

На правах рукописи

ПОПОВИЧ АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ

**ВЫСОКОТОЧНОЕ СЛИЧЕНИЕ  
ШКАЛ РАЗНЕСЕННЫХ ЭТАЛОНОВ  
ВРЕМЕНИ ПО РАДИОМЕТЕОРОННОМУ  
КАНАЛУ**

05.12.04 — Радиолокация и радионавигация

*Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук*

24.396.9

АВ 28,047

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена в Харьковском государственном техническом университете радиозлектроники.

Научный руководитель - заслуженный деятель науки Украины,  
д-р техн. наук, профессор Кашеев Б.Л.

Официальные оппоненты: д-р техн. наук, профессор Клейман А.С.  
канд. техн. наук, доцент Рондин Д.П.

Ведущая организация - Научно-исследовательский институт  
радиоизмерений Минмашпрома Украины  
(г.Харьков).

Защита состоится " 21 " октября 1993г. в 14.00 час.  
на заседании регионального специализированного совета  
К 068.37.02 при Харьковском государственном техническом  
университете радиозлектроники по адресу: 310726, г.Харьков,  
проспект Ленина, 14.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Харьковского  
государственного технического университета радиозлектроники

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1993г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
кандидат технических наук

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00802556 (Q)

В.М.Безрук

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы обусловлена растущими требованиями к точности определения времени при исследованиях космоса, земной коры и мирового океана, в радиолокации, радионавигации, связи, управлении и энергообеспечении.

Точность определения времени в значительной мере ограничивается достигнутой точностью сличения шкал разнесенных эталонов времени. Важной задачей является сличение шкал времени со среднеквадратической погрешностью (СКП) порядка единиц наносекунд.

Сличение шкал эталонов времени по радиометеорному каналу (РМК) наряду с методами, использующими перевозимые квантовые часы (ПКЧ) и искусственные спутники Земли (ИСЗ), обеспечивает в настоящее время наивысшую точность. Радиометеорный метод обладает высокой оперативностью, скрытностью, устойчивостью к ионосферным возмущениям и требует меньших материальных затрат, чем конкурирующие способы сличения.

Цель настоящего исследования - повышение точности сличения шкал разнесенных эталонов времени по радиометеорному каналу.

Повышение точности радиометеорного сличения эталонов предусмотрено программой Национального космического Агентства Украины по созданию координатно-временного обеспечения Украины.

Эта проблема являлась составной частью координационного плана научно-исследовательских работ на 1986-1990 годы и на период до 2000 года по направлению "Радиофизика и электроника", в частности, по теме 1.5.6.3 "Изучение тонкой структуры метеорного механизма распространения радиоволн с учетом рассеивания на естественных плазменных образованиях, создающих конкурирующие механизмы в радиометеорном канале для целей совершенствован-

ния и разработки прерывистых средств передачи информации и высокоточной метеорной синхронизации шкал разнесенных хранителей времени" (Государственная регистрация № 01880033441).

Актуальной научной задачей является разработка и совершенствование методов и средств сличения шкал разнесенных эталонов времени по радиометеорному каналу, обеспечивающих снижение случайной составляющей погрешности сличения.

В связи с этим необходимо решение следующих частных задач: экспериментальное исследование кратковременной фазовой неустойчивости РМК и создание математической модели канала сличения; разработка алгоритмов сличения и алгоритмов обработки результатов измерений, обеспечивающих повышение точности определения сдвига шкал времени; выбор сигнала сличения, обладающего высокими точностными характеристиками; совершенствование аппаратурных средств обработки сигналов и информации.

Научная новизна состоит в следующем.

1. Разработана математическая модель радиометеорного канала феноменологического типа, отражающая основные статистические закономерности наклонного метеорного распространения радиоволн.

2. Выполнено экспериментальное исследование кратковременной фазовой неустойчивости РМК с помощью высокоточной фазовой аппаратуры с двухчастотным сигналом.

3. Предложены совместные и комбинированные алгоритмы сличения, позволяющие снизить погрешность, вызванную неустойчивостью канала; разработан вариант встречного алгоритма, позволяющий совместить процессы сличения и передачи информации без увеличения погрешности сличения и повысить точность и оперативность определения сдвига шкал времени.

4. Выполнен анализ зависимости точности сличения от вида и параметров дискретных частотных сигналов и устройств определения временного положения (ОВП) сигнала.

#### Практическая ценность работы

Разработанная математическая модель РМК позволила прогнозировать качество сличения для различных трасс, технических характеристик аппаратуры, времени суток и года и отрабатывать алгоритмы статистической обработки результатов сличения.

Результаты исследования кратковременной фазовой нестабильности канала были использованы при создании более точных алгоритмов сличения, при проектировании приемно-регистрирующей аппаратуры. Они также могут найти применение в радиометеорных системах другого целевого назначения.

Реализация в системе сличения нового варианта встречного алгоритма позволила расширить сферу применения системы сличения и использовать ее для передачи информации любого рода.

Технические решения и выработанные рекомендации по выбору параметров сигналов сличения и устройств их обработки могут быть использованы в системах радиолокации, радионавигации и передачи информации, где необходимо высокоточное определение временной задержки сигнала.

#### На защиту выносятся следующие основные положения.

1. Математическая модель радиометеорного канала, позволяющая прогнозировать качество сличения для различных трасс, сезонов года, времени суток и технических параметров аппаратуры.

2. Методика и результаты экспериментального исследования кратковременной фазовой нестабильности РМК.

3. Вариант встречного алгоритма сличения, обладающий повышенной оперативностью и точностью, что достигается за счет

совмещения процессов сличения и передачи информации без увеличения погрешности сличения, а также алгоритмы сличения, позволяющие существенно снизить характерную для ретрансляционных алгоритмов погрешность, вызванную кратковременной нестабильностью временной задержки сигнала в канале.

4. Результирующий показатель качества алгоритма сличения, учитывающий случайную составляющую погрешности единичного измерения, оперативность алгоритма сличения, а также наличие погрешности, вызванной нестабильностью временной задержки сигнала в канале.

5. Алгоритмы статистической обработки результатов измерений, обеспечивающие повышение точности определения сдвига шкал времени за счет учета неравноточности единичных измерений в течение существования метеорного радиоотражения и на различных метеорах, коррелированности измерений в пунктах сличения и возможных отличий распределений от нормального закона.

6. Технические решения, связанные с обработкой сигналов, включая фиксацию временного положения, направленные на снижение аппаратной погрешности сличения и расширение функциональных возможностей системы путем совмещения сличения и передачи информации.

#### Реализация результатов исследований

Основные результаты работы были использованы в следующих научно-исследовательских работах, проводившихся в Проблемной научно-исследовательской лаборатории радиотехники (ПИИЛ РТ) Харьковского государственного технического университета радиоэлектроники (ХГТУРЕ):

1.8.12.10 "Поиск и разработка радиометеорных методов синхронизации разнесенных хранителей времени, обеспечивающих

высокую точность сличения" (государственная регистрация № 01870011689, г.Харьков, ХГТУРЭ, 1988г.).

1.5.6.2. Сведения об этой теме приведены выше.

87-2 ("Тропа-ГС"). "Исследование возможностей создания аппаратуры для сличения шкал времени по радиометеорным каналам связи с погрешностью менее 10 нс и передачи дополнительной информации" (г.Харьков, ХГТУРЭ, 1991г.).

Основные результаты также нашли применение при создании в Украинском научно-производственном центре стандартизации, метрологии и сертификации (УкрЦСМ, г.Киев) пункта высокоточного сличения шкал времени по радиометеорному каналу в 1993г.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на первой и второй Всесоюзных научно-технических конференциях "Методы представления и обработки случайных сигналов и полей" (г.Туапсе, 1989, 1991 гг.), на четвертом Всесоюзном симпозиуме по исследованиям в области измерений времени и частоты (г.Москва, 1990г.), на международной школе-семинаре "Проектирование автоматизированных систем контроля и управления сложными объектами" (г.Туапсе, 1992г.), на научно-технических конференциях ХГТУРЭ (1988-1993 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 работ, из которых 7 статей, одно изобретение и 6 тезисов докладов.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения. Работа содержит 146 страниц машинописного текста, 39 рисунков, 15 таблиц, 5 приложений, библиографию из 136 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность диссертационного исследования; сформулированы цель и научная задача работы; освещено современное состояние теоретических и экспериментальных исследований по вопросу совершенствования радиометеорного сличения эталонов времени; представлены основные положения, выносимые на защиту, а также сведения о публикации и внедрении результатов диссертационного исследования.

В первом разделе выполнен анализ современного состояния работ по радиометеорному сличению эталонов времени и намечены основные пути повышения точности систем сличения.

Показаны основные особенности наклонного рассеивания радиоволн метеорными ионизациями: высокая направленность; дальность, достигающая примерно 2200 км; сравнительно низкие энергетические потери; случайный характер момента и места появления метеоров и времени их существования; широкополосность канала (несколько мегагерц); различный механизм рассеивания энергии следами насыщенного и ненасыщенного типов.

Рассмотрено представление о радиометеорной системе сличения (РМСС) как о совокупности пространственно разнесенных радиометеорных станций, использующих для связи РМК. Указаны важнейшие показатели качества РМСС (погрешность сличения, помехозащищенность, электромагнитная совместимость, обобщенный показатель) и ее целевое назначение в системах частотно-временного и координатно-временного обеспечения.

Определены цель, научная задача диссертационного исследования и показана их актуальность.

Выделены основные виды погрешностей радиометеорного сличения: трассовая погрешность, вызванная особенностями распро-

странения радиоволн по РМК; помеховая погрешность, обусловленная конечностью отношения сигнал-помеха; алгоритмическая погрешность, зависящая от совершенства алгоритма сличения; аппаратная погрешность; погрешность, обусловленная взаимным ходом шкал эталонов; дополнительная информационная погрешность, возникающая при передаче дополнительной информации сигналами сличения.

На основании декомпозиции системы сличения и анализа источников погрешностей определены основные пути решения научной задачи, направленные на снижение трассовой, помеховой, аппаратной и дополнительной информационной погрешностей, на разработку и совершенствование алгоритмов сличения и алгоритмов обработки измерительной информации.

Отмечено, что кратко временная нестабильность и невязанность РМК определяют трассовую погрешность сличения. Выделены основные причины кратковременной фазовой нестабильности: дифракция на образующемся метеорном следе; ветровое перемещение отражающей области; диффузионное расширение и резонанс в метеорном следе; многолучевое распространение радиоволн. По результатам предшествующих экспериментальных исследований показано, что кратковременная фазовая нестабильность не превосходит  $30\mu\text{рад}\cdot\text{с}^{-1}$  на несущей частоте около 60 МГц. Указано на недостаточную точность и различные условия проведения экспериментов. Сделан вывод о необходимости постановки эксперимента по измерению кратковременной фазовой нестабильности РМК.

Проведен анализ погрешностей основных алгоритмов сличения, который показал необходимость повышения оперативности встречного алгоритма (ВА) и снижения погрешности, вызванной нестабильностью временной задержки сигнала в канале, характерной для дуплексного ретрансляционного (ДРА) и опорно-ретрансляционного

(СРА) алгоритмов.

На основании аналитического обзора сигналов сличения и помех определены основные методы снижения помеховой и аппаратурной погрешности сличения: использование фазового принципа измерения временно. задержки; выбор вида и параметров сигнала сличения, максимизирующий эффективную частоту и обеспечивающий устранение фазовой неоднозначности; снижение потерь точности в устройствах обработки сигналов, включая устройства временной фиксации.

Во втором разделе рассмотрена методика и результаты исследований радиометеорологического канала и алгоритмов сличения.

Выполнено экспериментальное исследование кратковременной фазовой нестабильности РМК с использованием высокоточной аппаратуры с двухчастотным сигналом. Получены результаты измерений

$\tau_{pl}$  временных задержек сигналов по измерениям фазы колебаний несущих частот 57 и 58 МГц и разностной частоты.

Исследованы линейные регрессионные модели первого и второго порядков, параметры которых  $\beta_1 = d\tau_p/dt$ ,  $\beta_2 = d^2\tau_p/dt^2$  характеризуют кратковременную нестабильность канала. Получены гистограммы и параметры эмпирических распределений  $\beta_1$  и  $\beta_2$ . Для измерений на частоте 58 МГц абсолютные значения коэффициентов  $\beta_1$  и  $\beta_2$  модели второго порядка не превосходят соответственно  $2,8 \cdot 10^{-7}$  и  $4,7 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$ . По результатам эксперимента показано, что максимально возможное изменение временной задержки принимаемого сигнала за полпериода сличения составляет около 3 нс.

Разработана математическая модель РМК феноменологического типа, для которой отображение вход-выход задается соотношением:

$$z(t) = \mathcal{L}[u(t)] + n(t),$$

где  $u(t)$  и  $z(t)$  - входной и выходной сигналы;

$n(t)$  - аддитивная помеха;

$\mathcal{L}$  - линейный стохастический оператор.

Показано, что полезная составляющая на выходе канала определяется выражением

$$S(t) = \sum_{l=1}^{N_M} \sum_{k=1}^{m_l} \mu_l P_l[(k-1)T] \cdot u[t - t_l - (k-1)(\alpha_{li} + 1)T] \times \\ \times \cos\{(\omega_0 - \omega_0 \beta_{li})t + \theta[t - t_l - (k-1)(\alpha_{li} + 1)T] + \varphi_l\},$$

где  $N_M$  - число зарегистрированных метеоров;

$m_l = \text{int}(\tau_{mi} / T)$  - число сличений на  $l$ -м метеоре;  $\tau_{mi}$  -

- длительность метеорного радиотражения;  $t_l$  - момент времени появления метеорного радиотражения;  $T$  - период сличения;

$\mu_l$  - максимальное значение коэффициента передачи канала на  $l$ -м метеоре;  $P_l$  - весовая функция, учитывающая изменение

амплитуды принимаемого сигнала в течение  $l$ -го метеора;

$u(t)$ ,  $\theta(t)$ ,  $\omega_0$  - соответственно функции амплитудной, фазовой

модуляции и несущая частота излучаемого сигнала;  $\omega_0 \beta_{li}$ ,  $\varphi_l$  - доплеровский сдвиг частоты и начальная фаза сигнала, отраженного от  $l$ -го метеора.

Рассмотрены вероятностные характеристики численности, длительности максимальной амплитуды и доплеровского сдвига частоты метеорных радиотражений и их временные, частотные и пороговые зависимости.

Предложена для построения имитатора РМК функциональная модель, состоящая из устройства управления, амплитудного модуля-

тора, фазового модулятора, устройства временной задержки и сумматора.

Для совершенствования встречного алгоритма использовано его представление в виде взвешенного ориентированного графа  $\Gamma < (V, W), L >$ . Здесь  $V = \bigcup_i V_i$  - множество вершин графа, отражающих функциональные преобразования в системе,  $W$  - матрица весов вершин графа, соответствующих времени выполнения преобразований, а  $L = \bigcup_{i,j} L_{ij}$  - множество направленных дуг, устанавливающих порядок выполнения преобразований. Показано, что оптимизация графа (повышение оперативности алгоритма) приводит к совмещению во времени процессов сличения и обмена информацией.

Разработан новый вариант ВА сличения, обладающий повышенной точностью и оперативностью. В соответствии с алгоритмом из каждого пункта сличения передают корреспонденту информацию об измеренном значении временной задержки принятого сигнала путем симметричной относительно реперных меток времени фазоимпульсной модуляции сигнала сличения. Доказано, что при таком способе передачи информации минимизируется дополнительная информационная погрешность.

Предложены совместные и комбинированный ретрансляционные алгоритмы сличения, снижающие погрешность, обусловленную нестабильностью канала. Алгоритмы являются двуцикловыми. Согласно совместным алгоритмам в первом цикле по одному из ретрансляционных алгоритмов в пунктах сличения измеряют сдвиг шкал времени. Во втором цикле передают результат измерения корреспонденту и получают от него аналогичный результат. Показано, что при совместной обработке результатов измерений, полученных в двух пунктах, происходит компенсация погрешности, обусловленной нестабильностью временной задержки в РМК.

В соответствии с комбинированным алгоритмом в первом цикле определяют сдвиг шкал времени, например, по ДРА, а во втором - по ОРА. При совместной обработке двух результатов происходит компенсация погрешности, вызванной нестабильностью временной задержки в канале.

Для сравнения алгоритмов сличения предложен результирующий показатель качества в виде

$$K_{рез} = \Delta_{нс}^2 + \sigma_T^2 / N_{ср},$$

где  $\Delta_{нс}$  - погрешность, обусловленная кратковременной нестабильностью РМК;  $\sigma_T$  - СКП единичного измерения сдвига шкал времени;  $N_{ср}$  - число единичных измерений на временном интервале сравнения.

Выполнено сравнение всех рассмотренных алгоритмов сличения по результирующему показателю качества. Показано, что наиболее предпочтительным является ВА с обменом информацией по совмещенному каналу.

Третий раздел посвящен исследованию методов снижения помеховой и аппаратурной погрешностей.

С целью минимизации помеховой погрешности рассмотрены критерии выбора сигнала сличения: максимума потенциальной точности, минимума неоднозначности, минимума суммарной СКП и др.

Анализ сигналов по рассмотренным критериям показал предпочтительность применения в РМСС сложных сигналов с кнопочной функцией неопределенности, в частности, дискретных составных частотных сигналов.

Определена минимальная погрешность сличения для РМСС с дискретными составными частотными сигналами, состоящими из ортогональных элементов с произвольными параметрами

$$\sigma_r = K_{ac} \left\{ q \left[ \sum_{i=1}^N d_i (\Delta \omega_{эф i}^2 + \omega_i^2) \right]^{1/2} \right\}^{-1}$$

где  $K_{ac}$  - коэффициент, зависящий от алгоритма сличения;  
 $q$  - отношение сигнал-помеха по напряжению;  $\Delta \omega_{эф i}, \omega_i$  - эффективная ширина спектра и частотное смещение энергетического центра  $i$ -го элемента;  $d_i$  - его энергетический вклад.

С целью минимизации случайной составляющей аппаратурной погрешности рассмотрен выбор полосы пропускания фильтра при квазиоптимальной обработке радиоимпульса с немодулированным гармоническим заполнением и прямоугольной огибающей по критерию минимума суммарной СКП.

Показано, что для идеального полосового фильтра при условии неизменности параметров сигнала оптимальным является значение полосы пропускания  $2\Delta f_n = 1,63/\tau_u$ , при котором достигается минимум суммарной СКП при любом используемом числе элементов разрешения в широком диапазоне значений  $q$ . Определено, что при обработке указанного сигнала контуром значение оптимальной полосы пропускания зависит от числа элементов разрешения и отношения сигнал-помеха. Так при  $q = 10$  с увеличением числа элементов разрешения от 1 до  $10^4$  оптимальное значение полосы снижается от  $2,86/\tau_u$  до  $0,58/\tau_u$ .

Теоретически проанализирована зависимость СКП от уровня фиксации методов определения временного положения сигнала по переднему фронту, по двум фронтам и по нулевому переходу разностного сигнала при воздействии на входы фиксаторов сигналов колокольной формы и вида  $\sin x/x$  и полосового гауссовского шума.

Для метода фиксации по нулевому переходу разностного сигнала, обеспечивающего наибольшую точность среди трех рассмот-

ренных фиксаторов, рекомендовано выбирать значение параметра задержки линии в диапазоне от 0 до  $\sqrt{2}a$  для колокольного сигнала и от 0 до  $4/\tau_u$  для импульса вида  $\sin \alpha / \alpha$ . Здесь  $\alpha$  - половина длительности колокольного сигнала по уровню  $e^{-0.5}$ ,  $\omega_M$  - половина ширины спектра импульса вида  $\sin \alpha / \alpha$ .

По результатам имитационного моделирования для сигнала колокольной формы определены точностные характеристики методов ОВП по одному и по двум фронтам с использованием абсолютного и относительного уровней, по нулевому переходу разностного сигнала, по фазовому спектру и по максимуму сигнала на выходе согласованного фильтра. Показано, что предпочтительными для реализации в системе сличения являются методы ОВП по фазовому спектру и по нулевому переходу разностного сигнала, которые при  $Q = 10$  обеспечивают выигрыш в точности соответственно в 5,9 и 5,4 раз по сравнению с фиксацией по переднему фронту с использованием абсолютного уровня.

В четвертом разделе предложены алгоритмы статистической обработки результатов измерений, учитывающие такие особенности радиометорного сличения, как неравноточность измерений в течение существования отражения энергии от метеорного следа и от метеора к метеору, коррелированность измерений в различных пунктах сличения и отклонения распределений результатов измерений от нормального закона.

Разработаны алгоритмы весовой обработки в один и два этапа, которые по результатам обработки экспериментальных данных позволили снизить СКП единичного измерения сдвига часа времени за сеанс соответственно в 1,5 и 4,1 раза. Предложено выбирать весовые коэффициенты пропорциональными отношению сигнал-помеха или обратно пропорциональными дисперсии результата измерения на метеоре.

Показано, что с учетом коэффициента корреляции использованные совместной обработки результатов измерений, полученных в двух пунктах сличения, позволяет снизить СКП результата измерения за сеанс в 1,2 раза.

Результаты анализа эффективности робастных методов оценивания сдвига шкал времени показывают, что наименьшую СКП имеет объединенная оценка, полученная как медиана среднего арифметического, середины размаха, усеченного среднего, медианы и полусуммы квантилей. Среди "простых" оценок предпочтительны робастные оценки типа усеченное среднее и "винзоризованное" среднее.

Пятый раздел посвящен аппаратурно-алгоритмической реализации предложенных методов повышения точности радиометеорологического сличения.

Рассмотрены структура, режимы функционирования и технические характеристики автоматизированной РМСС с расширенными функциональными возможностями "Метка-10". Отмечается, что эта система реализует предложенный вариант встречного алгоритма и обеспечивает сличение с погрешностью менее 10 нс и передачу по РМК информации как в интересах сличения, так и дополнительной.

Описано взаимодействие аппаратуры "Метка-10" с ЭВМ, на которую возложены функции управления, контроля и калибровки, цифровой обработки сигналов, обработки и представления информации.

Приводятся описание структуры и основные технические данные высоко точной фазовой аппаратуры и системы сличения "Метка-8".

В заключении приведены основные результаты работы.

В приложении указывается конкретное участие диссертанта в подготовке и написании научных статей и докладов, выполненных в соавторстве.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Создана математическая модель радиометеорного канала феноменологического типа, позволяющая прогнозировать погрешность сличения для различных трасс, времени года, суток и технических параметров аппаратуры.

2. По результатам экспериментального исследования кратковременной фазовой нестабильности РМК показано, что скорость изменения фазовой задержки сигнала в канале не превосходит  $2,8 \cdot 10^{-7}$ .

3. Разработаны совместные ретрансляционные и комбинированный алгоритмы сличения, позволяющие существенно снизить погрешность, вызванную кратковременной нестабильностью временной задержки сигнала в канале.

4. Предложен новый вариант встречного алгоритма сличения, обладающий повышенной оперативностью и точностью, что достигается за счет совмещения процессов сличения и передачи информации о временном запаздывании принимаемых сигналов без увеличения погрешности сличения.

5. Предложен результирующий показатель качества алгоритма сличения, учитывающий случайную составляющую погрешности единичного измерения, оперативность алгоритма сличения, а также наличие погрешности, обусловленной нестабильностью временной задержки сигнала в канале.

6. Получена оценка потенциальной точности измерения временного положения дискретного составного частотного сигнала с произвольными параметрами элементов.

7. Выработаны практические рекомендации для выбора полос пропускания квазиоптимальных фильтров; предложено использовать в устройствах определения временного положения методы измерений

по фазовому спектру и по нулевому переходу разностного сигнала.

8. Разработаны весовые и робастные алгоритмы обработки результатов измерений, учитывающие неравноточность единичных измерений в течение существования метеорного радиоотражения и от метеора к метеору, коррелированность измерений в различных пунктах сличения, возможные отличия распределений результатов от нормального закона.

9. Создана РМСС, в которой реализованы основные рекомендации диссертанта, обладающая расширенными функциональными возможностями и обеспечивающая сличение с погрешностью менее 10 нс и передачу по РМК информации.

Всего по теме диссертации опубликовано 14 научных работ. Список основных из них приведен ниже.

1. Бавыкина В.В., Коваль Ю.А., Попович А.В. Выбор полосы пропускания квазиоптимального фильтра по критерию минимума погрешности фиксации временного положения радиосигнала // Радиотехника. - Харьков, 1987. - Вып. 80. - С. 30-35.
2. Бавыкина В.В., Коваль Ю.А., Попович А.В. Исследование возможностей применения весовой обработки измерительной информации при радиометеорной синхронизации шкал эталонов времени // Радиотехника. - Харьков, 1991. - Вып. 94. - С.38-44.
3. Попович А.В. Алгоритмы обработки измерительной информации в радиометеорных системах синхронизации эталонов времени // Харьк. ин-т радиоэлектрон. - Харьков, 1992. - 15 с. - Деп. в УкрИНТЭИ 7.09.92, № 1395-Ук92.
4. Коваль Ю.А., Попович А.В. Корреляционный анализ погрешностей радиометеорной синхронизации шкал времени // Харьк. ин-т радиоэлектрон. - Харьков, 1992. - 17 с. - Деп. в УкрИНТЭИ 14.08.92, № 1239-Ук92.

5. Бавыкина В.В., Коваль Д.А., Попович А.В. Когерентные дискретные частотные сигналы в системах с высокоточным определением временной задержки // Харьк. ин-т радиоэлектрон. - Харьков, 1992. - II с. - Деп. в УкрИНТЭИ 14.08.92, № 1248-Ук92.
6. Дудник Б.С., Кашеев Б.Л., Коваль Д.А., Попович А.В. Исследование кратковременной фазовой нестабильности метеорологического радиоканала сличения эталонов времени // Харьк. ин-т радиоэлектрон. - Харьков, 1992. - I5 с. - Деп. в УкрИНТЭИ. 17.08.92, № 1273-Ук92.
7. Коваль Д.А., Попович А.В., Дорошенко А.В. Анализ точности методов фиксации временного положения сигналов // Харьк. ин-т радиоэлектрон. - Харьков, 1993. - I4 с. - Деп. в УкрИНТЭИ 10.03.93, № 443-Ук93.
8. Горбач В.И., Кашеев Б.Л., Нестеренко Г.В., Попович А.В. Способ синхронизации пространственно разнесенных шкал времени при передаче дополнительной информации и устройство для его осуществления. - Полож. решение от 30.03.92 по заявке № 4888990/09/1170141. МКИ<sup>4</sup> G04C 11/02. Приор. 6.12.90.
9. Бавыкина В.В., Кашеев Б.Л., Коваль Д.А., Попович А.В. Моделирование метеорологических систем сличения эталонов времени // Тез. докл. Всес. научно-техн. конф. "Методы представления и обработки случайных сигналов и полей". - Харьков, 1989. - С.42.
10. Дудник Б.С., Кашеев Б.Л., Нестеренко Г.В., Попович А.В. Автоматизированная радиометеорологическая система сличения шкал времени с гибкой структурой // Тез. докл. Всес. симпозиум по исследованиям в области измерений времени и частоты. - М., 1990. - С.158.

*Попович*

---

Подписано к печати 8.9.93г.

Объем I,25 печ.л.

Уч. - изд.л. I

Формат бумаги 60x84

Тир. 120 экз.

Зак. 2/1039

AB 28.077

**AB 28.077**