было заменено Всемирным временем, а затем Всемирным координированным временем.

Шкалы звездного времени. Для начала отсчета суток может быть выбрана кульминация не только конкретного светила, но и некоторой условной точки. Если такой точкой является точка весеннего равноденствия (ВР), то шкала времени, основанная на измерении часовых углов этой точки, называется звездной.

Звездное время есть часовой угол точки ВР. Промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями точки ВР — это звездные сутки. За начало звездных суток принимают момент верхней кульминации точки ВР. Звездное время зависит от вращения Земли, следовательно, шкала звездного времени является неравномерной.

Звездное время еще называют сидерическим (sidereal time) — от латинского sidus (в родительном падеже — sideris): звезда, небесное светило. Согласно Рек. ТФ.686-2, сидерическое время — это мера времени, определенная в соответствии с истинным суточным движением точки ВР, т. е. мера вращения Земли в большей степени относительно звезд, нежели относительно Солнца. В астрономии используются два типа сидерического времени: истинное сидерическое время и среднее сидерическое время; последнее принимает во внимание нутацию Земли, чтобы обеспечить большую равномерность шкалы времени. Один средний сидерический день равен приблизительно 23 ч 56 мин 04 с среднего солнечного времени. Таким образом, 366,2422 средних сидерических дней равны 365,2422 средних солнечных дней.

Звездное время на Гринвичском меридиане называется звездным гринвичским временем, или гринвичским сидерическим временем (Greenwich Sidereal Time — GST).

Всемирное время является мерой времени, довольно близко соответствующей среднесуточному движению Солнца, на-

блюдаемому на начальном меридиане. Формально оно рассчитывается с помощью математической формулы как функция гринвичского среднего сидерического времени. Таким образом, UT определяется из наблюдений суточного движения звезд.

Различают следующие системы Всемирного времени: UT0, UT1, UT1R и UT2.

UT0 — это Всемирное время, полученное непосредственно из астрономических наблюдений, т. е. время на мгновенном Гринвичском меридиане, соответствующем мгновенному полюсу Земли. Так как имеет место движение земных полюсов, то в разных местах Земли будут измеряться практически различные значения UT0. Следовательно, UT0 в определенной степени зависит от положения обсерватории на поверхности Земли.

В том случае, когда UT0 корректируется в части сдвига по долготе станции наблюдения, вызванного движением полюса, образуется шкала UT1. Эта форма Всемирного времени учитывает движение полюсов (т. е. смещение мгновенного полюса относительно среднего) и пропорциональна движению Земли в пространстве. Некоторое уточнение шкалы UT1 производится за счет исключения короткопериодических (с периодом менее 35 суток) эффектов зональных приливов. Такая уточненная шкала времени получила название UT1R.

Дальнейшим уточнением шкалы UT1 является UT2 — одна из форм Всемирного времени, которая учитывает движение полюсов, а также эмпирически корректируется в части годовых и полугодовых вариаций скорости вращения Земли для получения более равномерной шкалы времени. Сезонные вариации вызываются, прежде всего, метеорологическими эффектами.

Сезонные периодические вариации угловой скорости вращения Земли вычисляются на основании исследований, выполненных в предшествующие годы. Поэтому UT2 иногда называют предварительным равномерным, или квазиравномерным, временем. Система UT2 является наиболее приближенной к равномерной шкале времени, которую можно получить из наблюдений суточного движения звезд. Однако пользоваться только ей одной на протяжении достаточно долгого (несколько десятков лет) промежутка времени тоже невозможно. Период вращения Земли вокруг собственной оси — величина не постоянная: под воздействием лунных и солнечных приливов она увеличивается на несколько миллисекунд за 100 лет. Существуют и другие факторы, вызывающие случайное изменение скорости вращения нашей планеты.

Из перечисленных форм Всемирного времени наиболее важна система UT1, отражающая действительное вращение Земли. Она определяет ориентацию среднего Гринвичского меридиана, т. е. оси x земной системы координат. Шкалы UT0 и UT2 в настоящее время практически не используются.

Шкалы динамического времени. Номенклатура шкал динамического времени. Шкалы динамического времени определяются на основе теорий движения Земли и других тел Солнечной системы. Благодаря повышению точности астрономических наблюдений появились следующие шкалы динамического времени:

- шкала эфемеридного времени (Ephemeris Time — ET);
- шкала барицентрического динамического времени (Time Dynamical Barycentric — TDB);
- шкала земного динамического времени (Time Dynamical Terrestrial — TDT);
- шкала барицентрического координатного времени (Time Coordinate Barycentric — TCB);

- шкала геоцентрического координатного времени (Time Coordinate Geocentric — TCG);

- шкала земного времени (Time Terrestrial — TT).

На практике точные динамические шкалы могут быть получены только в результате изучения Солнечной системы. Однако построение идеальной равномерной шкалы времени как раз и ограничено недостаточным знанием строения Солнечной системы, достигнутой точностью наблюдения тел Солнечной системы и вычисления их положений, а также погрешностями определений моментов наблюдений.

Шкала эфемеридного времени. Это первая шкала динамического времени, введенная в 1950 г. решением Парижской международной конференции по фундаментальным астрономическим постоянным.

В настоящее время эфемеридами (от греческого слова *ephemeris* — книжка для ежедневных записей, дневник) называются таблицы, содержащие значения переменных астрономических величин, предвычисленные для ряда последовательных моментов времени. Звездные эфемериды — таблицы видимых положений звезд в зависимости от влияния ряда процессов, в частности прецессии, абберации, нутации.

Эфемеридная шкала времени представляет собой динамическую равномерную шкалу времени, соответствующую фундаментальным законам небесной динамики И. Ньютона. Конкретно ET определяется гравитационной теорией движения Земли по орбите вокруг Солнца. Эфемеридное время является аргументом (параметром) в уравнениях классической небесной механики. Пространство, в котором происходит движение тел Солнечной системы, предполагается не более чем трехмерным евклидовым пространством, а время — ньютоновским абсолютным временем.

Введение эфемеридной шкалы времени сопряжено с изменением определения единицы времени — секунды. В отличие от шкалы солнечного времени, в рамках которой секунда равна $1/86400$ части средних солнечных суток, эфемеридная секунда — $1/31556925,9747$ части тропического года для эпохи 1900.0. Следует отметить, что в астрономии эпохой называется точный момент времени наблюдения, или точный момент времени астрономического события. Началом эфемеридной шкалы является фундаментальная эпоха, обозначаемая как 1900.0 (т. е. 1900, январь 0, в 12 ч эфемеридного времени). Секунда ET более постоянна по величине, чем секунда, определяемая средними солнечными сутками. Однако имеют место трудности, связанные с ее реализацией, а также с хранением эфемеридного времени с помощью тех или иных часов.

Шкала ET использовалась для определения секунды в Международной системе единиц СИ в 1960—1967 гг. и продолжала действовать для астрономического применения вплоть до 1970 г. Основной ее недостаток — сложность практической реализации.

Другие шкалы динамического времени. Особенность систем динамического времени TDB, TDT, TCB, TCG, TT в том, что вместо преобразования координат и времени в евклидовом пространстве при переносе начала системы координат используются релятивистские преобразования, причем трехмерное пространство заменяется четырехмерным. Свойства пространства-времени в каждой точке зависят, согласно теории А. Эйнштейна, от распределения вещества в пространстве; в системе пространство-время появляется кривизна.

При обработке результатов наблюдений в рамках общей теории относительности необходимо различать два вида величин: собственные и координатные. Собственные величины рассчитываются непосредственно в результате эксперимента или наблюдения в лаборатории без каких-либо соглашений

о выборе системы отсчета, аксиом и т. д. Координатные величины (например, время и длина) зависят от выбора системы отсчета, другими словами, определяются на основе соглашения о свойствах системы отсчета.

В общей теории относительности из-за кривизны четырехмерного пространства-времени соотношение между координатными и собственными величинами не остается постоянным, а связано с положением и скоростью наблюдателя. Поэтому при переходе из одной точки пространства в другую единицы измерения собственных величин меняются. При измерениях времени это говорит о том, что соотношение между координатным временным и собственным (измеренным) интервалом зависит от положения часов наблюдателя в пространстве. При уменьшении скорости наблюдателя до нуля относительно начала отсчета и при удалении на бесконечно большое расстояние пространство для наблюдателя становится евклидовым, а собственное время — координатным.

Рекомендации по расчету влияния релятивистских эффектов в системах координатного времени даны в TF.1010-1.

Как следует из Рек. TF.686-2, истинное, или собственное, время (Proper Time) является местным временем по показаниям идеальных часов. Шкала времени, которая реализована в соответствии с концепцией истинного времени, называется истинной шкалой времени.

Земное динамическое время — это собственное время наблюдателя, измеряемое атомными часами, расположенными на поверхности геоида.

Барицентрическое динамическое время вычисляется на основе ряда уравнений и принятой метрики пространства-времени Солнечной системы. Шкала TDB — это координатное время, которое должно отличаться от TDT только периодическими членами. Однако из этого следует, что шкала TDB не реализуема, так как при ее определении требуется исключить вековое расхождение шкал времени. Из-за неоднозначности описания этой шкалы на практике предпочтение отдается шкалам координатного времени TCB и TCG.

В соответствии с Рек. TF.686-2 координатное время является концепцией времени в особой координатной структуре, действующей в пространственном регионе с изменяющимся гравитационным потенциалом. Координатное время — это время, которое показывают часы, находящиеся на бесконечно большом расстоянии и покоящиеся относительно точечной массы. Следует отметить, что практическое применение шкал координатного времени связано с определенными трудностями.

Геоцентрическое координатное время — это мера собственного времени в центре Земли. От земного времени TCG отличается постоянным коэффициентом, который является результатом имеющегося различия гравитационных потенциалов в двух эталонных точках. Шкалы координатного времени TCG и TCB были введены в системах отсчета с началом в центрах масс Земли и Солнечной системы соответственно.

В 1977 г. для учета геоцентрического феномена IAU заменил эфемеридное время на земное динамическое. В свою очередь, в 1991 г. TDT было переименовано в TT. В соответствии с Рек. TF.686-2 шкала TT является шкалой координатного времени с единицей в виде секунды земного времени (the TT second), выбранной так, что она согласуется с секундой в системе единиц СИ на геоиде. В 2000 г. IAU переопределил TT таким образом, что единица этой шкалы стала иметь фиксированное соотношение с TCG. Шкала TT отличается от шкалы TCG только линейным дрейфом. Новое определение гарантирует непрерывность понятия земного времени, поскольку старое и новое определения эквивалентны в пределах $x \times 10^{-17}$, где x равен нескольким единицам.

Шкала атомного времени. Современной шкалой времени, не связанной с движением небесных тел, является Международная атомная шкала времени (Time Atomic International — TAI), базирующаяся на феномене атомного, или молекулярного, резонанса. В ней фактическое время измеряется путем подсчета периодов частоты, зафиксированной на атомном переходе. Атомный резонансный переход с одного энергетического уровня на другой — это естественный процесс, повторяющийся с большой точностью. TAI является равномерной шкалой на длительных промежутках времени и не зависит от вращения Земли. Она используется и в астрономии, и в повседневной жизни.

Международная атомная шкала времени установлена и поддерживается Международным бюро мер и весов (BIPM) на основе данных наблюдения определенного множества атомных часов, сведения о ходе которых поступают из разных стран мира. Их эпоха установлена таким образом, что шкала TAI приблизительно согласована со шкалой UT1 по ее положению на 1 января 1958 г. Темп хода времени в шкале TAI жестко связан с определением базовой единицы времени, или временного интервала, в Международной системе единиц (секунда СИ). Секунда СИ равна длительности 9192631770 колебаний, соответствующих частоте излучения атомом цезия-133 при резонансном переходе между энергетическими уровнями сверхтонкой структуры основного состояния атома на уровне моря в условиях отсутствия внешних магнитных полей. Такое определение секунды было принято на XIII генеральной конференции по мерам и весам (CGPM) в 1967 г. В 1996 г. для исключения неоднозначной трактовки термина «на уровне моря» Международной службой вращения Земли (IERS) в качестве номинальной точки размещения атомных часов была установлена поверхность геоида с определенным значением геопотенциала. В 1997 г. Международный комитет мер и весов (CIPM) уточнил, что определение секунды связано с атомом цезия, находящимся в покое при температуре ноль градусов по Кельвину. Это сделано с тем, чтобы показать, что секунда в системе СИ базируется на атоме цезия, не возмущенном радиацией черного тела (т. е. при температуре 0 К). Поэтому в 1999 г. Консультативный комитет времени и частоты (CCTF) установил необходимость корректировки первичных эталонов частоты в части сдвига за счет окружающей тепловой радиации.

Длительность секунды TAI соответствует длительности секунды эфемеридного времени для 1900 г. с точностью порядка 2 нс.

В настоящее время нестабильность секунды TAI на интервалах времени от одного месяца до одного года равна или чуть меньше $1 \cdot 10^{-14}$. На больших интервалах усреднения нестабильность увеличивается (до $\sim 5 \cdot 10^{-14}$).

Шкала атомного времени чрезвычайно стабильна, равномерна и легко воспроизводима, однако выбор секунды атомного времени условен, как и начало отсчета времени в TAI.

В соответствии с Рек. TF.458-3 и Рек. TF.536-2 введено понятие независимого местного атомного времени $TA(k)$, которое вычисляется k -й лабораторией или обсерваторией по своим атомным часам. Каждый атомный стандарт частоты имеет собственную шкалу атомного времени. Шкала TAI формируется интегрированием по установленному закону $TA(k)$. При интегрировании частоты начало шкалы времени (нуль-пункт) остается не определенным. Следовательно, нуль-пункты различных шкал атомного времени могут не совпадать. Кроме того, разность нуль-пунктов шкал может изменяться из-за случайных и систематических погрешностей (вариаций хода) атомных стандартов частоты. Со случайными и систематиче-

скими вариациями частоты связаны две важнейшие характеристики атомных часов: нестабильность и точность.

В формировании шкалы TAI принимают участие несколько десятков институтов и лабораторий в мире, располагающих более чем 200 атомными стандартами частоты. Показания атомных часов сравниваются между собой с учетом релятивистских поправок и объединяются по специально разработанному алгоритму, позволяющему уменьшить ошибки при включении новых или удалении из обработки старых часов.

При установлении шкалы атомного времени в рамках международного соглашения было принято, что ET, а ныне TT, отличается от TAI на 32,184 с. Эта константа была получена эмпирически в результате длительных наблюдений.

Шкала пульсарного времени. Открытие пульсаров, разработка методов наблюдения и теории обработки наблюдений позволяют прогнозировать в будущем создание новой шкалы — пульсарного времени. Она будет принципиально отличаться от шкалы атомного времени и превышать ее по стабильности на длительных интервалах времени.

Шкала Всемирного координированного времени. UTC, согласно Рек. TF.460-6, представляет собой шкалу времени, которая формирует базу координированного распространения стандартных частот и сигналов времени. Она установлена BIPM и IERS и рекомендована для широкого использования, в том числе в области телекоммуникаций (Рек. TF.486-2, TF.535-2 и TF.1552).

Всемирное координированное, или согласованное, время — это время, которое, базируясь на TAI, согласовывается с Всемирным временем (связанным с суточным вращением Земли) путем введения определенных поправок. Вначале сближение шкал UT и UTC достигалось ступенчатыми сдвигами частоты (при этом менялась продолжительность секунды). Впоследствии частотные сдвиги были отменены и в шкалу UTC было добавлено понятие корректирующей, или «скачущей», секунды (leap second), которая представляет собой преднамеренный временной сдвиг на одну секунду: он используется для подстройки UTC, чтобы обеспечить приближенное согласование с UT1.

Вставляемая секунда называется положительной скачущей, а исключаемая секунда — отрицательной скачущей. Процедура, относящаяся к UTC, включая скачущие секунды, описана в Рек. TF.460-6. Результат добавления или исключения секунды представляет собой изменение показаний часов, функционирующих в системе UTC, на ± 1 с: так, чтобы разность UT1 – TC не превосходила $\pm 0,9$ с.

Положительная или отрицательная скачущая секунда, в соответствии с Рек. TF.460-6, должна быть последней секундой месяца. Первый приоритет коррекции дается 31 декабря и 30 июня, второй — 31 марта и 30 сентября. Операция с положительной скачущей секундой должна начинаться в 23 ч 59 мин 60 с и заканчиваться через дополнительную секунду в 0 ч 0 мин 0 с первого дня следующего месяца. В случае отрицательной скачущей секунды операция должна начинаться в 23 ч 59 мин 58 с и заканчиваться в 0 ч 0 мин 0 с первого дня следующего месяца, минуя 59-ю секунду конца предыдущего дня.

Таким образом, шкала UTC, по сути, является атомной шкалой, по точности соответствующей TAI, но отличающейся от нее на целое число секунд. Кроме того, если TAI — это непрерывная, то UTC — ступенчато-непрерывная шкала.

Повсеместное использование UTC службами стандартных частот и сигналов времени установлено Рек. TF.1552.

Разница TAI – UTC обозначается DTAI (Difference TAI – UTC), т.е. $DTAI = TAI - UTC$, и может рассматриваться как коррекция, которая должна быть прибавлена к UTC, чтобы достичь TAI.

В Рек. TF.460-6 также определено понятие разницы между шкалами UT1 и UTC: DUT1 (Difference UT1 – UTC), т.е. $DUT1 = UT1 - UTC$. Величина DUT1 может рассматриваться как коррекция, которая должна быть прибавлена к UTC, чтобы достичь наилучшего приближения к UT1. Прогнозируемая величина DUT1 дается IERS в количестве десятых долей секунды и распространяется в составе сигналов времени.

В соответствии с Рек. TF.458-3 и TF.536-2, здесь, как и в случае атомного времени, введено понятие времени UTC(*k*), где *k* обозначает ту или иную лабораторию либо обсерваторию. Индекс *k* был введен в 2001 г. ССТФ. В России, в частности, используется национальная ступенчато-непрерывная шкала времени UTC (SU), незначительно отличающаяся от UTC. Эта шкала привязана к шкале атомного времени TA (SU), введенной еще в СССР. Начало отсчета шкалы UTC (SU) совмещено со шкалой Всемирного времени UT1 в 12 ч Всемирного времени 1 января 1964 г., а секунда равна атомной секунде СИ.

Проблема переопределения шкалы Всемирного координированного времени. В наши дни основной официальной международной шкалой является UTC. В различных приложениях достаточно широко используются также UT1, TT и TAI. У каждой из них свои достоинства и недостатки. Свести все шкалы времени к единой шкале, которая вобрала бы в себя все достоинства и исключила недостатки, мешает следующее:

- кардинально различные взгляды на фундаментальную природу времени;
- исторические традиции, консерватизм, обусловленный привычкой использовать существующие шкалы времени;
- разнообразие требований к многочисленным приложениям, использующим шкалы времени;
- неизученность в полной мере особенностей Солнечной и других звездных систем;
- непредсказуемость вариаций скорости вращения Земли.

Тем не менее тенденция к модернизации шкал времени существовала всегда. Сегодня в ряде международных организаций, включая МСЭ, активно обсуждается реформирование шкалы UTC, которая, как указывалось в предыдущих разделах, формируется подстройкой TAI к UT1 и потому является ступенчато-непрерывной. Один из стимулов модернизировать UTC как раз и лежит в UT1. Например, ошибка на 1 с в этой шкале соответствует ошибке примерно в 500 м при определении координат объекта на поверхности Земли — в настоящее время это не устраивает многих пользователей.

С другой стороны, в некоторых технологических системах скачок фазы в момент добавления или исключения корректирующей секунды (разрыв непрерывности шкалы времени) может привести к негативным последствиям, от которых приходится защищаться. Хотя о предстоящей коррекции сообщается заранее (как правило, за 8 недель), но поскольку (несмотря на наличие рекомендованных дат) ни периодичность коррекции, ни ее знак определить раз и навсегда невозможно, то и вводить коррекцию автоматически программным способом нельзя. Поэтому многие международные организации демонстрируют заинтересованность в реформировании шкалы UTC.

Возможные решения по переопределению шкалы UTC:

- продолжать использование сегодняшней процедуры вычисления UTC. Однако к 2050 г. необходимо будет дополнительно вводить ~1,5 с каждый год;
- исключить процедуру скачущих секунд, т. е. отменить ступенчатую подстройку шкалы UTC. В этом случае к 2050 г. разность UT1 – TC достигнет 1 мин;
- изменить критерий ввода подстройки, т. е. осуществлять ее при расхождении шкал не на 0,9 с, а при другом установленном значении. Это самый простой способ, но он не решает проблемы ступенчатости UTC;
- переопределить секунду времени в системе единиц СИ;
- разработать новую модель подстройки UTC. Тогда можно будет вводить дополнительные секунды в строго определенные даты. Предполагается, что число таких дополнительных секунд удастся предварительно вычислить на основе теории вращения Земли.

Каждый из вариантов имеет свои плюсы и минусы; самым неудачным представляется переопределение секунды времени.

В последние годы проблемой переопределения шкалы UTC занимается МСЭ-Р — рабочая группа WP-7A, вопрос ITU-R 236/7. Все страны-участницы, за исключением Великобритании, в той или иной форме поддерживают идею модернизации шкалы UTC и, соответственно, Рек. TF.460-6. Однако консенсус по конкретике модернизации пока не достигнут. США, в частности, предлагают заменить «скачущую» секунду «скачущим» часом, совмещенным с переходом на летнее время.

Одно из последних предложений США — принять новую рекомендацию МСЭ-Р серии TF под названием «Внутренние шкалы времени для систем связи и навигации (Internal time scales for communication and navigation systems)». Суть ее в том, чтобы ориентироваться на непрерывную шкалу времени (аналогичную принятой в навигационной системе GPS) с точкой начала отсчета в полночь 6 января 1980 г.

Заключение. При всем многообразии шкал времени, даже с учетом их международной стандартизации, параметры всех шкал, как и параметры обыкновенных часов, сводятся к следующему набору: сущность базового периодического процесса; точность частоты хода; стабильность частоты хода в интервале времени; равномерность хода; момент начальной установки времени; точность начальной установки времени; возможность и необходимость корректировки. Именно в этих параметрах и заключается сходство и различие многочисленных шкал времени.

В наши дни для частотно-временного обеспечения телекоммуникаций рекомендована шкала UTC (Рек. TF.460-6). Тем не менее специалистам, занимающимся проблемами тактовой сетевой синхронизации сетей связи и передачи сигналов точного времени, полезно ориентироваться в основных существующих шкалах времени. Это целесообразно как с точки зрения учета всех аспектов действующих рекомендаций МСЭ, так и, особенно, в связи с дискуссией, касающейся предстоящего реформирования шкалы Всемирного координированного времени.

Получено 16.06.09

НОВОСТИ КОМПАНИЙ

Компания «МФИ Софт» объявила об увеличении производительности новых версий решений «РТУ-транзит» и «РТУ местная связь» на базе комплекса оборудования РТУ. В некоторых случаях производительность возросла более чем в два раза в зависимости от конфигурации и модели использования решения.

Повышение производительности обусловлено успешным развитием и усовершенствованием модульной архитектуры комплекса РТУ, являющегося технологической основой решений «РТУ-транзит» и «РТУ местная связь». В частности, оптимизация архитектуры блока управления коммутацией РТУ и образующих его программных модулей позволила увеличить производительность решения «РТУ-транзит» до 70 тыс. одновременных вызовов в минимальной конфигурации.

В кластере новая версия решения «РТУ-транзит» способна обрабатывать до 400 тыс. одновременных вызовов. По мере роста количества используемых серверов возможно дальнейшее увеличение производительности, что говорит о практически неограниченных возможностях масштабирования и наращивания емкости «РТУ-транзит» с сохранением стабильности функционирования системы. Возможности новой версии решения «РТУ-транзит» позволяют использовать его для создания высокопроизводи-

тельных транзитных центров в сетях крупнейших операторов с большими объемами трафика.

Новая версия решения «РТУ местная связь» также обеспечивает почти двукратное увеличение производительности с возможностью гибкого наращивания емкости по мере роста абонентской базы. Кроме того, в новой версии «РТУ местная связь» реализованы дополнительные функциональные возможности в области передачи видео, расширены варианты предоставления интеллектуальных конвергентных услуг для корпоративных и частных абонентов. Повышенная производительность и гибкая масштабируемость решения позволяют крупным операторам использовать его в масштабных проектах по развертыванию местных сетей связи в мегаполисах и предлагать абонентам пакеты новых востребованных услуг (ДВО, FMC и др.).

Особенностью новых версий решений на базе комплекса РТУ стала реализация дополнительных механизмов сопряжения с сетями TDM, расширяющих возможности интеграции решений в инфраструктуру существующих сетей операторов, состоящую из разнородного оборудования.



Компании «Синтерра-Юг» и «МФИ Софт» заключили контракт на постав-

ку решения «РТУ местная связь» для развертывания NGN-сети в Ростове-на-Дону.

Это решение обеспечит передачу любого вида трафика, что даст возможность компании оказывать расширенный спектр мультимедийных услуг и управлять качеством их предоставления. Благодаря новой сети клиенты «Синтерры-Юг» помимо традиционных телекоммуникационных услуг — местной и дальней телефонной связи, широкополосного доступа в Интернет — смогут использовать ряд дополнительных современных телекоммуникационных сервисов, таких как: виртуальные номера, интеллектуальная переадресация на различные абонентские терминалы, телефонный интерфейс на персональном компьютере, видеотелефония, голосовая почта и интегрированный универсальный обмен сообщениями.

Внедрение «Синтеррой-Юг» NGN-решения позволит операторам формировать пакеты услуг, в том числе наиболее востребованные сервисы, которые могут быть адаптированы под индивидуальные потребности каждого корпоративного клиента.

Кроме поставки программно-аппаратного комплекса, для создания NGN-сети компания «МФИ Софт» обеспечит установку собственного продукта.