

И. Е. АНТИПОВ, канд. техн. наук, В. В. БАВЫКИНА, канд. техн. наук,
Ю. А. КОВАЛЬ, докт. техн. наук, Г. В. НЕСТЕРЕНКО, канд. техн. наук, О. Л. ТРОЩИН

ПРИЁМ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ ВРЕМЕНИ И ЧАСТОТЫ ПО МЕТЕОРНОМУ РАДИОКАНАЛУ

Среди существующих в настоящее время методов передачи частотно-временной информации с использованием глобальных сверхдлинноволновых сетей, метеорных и спутниковых систем, наиболее распространённым и доступным является телевизионный метод.

В соответствии с ГОСТ 7845-79 во временном интервале шестой строки кадрового гасящего импульса каждого нечётного поля ТВ сигнала передаются эталонные сигналы частоты и времени (ЭСЧВ), содержащие эталонные сигналы частоты (ЭСЧ), времени (ЭСВ) и сигналы кода текущих значений времени (КТВ). Кроме того, строчные синхроимпульсы (ССИ) и кадровые синхроимпульсы ТВ сигнала жёстко привязаны к шкале времени [1].

Для передачи ЭСЧ используется I интервал длительностью 15 мкс. ЭСЧ передаются в виде пакетов сигналов частоты 1 МГц, начальная фаза которых привязана к телевизионным синхросигналам. Вследствие этого ЭСЧ всегда начинаются с положительной полуволны частоты 1 МГц, а временное положение её относительно импульсов шестой строки показаны на рис. 1. Для передачи ЭСВ предназначен II интервал шестой строки длительностью 12 мкс. Информацию о шкале времени несёт точка, соответствующая половине положительного фронта ЭСВ. Частота повторения ЭСВ – 1 Гц, длительность положительного фронта 0,15 - 0,2 мкс, что соответствует максимальной полосе частот видеосигнала. Для приёма этих сигналов может быть использован обычный ТВ приёмник, к которому подключается специальное устройство. Истинное время в точке приёма определяется с учётом поправки на время распространения ТВ сигнала от телецентра к приёмнику.

Основными источниками погрешности привязки шкал времени по телевизионным сигналам являются:

- погрешность измерения интервалов времени между сигналами местной шкалы времени и принятым сигналом (около 20 нс);
- нестабильность аппаратуры пункта приема (60 нс);
- погрешность определения времени распространения сигнала до антенны приемного пункта (10 нс);
- нестабильность задержки в аппаратуре телевизионных центров (примерно 40 нс);
- нестабильность задержек в трактах радиорелейной линии, которая составляет примерно $0,05N$ мкс, где N – число ретрансляционных пунктов радиорелейной линии;
- неизвестные для потребителя изменения задержек при переключениях каналов радиорелейной линии или их ремонте (могут приводить к ошибкам более 1 мкс).

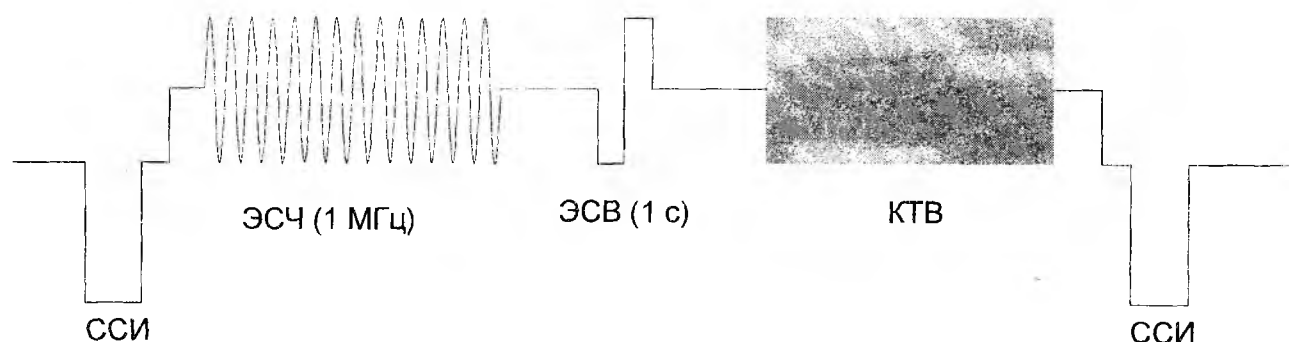


Рис. 1

Столичные телецентры, передающие первую программу государственного телевидения с сигналами времени и частоты, имеют достаточно большую мощность и работают на низкочастотных метровых каналах (в Москве ОРТ на первом частотном канале, в Киеве УТ-1 на втором, что соответствует частотам 48...66 МГц). Это даёт возможность непосредственно принимать их сигналы по метеор-

ному радиоканалу. Частотно-временная информация содержится в каждом кадре ТВ сигнала и, следовательно, повторяется каждые 20 мс. Длительность существования одного метеорного следа может составлять от нескольких десятков до нескольких сотен миллисекунд, что позволяет принимать за один сеанс сличения несколько сотен ССИ и несколько строк, содержащих ЭСВЧ. Приём сигналов КТВ и ЭСВ, передаваемых один раз в секунду, будет происходить не в каждом сеансе сличения, поэтому для грубой привязки шкал времени целесообразно использовать кадровые и строчные синхросигналы, а для точной – ЭСЧ.

Поскольку в пределах возможного метеорного распространения радиоволн (на расстояниях до 2000 км от сличаемого пункта) на одном частотном канале могут работать несколько телецентров, то для идентификации необходимого могут быть использованы сигналы опознавания места ввода испытательных строк. Они содержатся в 19 строке ТВ сигнала и представляют собой четыре импульса различной длительности. Длительность каждого импульса в микросекундах, уменьшенная на 1, соответствует десятичной цифре. Таким образом, четыре импульса представляют собой четырёхзначный десятичный код, уникальный для каждого телецентра.

Отражение метровых радиоволн от метеорных следов достаточно хорошо изучено и применяется как для передачи информации, так и для высокоточного сличения эталонов времени. Сличение по метеорному радиоканалу осуществляется методом исключения времени распространения сигнала путём посылки сигнала времени от часов вторичного эталона в пункт первичного эталона и его последующей ретрансляции в обратном направлении вместе с сигналом часов первичного эталона [2]. Этот метод основан на хорошей взаимности метеорного радиоканала (равенстве времени прямого и обратного распространения сигнала по трассе) и позволяет производить сличение с погрешностью до 1 нс на расстояниях до 2000 км [3]. Однако, для получения указанного значения погрешности требуется достаточно сложная приёмная, обрабатывающая и, что самое существенное, передающая аппаратура в обоих пунктах.

Синхронизация стандартов времени и частоты по ТВ сигналам не предполагает ретрансляции сигнала в обратном направлении, а потому не требует установки передающего устройства в пункте размещения сличаемых часов. Но если для сигнала, распространяющегося земной волной, пройденное им расстояние можно с приемлемой погрешностью считать равным расстоянию между пунктами по земной поверхности, то в случае метеорного распространения радиоволн длина пути и связанное с ним время распространения зависят от высоты и местоположения каждого конкретного метеорного следа, через который осуществляется приём в данном сеансе синхронизации. Если передатчик в пункте A отсутствует, то доступными для определения из этого пункта являются только угловые координаты метеорного следа.

Эти координаты могут быть измерены фазовым методом. Для этого в пункте приёма устанавливается антенная система, состоящая из пяти антенн, расположенных в виде "креста". Расстояние между отдельными антеннами выбирается соизмеримым с длиной волны. Отражённый от метеорного следа сигнал достигает каждой из антенн с задержками, обусловленными их пространственным разнесением. На основании информации об амплитуде, фазах и времени запаздывания отражённых сигналов в каждой из антенн относительно базовой определяются угловые координаты метеора. Этот метод использован в автоматическом угломере метеорной радиолокационной станции и позволяет определять угловые координаты метеорного следа с погрешностью не хуже 30 угловых минут [4].

Знание угла места метеорного следа позволяет определить его положение в пространстве с погрешностью, обусловленной высотой атмосферного слоя, в пределах которой возникают метеоры (80...100 км от поверхности Земли). Ошибка в определении местоположения вызывает погрешность в нахождении времени задержки, равную разности времён распространения сигнала по трассам АМТ и АМ'Т (рис. 2). В зависимости от азимута метеора (фактически в зависимости от угла между направлениями на передающий центр на метеорный след) разность расстояний АМТ и АМ'Т будет различной.

Для оценки погрешности измерения времени распространения сигнала предложенным методом была разработана и исследована математическая модель метеорной трассы. Заданными являются: координаты синхронизируемого пункта A и пункта излучения сигналов T ; диапазон высот метеорных следов $h_m = 80...100$ км; физический радиус Земли $R_0 = 6378$ км и её эквивалентный радиус (с учётом преломления в тропосфере) $R_3 = 7248$ км; измеренные с погрешностями $\pm(0,3...0,5)^\circ$ угловые координаты метеорного следа из сличаемого пункта A (угол места θ^A и азимут β^A).

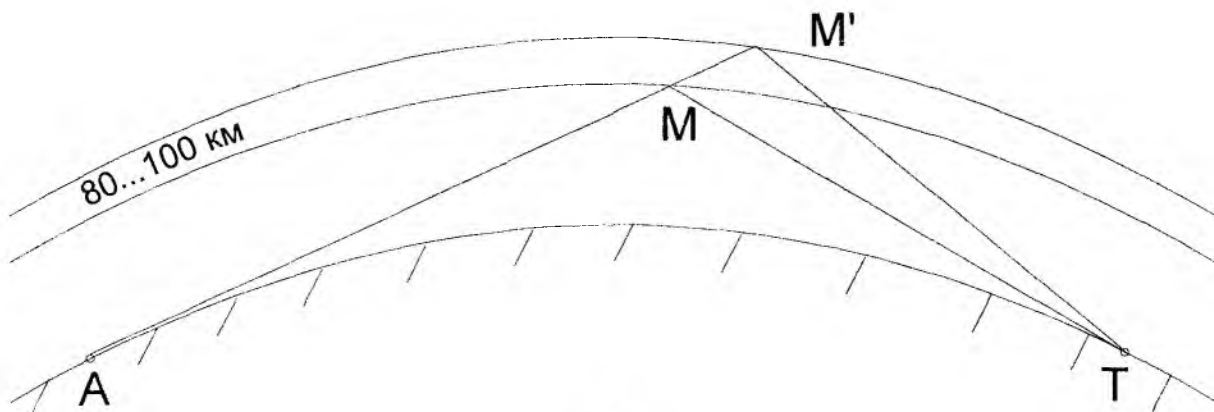


Рис. 2

Расчёт геометрии трассы выполняется с использованием соотношений сферической геометрии и состоит из нескольких этапов:

- расчёт расстояния между пунктами A и T по поверхности Земли;
- расчёт диапазонов физически реализуемых углов места и азимутов направлений, из которых могут быть приняты сигналы в пункте A , исходя из условия “прямой видимости” метеорного следа и параметров антенн в пунктах;
- расчёт расстояний между пунктами и метеорным следом (M) $TM(\theta^A, \beta^A)$ и $AM(\theta^A, \beta^A)$;
- определение времени распространения $t_p(\theta^A, \beta^A)$ и его частных производных по угловым

координатам $\frac{\partial t_p(\theta^A, \beta^A)}{\partial \theta^A}$ и $\frac{\partial t_p(\theta^A, \beta^A)}{\partial \beta^A}$.

Результаты моделирования для трассы Харьков - Москва представлены на рисунках 3-6.

Если не учитывать погрешность, обусловленную неопределённостью высоты метеорного следа и исходить из того, что все метеоры возникают на высоте 90 км, то имеются оптимальные углы места, при которых погрешность измерения задержек сигналов, вызванная ошибкой определения угловых координат метеорных следов, минимальна. На рис. 3 изображены зависимости времени задержки от угла места (в градусах), на рис. 4 – зависимости времени задержки от азимута (в градусах) для различных высот, а на рис. 5 и 6 – их производные (мкс/градус) по соответствующему углу для высоты следа 90 км. Из графиков видно, что для углов места меньше 10° погрешность измерения задержек составляет менее 0,1 мкс, а в диапазоне углов места $(10...40)^\circ$ погрешности не превышают 1 мкс при условии, что угловые координаты определяются с погрешностью в $0,5^\circ$. Погрешности минимальны при нулевом азимуте, что, однако, физически нереализуемо, поскольку для выполнения условия отражения над осью трассы метеорные следы должны иметь строго горизонтальную ориентацию, достижимую лишь при бесконечно больших скоростях частиц.

Неопределённость высоты метеорного следа (рис. 2) приводит к значительной погрешности, что видно из рассмотрения зависимостей времени задержки от угла места и азимута для различных высот (рис. 3 и 4). Такая погрешность может быть устранена путём статистической обработки результатов нескольких сеансов сличения.

Таким образом, на основании модельных расчётов можно утверждать, что приём эталонных сигналов времени и частоты по метеорному радиоканалу и статистическая обработка полученных результатов может обеспечить погрешность привязки шкал времени, не уступающую погрешности при приёме этих сигналов через радиорелейную линию.

Представленная модель и полученные на её основе результаты могут быть полезны не только для анализа приёма телевизионного сигнала, но и для других пассивных методов сличения шкал времени с использованием метеорного радиоканала. В частности, на их основе может быть оценена погрешность сличения в случае приёма сигнала существующего комплекса “Метка-6”.

В целях совершенствования предложенного метода и снижения погрешности сличения необходимо продолжать исследования в данном направлении. Следующей задачей может явиться уточнение высоты метеорного следа триангуляционным или фазовым методом с использованием антенн, разнесённых на достаточное расстояние.

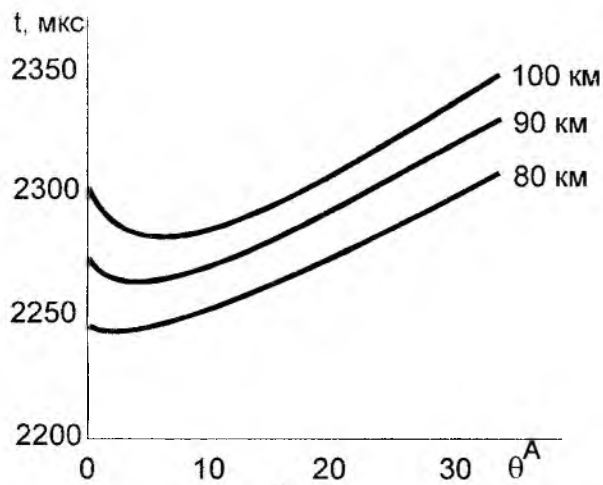


Рис. 3

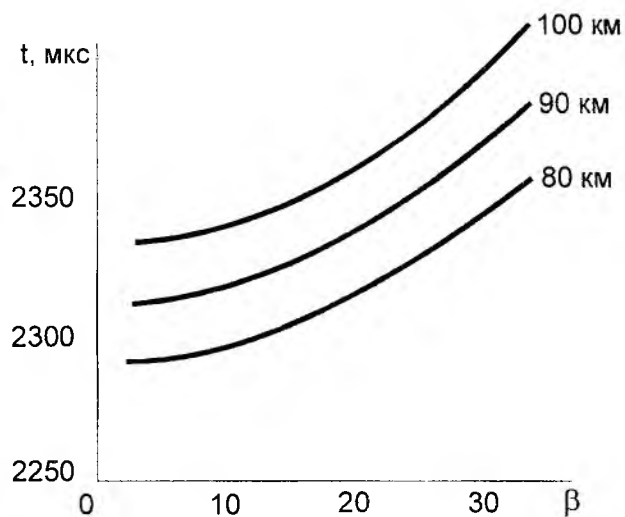


Рис. 4

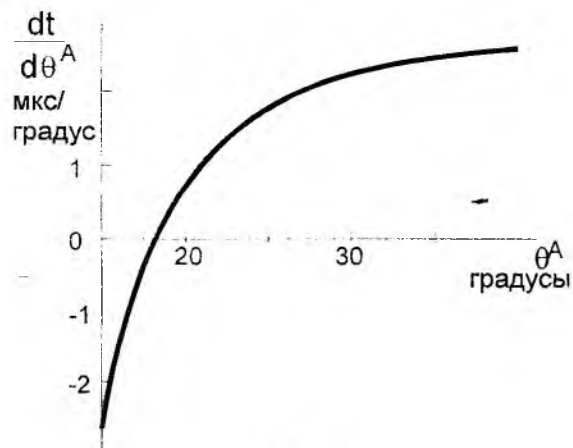


Рис. 5

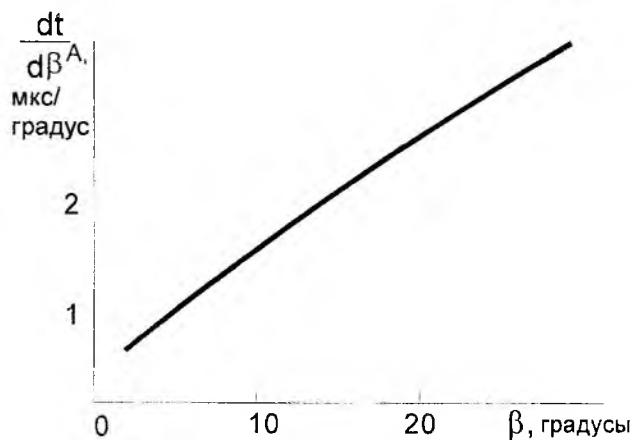


Рис. 6

Список литературы: 1. Палий Г.Н., Артемьева В.И. Синхронизация высокоточных мер времени и частоты. М.: Госстандарт, 1976. 287 с. 2. Дудник Б.С., Кащеев Б.Л., Лейкин А.Я. Использование метеорного распространения радиоволн для привязки часов пунктов службы времени и частоты. Измерительная техника. 1971. N 12. С. 38-42. 3. Кащеев Б.Л., Бондарь Б.Г., Горбач В.И., Коваль Ю.А. Метеоры сегодня. Киев: Техніка, 1996. 196 с. 4. Кащеев Б.Л., Жуков В.В. Автоматический угломер. Сообщение 1. Принципы построения / В кн. Радиотехника. Вып. 47. Харьков. 1978. С. 3-9. 5. Кривошеев М.И. Основы телевизионных измерений. М.: Радио и связь, 1989. 608 с.

Харьковский государственный технический университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 17.07.2000