

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций
Кафедра «Радиотехника и телекоммуникации»

Работа допущена к защите

Зав. кафедрой РИТК

Сороцкий В.А.

« ____ » _____ 2015г.

ВЫПУСКНАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема: Система проводки судов в разводку мостов Санкт-Петербурга

Направление: 11.03.01 Радиотехника

Выполнил студент гр. 43422/1

(подпись)

Ю.С. Гураль

Руководитель, к.т.н., доц.

(подпись)

А.К. Шашкин

Санкт - Петербург

2015

Реферат

Работа содержит 45 страницы, 20 рисунков, 7 библиографических названий.

Ключевые слова:

РАДИОНАВИГАЦИЯ

РАДИОСТАНЦИЯ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ

СУДОВОЖДЕНИЕ

РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНАЯ СИСТЕМА

ПЕЛЕНГАТОРНАЯ СИСТЕМА

УЛЬТРАКОРОТКИЕ ВОЛНЫ

Объектом исследования являются малотоннажные суда и яхты, не оснащенные стандартными средствами передачи данных береговым центрам.

Цель работы состоит в разработке системы проводки судов в разводку мостов по реке Нева, обеспечивающей определение местоположения судна с помощью УКВ радиосвязи.

В ходе исследования выбран алгоритм решения задачи радионавигации судов, обеспечивающий максимальную точность для отдельных групп участков акватории Невы, разработана структура системы, рассчитаны аппаратные средства, предложена подсистема синхронизации компонентов системы, вычислены статические и динамические характеристики приемного тракта радиостанций УКВ диапазона «Kenwood» и «Пульс», а также разработана модель канала связи на примере передачи речевого сигнала.

Задание на выпускную квалификационную работу выполнено в полном объеме.

Оглавление

Введение.....	4
1. Структура системы проводки судов	7
2. Характеристики системы определения местоположения судов	
2.1 Обзор методов определения местоположения	10
2.2 Анализ точности определения местоположения на участках акватории Невы первой группы	
2.2.1 Фарватер и измерение пеленга.....	16
2.2.2 Фарватер и измерение разности дальностей	17
2.2.3 Измерение двух пеленгов	18
2.2.4 Измерение двух разностей дальностей	19
2.2.5 Измерение пеленга и разности дальностей.....	20
2.3 Анализ точности определения местоположения на участках акватории Невы второй группы	23
2.4 Определение методов решения задачи определения местоположения.....	26
3. Синхронизация пунктов системы	
3.1 Структура подсистемы синхронизации... ..	27
3.2 Принцип работы подсистемы синхронизации	30
4. Анализ погрешностей каналов связи	
4.1 Флуктуационные характеристики приемных трактов УКВ радиостанций	33
4.2 Результаты измерения характеристик радиоприемников	36
5. Моделирование канала связи.....	41
Заключение.....	44
Список литературы.....	45

Введение

Необходимость системы обеспечения проводки судов в разводку мостов Санкт-Петербурга Северо-западным речным пароходством (СЗРП) особенно остро ощущается в последние десятилетия в связи с возрастающей интенсивностью движения судов.

Сложные условия прохода судов по рекам в черте города, связанные с непосредственной близостью судов друг к другу, являются предпосылкой увеличения аварийности. Причинами большинства навигационных аварий служат недостаток навигационной информации, малое время для обработки и анализа информации, ошибки судоводителей. Уменьшение аварийности может быть достигнуто путем модернизации средств и методов проводки судов по рекам Санкт-Петербурга.

В целях повышения уровня безопасности мореплавания, эффективности судоходства, а также охраны жизни создаются и действуют системы управления движением судов (СУДС). Основными видами технических средств СУДС, обеспечивающих получение информации о навигационной обстановке в районе действия системы, являются:

- средства голосовой ОВЧ радиосвязи с судами;
- береговые радиолокационные станции (БРЛС);
- автоматическая идентификационная система (АИС);
- системы телевизионного наблюдения;
- ОВЧ радиопеленгаторы;
- метеорологические и гидрологические приборы [1].

Все виды технических средств выполняют функции контроля и организации движения судов, передачи навигационной и иной информации о судне и его грузе в береговые центры управления, оказания помощи в судовождении.

В процессе проводки в черте города суда не могут применять радиолокационную технику. Однако для повышения уровня безопасности в судоходстве разработана

Автоматическая идентификационная система (АИС), служащая для идентификации судов, передачи статической, динамической и рейсовой информации с помощью радиоволн диапазона УКВ и глобальной навигационной спутниковой системы. АИС, согласно международной конвенции по охране человеческой жизни на море SOLAS 74/88, является обязательной для судов водоизмещением свыше 300 регистровых тонн, совершающих международные рейсы, судов водоизмещением более 500 регистровых тонн, не совершающих международные рейсы, и всех пассажирских судов [2]. Для передачи и приема информации в АИС используется ОВЧ (УКВ) диапазон, выделены частоты 161,975 и 162,025 МГц [3].

В данной работе будет рассмотрена проблема проводки так называемых малотоннажных судов с меньшим водоизмещением – моторные суда (кроме гидроциклов) и крейсерские яхты, занимающиеся коммерческой, прогулочной и спортивной деятельностью.

Правильность прохождения судов должна быть проконтролирована службой диспетчерского управления проводки судов. В том случае, когда на судах имеются технические средства определения местоположения, такие, как GPS, далеко не все суда оборудованы средствами передачи координат местоположения на диспетчерский пункт по его запросу.

В тоже время все суда оборудованы средствами радиосвязи в выделенном для судов диапазоне радиочастот. Это позволяет строить системы определения траектории движения судов, основываясь на сигналах их радиостанций. Существующая структура организации связи позволяет создать, при определенной доработке технических средств наземного базирования, систему определения местоположения судов с их идентификацией.

На территории России УКВ связь на речном транспорте осуществляется в диапазонах частот 300,0125-300,5125 МГц и 336,0125-336,5125 МГц, разбитых на частотные каналы с интервалами в 25 кГц. Поддиапазоны 300,0125-300,200 МГц и 336,0125-336,200 МГц используются для оперативной симплексной связи, 300,225-300,5125 и

336,225-336,5125 МГц - для дуплексной связи с береговыми радиостанциями. «Морской» диапазон: 156,050 – 162,025 МГц. Суда смешанного типа «река-море» работают в обоих диапазонах частот.

Разработка системы для целей СЗРП не сужает существенно возможностей других применений: определение местоположения передатчика – постановщика помех, идентификация излучающих технических средств, введение услуги определения местоположения в широко применяемых системах радиального и радиально-зонального типа и т.п. Другие использования аналогичны, требования к подсистемам близки, технические решения могут быть теми же.

В работе рассматривается радиотехническая система контроля и проводки судов в разводку мостов Санкт-Петербурга, и решаются следующие задачи:

- Определение алгоритмов измерения параметров местоположения судов;
- Разработка подсистемы синхронизации пунктов приема и обработки сообщений;
- Анализ точностных характеристик радиоканала связи;
- Моделирование радиоканала связи;
- Определение задачи дальнейших исследований.

1. Структура системы проводки судов

Система проводки судов решает задачу идентификации и определения местоположения на участке р. Невы и ее рукавов от устья р. Славянка до Финского залива. Погрешность определения местоположения судов - не более 100 м. Число проводимых судов в разводку мостов - не более 50.

Данная система имеет следующие два компонента: контрольные пункты (КП) и центр управления (ЦУ). КП – приемопередающие станции, расположенные на мостах (в подмостных помещениях) и предназначенные для выделения из принятых сигналов параметров - признаков идентификации объекта - и доставки их в центр управления процессом для определения навигационных параметров. ЦУ – береговая аппаратура управления передающими станциями. ЦУ расположен по адресу Шпалерная ул., 4 на пересечении с Чернышевской улицей. ЦУ имеет вычислительные средства (IBM PC AT), средства радиосвязи в диапазоне СЗРП и линии проводной и радиосвязи с мостами р. Невы (поэтому КП целесообразно располагать на мостах).

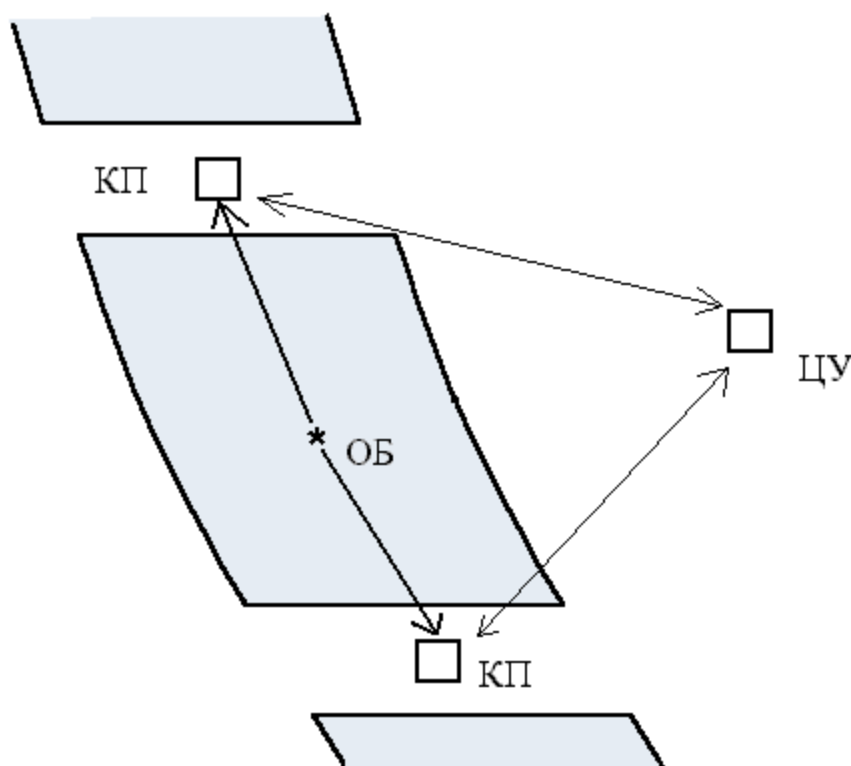


Рисунок 1 - Схема расположения пунктов системы

В режиме ожидания проводки суда (объекты) выстраиваются у причалов "Устье р. Славянка" и "Набережная лейтенанта Шмидта". Диспетчер поддерживает служебную радиосвязь с ОБ. Это делает возможным проводить в процессе радиообмена "обучение" алгоритмов идентификации. В процессе непосредственного движения (проводки) суда осуществляют радиообмен между собой, кроме того, выход в эфир может быть инициирован диспетчером. Это позволяет решать задачу определения местоположения и идентификации источника излучения. Количество признаков у сигналов может быть значительным. Кроме того, современные вычислительные средства позволяют производить вычисления по выбранным признакам, как в отдельности, так и в их совокупности. К настоящему времени разработан широкий спектр программ, а разработанные каналы телеметрии и стыки с ЭВМ позволяют реализовать эти возможности. Следовательно, исходным в этом случае должен быть подход создания аппаратуры на основе средств вычислительной техники универсального типа. В нашем случае – передача исходных данных на ЭВМ типа IBM PC AT. При этом достаточно радиоканала ОБ - ЦУ и нет необходимости передавать данные для идентификации через КП.

Следующий вопрос – какие параметры сигнала ОБ следует принять в качестве исходных, дополняя их в случае необходимости, иными. Наиболее информативный параметр – девиация частоты - $\Delta\omega_0$, Следующий по информативности – средняя частота - ω_0 , далее, в рамках развития, можно включать параметры модели кратковременной нестабильности - $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_m$.

Определение навигационных параметров целесообразно основывать на измерениях направлений прихода сигнала (угломерные системы), либо на измерениях разностей прихода сигнала на различные КП (разностно-дальномерные и разностно-фазовые системы). Угломерные системы в диапазоне метровых волн в условиях города приводят к недопустимо большим ошибкам, поэтому целесообразно ориентироваться на разностные системы. Разностно-фазовые приводят к многозначности и, кроме того, ширина дорожки весьма узкая. Имеет смысл рассмотреть возможность применения в

качестве носителя навигационного параметра сигнала речи. Причем удобен для передачи по телеметрическому каналу связи КП-ЦУ клиппированный сигнал речи в смысле простоты его обработки. Для снижения влияния условий распространения на точность определения в рассматриваемой системе в КП могут быть применены направленные антенны. Такие антенны значительно уменьшают влияние отраженных от зданий и береговой черты (набережной) сигналов на суммарное поле в месте приема.

2. Характеристики системы определения местоположения судов

2.1 Обзор методов определения местоположения

Анализ различных систем и условий определения местоположения источника радиоизлучения позволяет сузить число возможных вариантов построения систем и ограничиться в дальнейшем рассмотрением пеленгаторных и разностно-дальномерных устройств в виде, соответственно, определения направления относительно определяемого объекта в точке расположения пеленгатора и определения разности дальностей относительно двух разнесенных станций.

Преимущества пеленгаторного варианта построения системы состоят в следующем: простота технической реализации; наличие серийно выпускаемых пеленгаторов; отсутствие необходимости в точной синхронизации станций; исключение трудностей, связанных с раскрытием неоднозначности измерений; необходимость передачи по каналам связи в центр управления сравнительно небольших объемов информации в виде дискретных измерений пеленгов; необходимость для определения местоположения размещения в рабочей зоне только двух пеленгаторов и т.д.

К числу недостатков пеленгаторов относится сравнительно невысокая точность измерений, составляющая для УКВ-пеленгаторов величину среднеквадратической погрешности (СКП) порядка 3° с возможностью существенного ухудшения этой точности за счет индустриальных и прочих помех, свойственных большому городу.

В пеленгаторных РНС измеряемым радионавигационным параметром является угол α (рисунок 2), погрешность его измерения $\Delta\alpha$, а линией положения является прямая ОМ. При определении направления СКП δ_l смещения линии положения в пространстве пропорциональна расстоянию от объекта до измерителя [4]:

$$\delta_l = D\delta_\alpha, \quad (1)$$

где δ_α - СКП измерения направления, D – удаление пеленгатора от подвижного объекта.

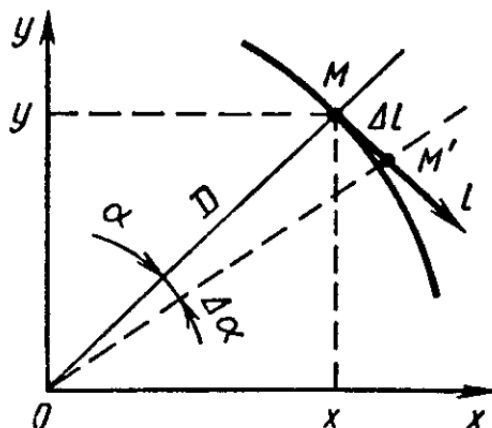


Рисунок 2 - Геометрия угломерных РНС

Поэтому для пеленгаторов точность определения местоположения будет ухудшаться с взаимным удалением подвижного объекта. При $\delta_\alpha \cong 3^\circ$ $\delta_l = 0,05D$. Таким образом, на каждые 100 м удаления объекта увеличение СКП смещения линии положения составляет 5 м.

Другой вид РНС, обусловленный измерением расстояния от излучателя до приемоиндикатора – дальномерный – в настоящее время не находит широкого применения, ввиду недопустимо больших ошибок шкалы времени, необходимой для синхронизации судовой и береговой аппаратуры. Такая точная корректировка шкалы времени требует бортового радиопередатчика и дуплексной связи [5].

Преимуществом разностно-дальномерных средств является принципиальная возможность получения более высокой точности определения местоположения за счет использования фазовых и корреляционных методов измерения навигационных параметров, хотя по своим геометрическим характеристикам, особенно при значительном удалении пеленгатора и подвижного объекта, разностно-дальномерный метод близок к угломерному.

Недостатком разностно-дальномерного метода являются: необходимость прецизионной синхронизации станций, входящих систему; необходимость раскрытия

неоднозначности при использовании фазовых измерений; потребность для определения местоположения в использовании трех приемных станций.

В разностно-дальномерных РНС измеряемым параметром является разность расстояний $D_A - D_B$ от станции A и от станции B до объекта (рисунок 3) и расстояние между станциями – база d . Здесь линия положения – гипербола. Для этого метода СКП смещения линии положения

$$\delta_D = \frac{\delta_{Dp}}{2 \sin(\psi/2)} = \frac{c\delta_\tau}{2 \sin(\psi/2)}, \quad (2)$$

где δ_{Dp} , δ_τ - СКП измерения разности дальностей и задержки сигналов соответственно; ψ - угол, под которым видна база, из места расположения подвижного объекта M .

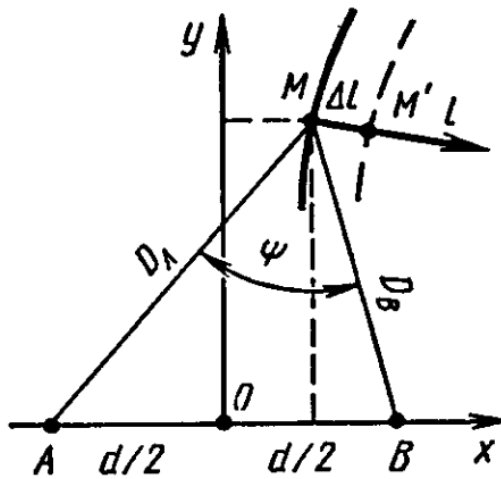


Рисунок 3 - Геометрия разностно-дальномерной РНС

Из соотношения (2) видно, что наилучшие условия для определения местоположения возникают при $\psi = 180^\circ$, что соответствует нахождению подвижного объекта на линии, соединяющей приемные станции. В этом случае СКП

$$\delta_D = \frac{\delta_{Dp}}{2} = \frac{c\delta_\tau}{2}, \quad (3)$$

что по форме соответствует дальномерному методу и независимости ошибки δ_D от расстояния между станциями.

С учетом характера рассматриваемой рабочей зоны в виде акватории Невы в черте города, целесообразно размещение соответствующих измерительных средств на мостах. Такое расположение обеспечивает удобство передачи информации в центральный пункт управления в связи с существующим размещением в подмостных помещениях аппаратуры для связи с центром управления. В большинстве случаев трасса распространения сигнала пролегает над водной поверхностью в пределах прямой видимости, что создает благоприятные условия для проведения измерений.

Особенности обозначенных на рисунке 4 участков акватории позволяют объединить их в две группы. К первой группе относятся участки 1, 2, 3, 7, 9, для которых характерно их ограничение двумя мостами с их взаимным размещением в пределах прямой видимости. Две приемные станции для этих участков могут быть расположены на мостах, а при необходимости размещения третьей станции, она может быть расположена на набережной. К рассматриваемой группе примыкают и участки акватории в верхнем и нижнем течении р. Нева в городской черте с номерами 8 и 10. Для этой группы размещение одной из станций производится на мосту, второй станции в дальней, относительно моста, точке рабочей зоны на набережной (квазимостовое размещение приемной станции) и при необходимости размещения третьей станции для нее может быть выбрано место на набережной, противоположной месту размещения второй станции, в средней части рабочей зоны.

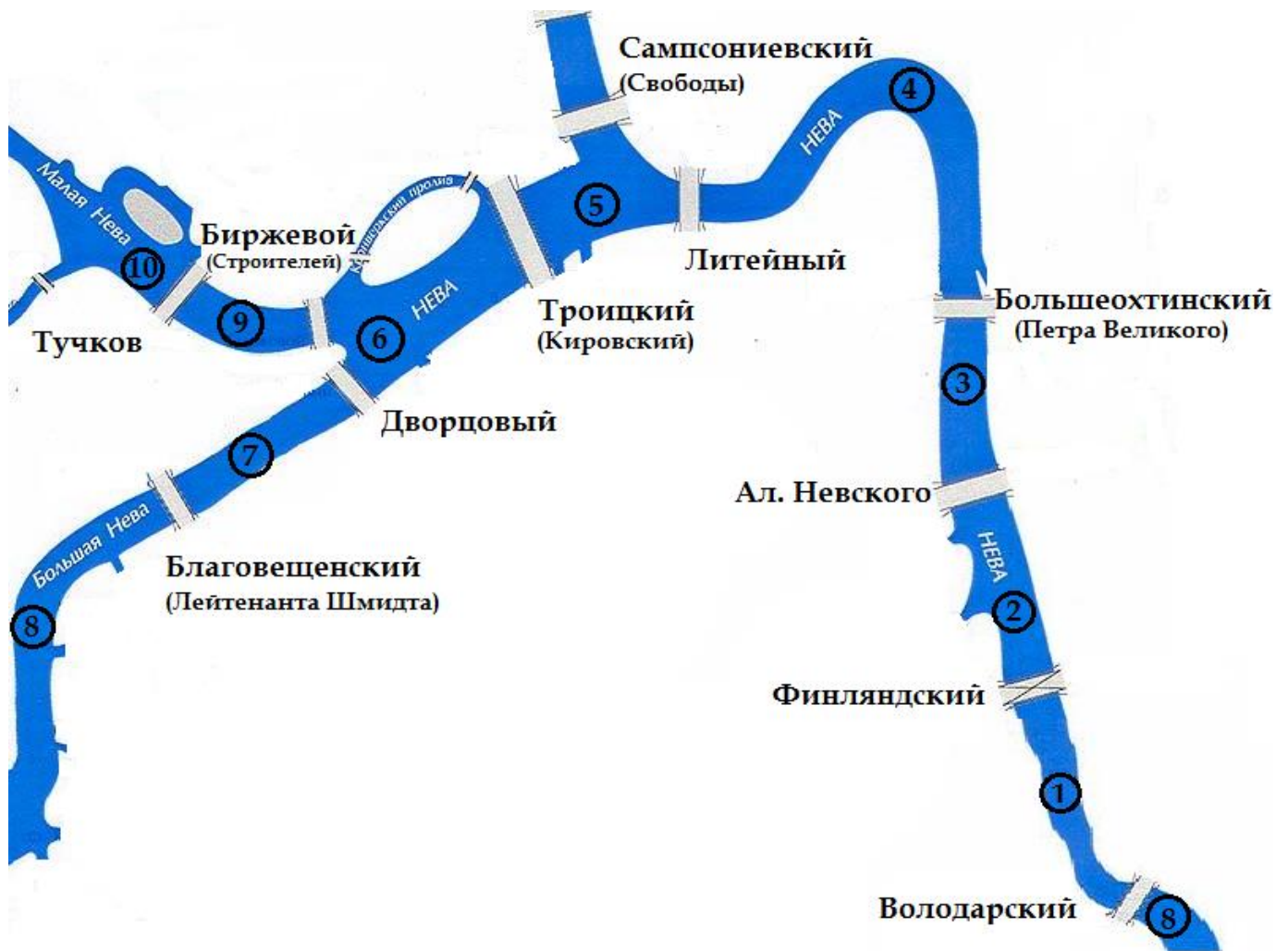


Рисунок 4 - Акватория реки Невы в городской черте

Очевидно, что для всех участков первой группы, геометрические характеристики взаимного расположения станций, а, следовательно, и достигаемые точностные характеристики определения местоположения будут близкими.

Ко второй группе относятся участки 5 и 6, ограниченные тремя мостами с возможностью размещения на них трех станций, и участок с номером 4, для которого характерно изменение направления течения р. Невы и отсутствие прямой видимости станций, расположенных на мостах.

Определение местоположения на плоскости, характерное для рассматриваемого класса подвижных объектов, требует проведения двух независимых измерений, каждому из которых соответствует своя линия положения [6].

В этом случае СКП определения местоположения объекта определяется соотношением:

$$\delta_r = \frac{\sqrt{\delta_{i1}^2 + \delta_{i2}^2}}{\sin \theta}, \quad (4)$$

где δ_{i1} и δ_{i2} – СКП линий положения; θ - угол между касательными к линиям положения в точке их пересечения.

Очевидно, что при ортогональном ($\theta=90^\circ$) пересечении линий положения достигается наименьшее из возможных значений погрешности δ_r , равное при $\delta_{i1} = \delta_{i2} = \delta_i$ величине $\delta_i \sqrt{2}$, а при $\theta = 0^\circ$, т. е. при коллинеарности линий положения точное определение становится невозможным.

В качестве возможных комбинаций навигационных измерений, могут выступать следующие совокупности:

1. Фарватер, играющий роль псевдоизмерения, при условии удержания судна на нем и измерение пеленга;
2. Фарватер и измерение разности дальностей;
3. Измерение двух пеленгов;
4. Измерение двух разностей дальностей;
5. Измерение пеленга и разности дальностей;

Рассмотрим, какими возможностями обладают указанные комбинации отдельно для двух групп участков акватории р. Нева.

2.2 Анализ точности определения местоположения на участках акватории Невы первой группы

2.2.1 Фарватер и измерение пеленга

Для случая такой комбинации навигационных измерений СКП:

$$\delta_r = \frac{\sqrt{\delta_a^2 + D^2 \delta_\alpha^2}}{\sin \theta}, \quad (5)$$

где δ_a и δ_α - соответственно, СКП удержания судна на фарватере и измерения пеленга; θ - угол между касательными к линиям положения в точке их пересечения.

При расположении пеленгаторов на мостах в подавляющем большинстве случаев угол близок к 0, что приводит к практической невозможности приемлемой точности навигационного определения.

Несколько лучшие условия возникают при расположении пеленгатора на набережной, например, в среднем положении относительно двух мостов, ограничивающих обслуживаемую пеленгатором зону. В этом случае на траверзе пеленгатора $\theta = 90^\circ$ и в соответствии с (5):

$$\delta_r = \sqrt{\delta_a^2 + D^2 \delta_\alpha^2}. \quad (6)$$

Пусть $\delta_a = 10\text{м}$, $\delta_\alpha = 3^\circ \approx 0.05\text{рад}$, $D = 200\text{м}$. Тогда $\delta_r = 14\text{м}$.

В тоже время отметим, что на краях обслуживаемой зоны, т.е. вблизи мостов, при $D = 2000\text{м}$ и $\theta = 3^\circ \approx 0.05\text{рад}$ (далеко не худшая геометрия из возможных) $\delta_r = 2000\text{м}$, что характеризует резкое ухудшение точности на краях рабочей зоны, где, в связи с приближением к мостам, целесообразно наоборот повышать точность местопредопределения. С учетом отмеченных особенностей и ряда недостатков, присущих расположению пеленгаторов на набережных, этот вариант построения системы следует считать неприемлемым.

2.2.2 Фарватер и измерение разности дальностей

Из (2) и (4) следует, что в этом случае:

$$\delta_r = \frac{\sqrt{\delta_a^2 + \delta_{Dp}^2}}{4 \sin^2(\psi / 2) \sin \theta} \quad (7)$$

Для этой комбинации измерений очевидным является расположение приемных станций на мостах. Тогда $\psi \approx 180^\circ$ и в силу близости к ортогональности фарватера и линии положения, свойственной разностно-дальномерному методу, $\theta \approx 90^\circ$. С учетом этого:

$$\delta_r = \sqrt{\delta_a^2 + \frac{\delta_{Dp}^2}{4}}. \quad (8)$$

При $\delta_a \approx 10\text{м}$, $\delta_{Dp} \approx 1\text{м}$, $\delta_r \approx 10\text{м}$, т.е. соответствует точности удержания судна на фарватере. При этом δ_r практически не зависит от расположения судна в рабочей зоне. С учетом этого, рассматриваемый вариант является предпочтительным. Его естественным недостатком является использование в качестве одной из линий положения фарватера с необходимостью удержания судна на нем. В случае схода судна с фарватера, указанная система оказывается неработоспособной.

2.2.3 Измерение двух пеленгов

В этом случае, как следует из (1) и (4):

$$\delta_r = \frac{\sqrt{D_1^2 \delta_{\alpha 1}^2 + D_2^2 \delta_{\alpha 2}^2}}{\sin \theta}, \quad (9)$$

где D_1 и D_2 – расстояния от пеленгаторов до объекта; $\delta_{\alpha 1}$ и $\delta_{\alpha 2}$ – СКП измерения пеленга.

Можно полагать, что $\delta_{\alpha 1} \approx \delta_{\alpha 2} \approx \delta_{\alpha}$. Тогда:

$$\delta_r = \frac{\delta_{\alpha}}{\sin \theta} \sqrt{D_1^2 + D_2^2} \quad (10)$$

При расположении пеленгаторов на мостах, угол θ близок к 0, что сопровождается резким увеличением δ_r и, следовательно, характеризует неприемлемость этой комбинации навигационных измерений. В случае расположения одного из пеленгаторов на набережной на траверзе этого пеленгатора, $\theta \approx 90^\circ$ и тогда:

$$\delta_r = \delta_{\alpha} D_{12}, \quad (11)$$

где D_{12} – удаление пеленгаторов.

При $\delta_{\alpha} = 3^\circ \approx 0.05$ рад, $D_{12} = 2000$ м, $\delta_k = 100$ м.

Таким образом, даже в наиболее благоприятном по геометрии случае, точность определения местоположения оказывается довольно низкой. Вблизи мостов угол θ близок к 0, что указывает на резкое ухудшение точности на краях рабочей зоны. С учетом изложенных точностных особенностей рассматриваемой комбинации навигационных измерений, а также отмеченной ранее нецелесообразности размещения измерительных средств на набережной, метод двух пеленгов следует считать неприемлемым.

2.2.4 Измерение двух разностей дальностей

При определении местоположения с помощью разностно-дальномерных систем необходимо применение как минимум двух пар станций АВ и АС (рисунок 5).

Из (2) и (4) следует:

$$\delta_r = \frac{\sqrt{\frac{\delta_{Dp1}^2}{4 \sin^2(\psi_1/2)} + \frac{\delta_{Dp2}^2}{4 \sin^2(\psi_2/2)}}}{\sin \theta}, \quad (12)$$

где δ_{Dp1} и δ_{Dp2} – СКП измерения разности дальностей между параметрами станций; ψ_1 и ψ_2 – базовые углы, характеризующие взаимное расположение пар станций и определяемого судна.

Для независимых и равных друг другу погрешностей измерения представим (12) в следующем виде:

$$\delta_r = \frac{\delta_{Dp}}{2} \frac{\sqrt{\sin^2(\psi_1/2) + \sin^2(\psi_2/2)}}{\sin\left(\frac{\psi_1 + \psi_2}{2}\right) \sin(\psi_1/2) \sin(\psi_2/2)}. \quad (13)$$

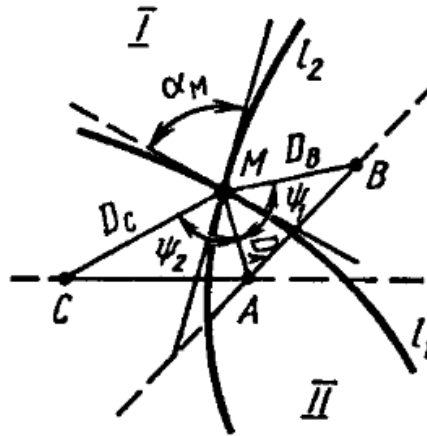


Рисунок 5 - Измерение двух разностей дальностей

Поскольку станции В и С достаточно разнесены друг от друга, угол $\psi_1 + \psi_2$ близок к 180° . При этом при движении судна от станции С к станции В угол ψ_1 увеличивается от 0° (ψ_2 в это время близок к 180°), при переходе под станцией С до значения близкого к 90° на траверзе станции А, и до значения близкого к 180° (ψ_2 в это время близок к 0°), при проходе под станцией В. Близость к указанным значениям обеспечивается с точностью, равной значениям углов ψ_1 и ψ_2 , которые составляют по величине несколько градусов.

Из такого характера изменения углов ψ_1 и ψ_2 выражения (13) следует, что на траверзе станции А достигается наивысшая точность определения местоположения, когда значение δ_r близко к δ_{Dr} с увеличением при расположении судна вблизи мостов до аномально больших значений.

С учетом характера изменения точности по рабочей зоне и необходимости размещения третьей станции на набережной, этот вариант навигационного обеспечения следует считать неприемлемым.

2.2.5 Измерение пеленга и разности дальностей

Такая совокупность измеряемых навигационных параметров может быть обеспечена с использованием комплексной приемной станции, которая представляет собой пеленгатор, модифицированный для измерения фазовой (временной) задержки сигнала. В этом случае для полного навигационного определения достаточным является использование двух станций, размещенных на мостах. Положительной особенностью рассматриваемой совокупности навигационных измерений является то, что линии положения, соответствующие измерению пеленга и разности дальностей, всегда будут ортогональными, что делает распределение погрешностей по рабочей зоне более равномерным.

С учетом (1), (2) и (4) для рассматриваемой совокупности навигационных измерений:

$$\delta_r = \frac{\sqrt{D^2 \delta_\alpha^2 + \frac{\delta_{Dp}^2}{4 \sin^2(\psi/2)}}}{\sin \theta}. \quad (14)$$

Так как $\theta = 90^\circ$ и $\psi = 180^\circ$, то

$$\delta_r = \sqrt{D^2 \delta_\alpha^2 + \frac{\delta_{Dp}^2}{4}}. \quad (15)$$

Из этого соотношения в силу $D^2 \delta_\alpha^2 \rightarrow \frac{\delta_{Dp}^2}{4}$ видно, что

$$\delta_r \approx D \delta_\alpha. \quad (16)$$

При $\delta_\alpha \approx 3^\circ$, $\delta_r \approx 0.05D$. Так как значение δ_r прямопропорционально расстоянию от станции до судна, то, очевидно, что при навигационных определениях необходимо пользоваться измерениями ближайшего к судну пеленгатора. Очевидно, также, что при приближении судна к мосту точность его местоопределения повышается. Так при $D = 500\text{м}$, $\delta_r = 25\text{м}$, а при $D = 50\text{м}$, $\delta_r = 2.5\text{м}$.

В принципиальном плане второе измерение пеленга более удаленной станцией может быть использовано для повышения точности измерений. Однако второе измерение дает менее точный результат местоопределения, поэтому в итоге использование избыточного измерения может и не привести к желаемому результату. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

Пусть $\delta_{\alpha 1}$ и $\delta_{\alpha 2}$ — соответственно СКП, обеспечиваемые первым и вторым пеленгаторами. Тогда с учетом (16):

$$\delta_r \approx \frac{\sqrt{D_1^2 \delta_{\alpha 1}^2 + D_2^2 \delta_{\alpha 2}^2}}{\sqrt{2}} . \quad (17)$$

Пусть $\delta_{\alpha 1} = \delta_{\alpha 2}$, $D_1 = \beta D$, $D_2 = (1-\beta)D$, где D – расстояние между мостами, β – коэффициент, принимающий значения от 0 до 1 и характеризующий удаление судна от мостов. Т.е. при $\beta = 0$ судно находится вблизи первой станции, а при $\beta = 1$ – вблизи второй. Тогда при $\delta_{\alpha 1} = \delta_{\alpha 2}$ выражение (17) примет вид:

$$\delta_r = \frac{\delta_{\alpha} D}{\sqrt{2}} \sqrt{\beta^2 + (1-\beta)^2} . \quad (18)$$

При $\beta = 0$ и $\beta = 1$, т.е. вблизи мостов:

$$\delta_r = \frac{\delta_{\alpha} D}{\sqrt{2}} , \quad (19)$$

что говорит о существенно худшей точности, чем в случае использования одного пеленга.

При $\beta = 0$, т.е. при нахождении судна в середине рабочей зоны

$$\delta_r \approx (\delta_D D) / 2 , \quad (20)$$

что соответствует по величине случаю использования одного измерения. Таким образом, использование измерений пеленга ближайшей станцией оказывается достаточным.

2.3 Анализ точности определения местоположения на участках акватории Невы второй группы

Для участка 4 характерно изменение течения р. Нева практически на 90° с отсутствием прямой видимости между приемными станциями. В этом случае трасса распространения сигнала проходит через кварталы застройки, что может привести к увеличению погрешности измерений. Для этого участка целесообразно рассматривать вариант оснащения, в котором две приемные станции расположены на мостах - Литейном и Большеохтинском, а третья на Свердловской набережной. Такой способ позволяет рассматривать этот участок как два, каждый из которых обслуживается комплексной приемной станцией на мосту и на набережной с определенным местоположением судна по измерениям пеленга и разности дальностей от судна до этих станций.

Подобный случай рассматривался в предыдущем подразделе, поэтому все выводы, полученные ранее для участков первой группы справедливы и для подучастков участка №4.

Для участков 5 и 6 характерна их ограниченность тремя мостами с возможностью расположения на них трех приемных станций и, следовательно, реализация в полном объеме разностно-дальномерной системы. Учитывая, что для совокупности измерений разность дальностей – пеленг, точность, соответствующая измерениям пеленга, характерна для практически всей рабочей зоны, будем рассматривать для этих участков только разностно-дальномерную систему, предполагая, что с целью унификации аппаратных средств системы и на этих участках могут устанавливаться комплексные приемные станции.

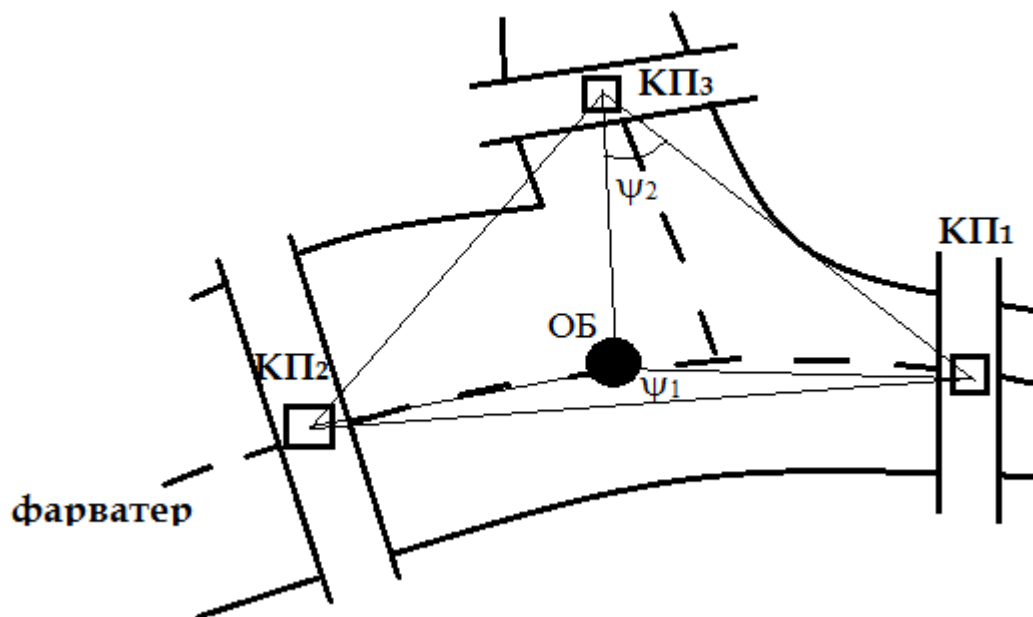


Рисунок 6 - Геометрия участка №5

Как видно из рисунка 6, линия, соединяющая станции 1 и 2 практически совпадает с фарватером, поэтому угол $\psi_1 \approx 180^\circ$. Угол ψ_2 при прохождении судна по фарватеру меняет свое значение от 60° до 180° . Подставляя ψ_1 в выражение (13), характерное для разностно-дальномерной системы, получим:

$$\delta_r = \delta_{Dp} \frac{\sqrt{1 + \sin^2(\psi_2 / 2)}}{\sin \psi_2}. \quad (21)$$

Для $\psi_2 = 60^\circ$ $\delta_r = 1.3\delta_{Dp}$, а для $\psi_2 = 90^\circ$, что соответствует нахождению судна примерно в $1/3$ расстояния от Литейного моста $\delta_r = 1.2\delta_{Dp}$. При приближении ψ_2 к 180° , $\delta \rightarrow \infty$. Для исключения возникающих в этом случае особенностей целесообразен следующий режим навигационных измерений: При нахождении судна в первой половине пути между мостами определение положения судна производится по изме-

рениям разностей дальностей ΔD_{12} и ΔD_{23} , а при нахождении судна во второй половине пути – по измерениям ΔD_{12} и ΔD_{13} . С учетом изложенного, можно предположить, что δ_r не превысит величины $1.5\delta_{Dp}$, что при δ_{Dp} , соответствующей единицам метров, приведет к сопоставимой с указанными величинами точности определения местоположения.

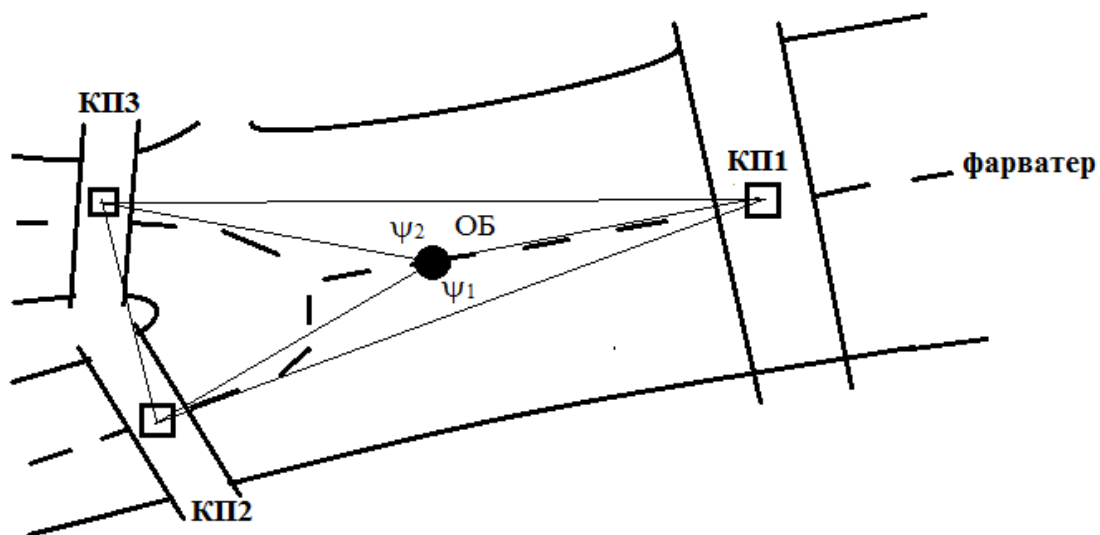


Рисунок 7 - Геометрия участка №6

Для участка №6, как и в предыдущем случае, $\psi_1 \approx 180^\circ$. Угол ψ_2 меняет свое значение от 20° до 180° . Из (13) следует, что при $\psi_2 = 20^\circ$ $\delta_r \approx 1.5\delta_{Dp}$. Для исключения потери точности при приближении судна к Дворцовому мосту, как и для участка №5, целесообразен переход от измерений ΔD_{12} и ΔD_{23} к измерениям ΔD_{12} и ΔD_{13} . В этом случае δ_r не превысит, как и в предыдущем случае, значения $1.5\delta_{Dp}$.

2.4 Определение методов решения задачи определения местоположения

В основу системы определения местоположения судов в акватории р. Нева в городской черте по соображениям обеспечения благоприятных условий для распространения сигналов, приемлемой точности местоопределения и удешевления аппаратуры целесообразно положить принцип пеленгаторно-разностно-дальномерных измерений с расположением приемных станций на мостах или набережных.

При обеспечении удержания судна на фарватере точность фарватерно-разностно-дальномерной системы соответствует точности удержания судна на фарватере с возможностью удешевления системы за счет использования фарватера как линии положения.

Для участков 1-ой группы по условиям размещения на мостах только двух станций, целесообразно использование аппаратных средств в виде комплексной пеленгаторно-разностно-дальномерной системы с достижением среднеквадратической погрешности вблизи мостов порядка единиц метров, а в средней части – десятков метров.

Для участков 2-ой группы при разностно-дальномерных измерениях и установке трёх приемных станций достижима точность определения места со среднеквадратической погрешностью порядка единиц метров во всех точках акватории внутри рассматриваемых участков.

Общее число станций для обслуживания акватории р. Нева в городской черте равно 25, а при обеспечении возможности работы одной станции в интересах обслуживания примыкающих к мосту двух участков – 15.

3. Синхронизация пунктов системы

3.1 Структура подсистемы синхронизации

Под синхронизацией понимается процедура установления и поддержания синхронной работы всех компонентов радиоэлектронной системы. Синхронность событий обеспечивается посредством передачи сигналов синхронизации, несущих информацию о шкале синхронизации – непрерывной последовательности интервалов времени определенной длительности, отсчитываемой от начального момента.

Применительно к решению нашей задачи подсистема синхронизации должна обеспечивать формирование единой синфазной шкалы на всех стационарных объектах (ЦУ, КП). Ошибки в “значении” шкалы однозначно приводят к ошибкам дешифрации информации. С другой стороны, в системе желательно иметь такую шкалу, которая имеет достаточно хорошие параметры с точки зрения приема и передачи (отношение сигнал/шум) и стабильности информационных параметров. Это связано с тем, что предусматривается передача большого количества информации, поэтому возможно, что часть информации будет приниматься дополнительными пунктами с целью первичной обработки и ретрансляции пакета данных на ЦУ.

Для решения задачи синхронизации наиболее удобно и экономически выгодно использовать уже существующие электромагнитные поля других радиотехнических систем, сигналы которых удовлетворяют требованиям по мощности излучений (отношение сигнал/шум) и стабильности параметров (относительная нестабильность не хуже 10). Примером таких полей могут служить сигналы общероссийского телевидения и радиовещания. В частности, рассматривается вопрос использования синхроимпульсов телевизионных сигналов для формирования единой тактовой и кадровой шкал синхронизации. Другим немаловажным достоинством использования синхроимпульсов телевизионных систем является достаточно высокий уровень исполнения приемных устройств (ВЧ-тракт телевизоров), которые могут быть использованы в виде законченных модулей.

Выбор переносчика информации в любой информационной системе определяется, прежде всего, степенью искажения информации. Искажения информации в основном определяются: действием помех, случайными изменениями условий распространения (температура, влажность и плотность атмосферы, изменения состояния поверхности Земли и т.п.) и не идеальной радиоэлектронной аппаратуры (случайные отклонения и изменения параметров и характеристик). Действие каждой из указанных причин искажений информации зависит от принципа действия системы, используемых частот, а также от того, в каком параметре радиосигнала содержится информация.

При прочих равных условиях наиболее сильно сообщения искажаются при амплитудной модуляции, при фазовой – несколько меньше и наименьшие искажения сообщения помехами могут быть при частотной модуляции.

Использование частотной модуляции требует создания следящих измерителей, которые либо достаточно быстро перестраиваются по частоте, либо имеют согласованные фильтры на каждую частоту. Последнее вызывает усложнение аппаратуры.

Применение к данной системе двухчастотную модуляцию не представляется возможным. Прежде всего, это вызвано тем, что для передачи информации используются стандартные радиостанции речевой связи, в которых не нормируется ГОСТом АЧХ и ФЧХ. Реально это приводит к различным нестационарным задержкам у сигналов с разными частотами. Кроме того, использование согласованных фильтров неприемлемо по длительности переходных характеристик в таких фильтрах.

Более хорошие возможности имеет фазовая манипуляция. Недостатком использования этого способа передачи информации является то, что реальный передатчик имеет на входе фильтры, которые обладают определенной добротностью, поэтому поданный на модулятор передатчика сигнал из-за переходных характеристик фильтра оказывается искаженным. Это искажение модулированного сигнала не может быть отфильтровано на приемной стороне и вызывает бросок управляющего напряжения следящей системы и скачек фазы ССИ (строчного синхроимпульса). Выбор полосы

пропускания ФНЧ в следящей системе изменяет лишь амплитуду и длительность “дрожания” фазы выходного сигнала.

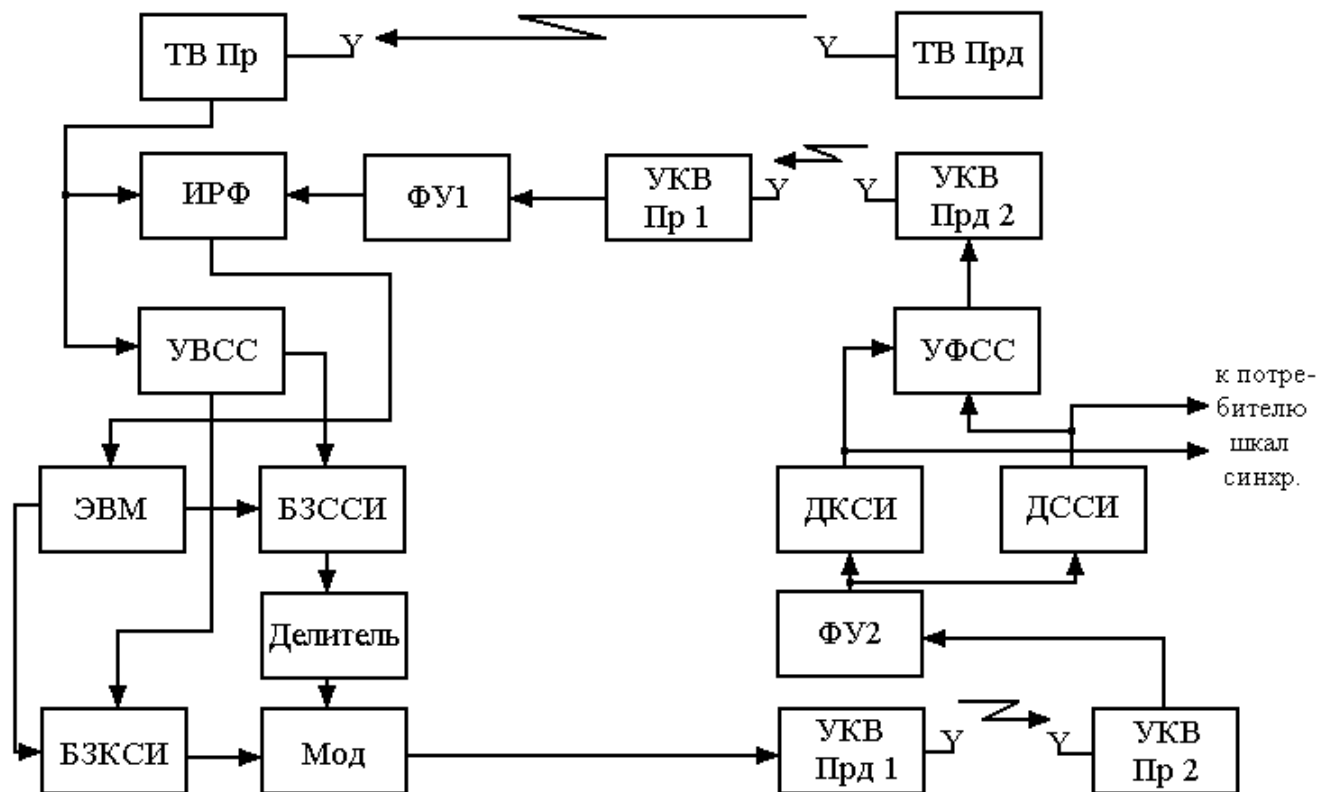


Рисунок 8 - Блок-схема подсистемы формирования единой шкалы синхронизации

Лучших результатов удалось получить, если модулировать входную цифровую последовательность "выкусыванием" одного импульса в момент появления характерного фронта КСИ (кадрового синхроимпульса). Этот способ модуляции имеет все те же достоинства, что и фазовая манипуляция, но переходные характеристики входных цепей передатчика на подаваемый сигнал оказывает меньшее влияние.

Система включает в себя два пункта: ЦУ и КП. ЦУ содержит телевизионный приемник (ТВ приемник), устройство выделения сигналов синхронизации (УВСС), измеритель разности фаз (ИРФ), формирующее устройство 1 (ФУ1), УКВ приемник 1, блок задержки строчных синхроимпульсов (БЗССИ), блок задержки кадровых синхроимпульсов (БЗКСИ), делитель, модулятор, УКВ передатчик 1, управляющую

ЭВМ, причем выход ТВ приемника соединен со входами УВСС и ИРФ, второй вход ИРФ соединен с выходом ФУ1, вход которого соединен с выходом УКВ приемника 1. Выход ИРФ соединен с информационным входом ЭВМ. Устройство выделения сигналов синхронизации имеет два выхода: выход кадрового синхроимпульса (КСИ) и выход строчного синхроимпульса (ССИ). Выход ССИ через последовательно подключенные БЗССИ и делитель соединен с модулятором. Выход КСИ соединен со входом БЗКСИ, выход которого соединен со вторым входом модулятора. Оба блока задержки имеют управляющие входы, к которым присоединены соответствующие выходы ЭВМ. Выход модулятора соединен со входом УКВ передатчика 1.

КП содержит: УКВ приемник 2, формирующее устройство 2 (ФУ2), выход которого соединен со входами обоих демодуляторов, два модулятора – кадровых и строчных синхроимпульсов (ДКСИ и ДССИ), устройство формирования синхросмеси (УФСС), УКВ передатчик 2, УКВ приемник 2, выход которого соединен со входом ФУ2. Выходы каждого из демодуляторов соединены с соответствующими входами УФСС. Выход УФСС соединен со входом УКВ передатчика 2. С выхода каждого демодулятора потребитель снимает кадровую (КСИ) и тактовую (ССИ) шкалы синхронизации.

3.2 Принцип работы подсистемы синхронизации

ЦУ является ведущим, КП – ведомым. ЦУ принимает телевизионный сигнал, например, 1-ой общероссийской телевизионной программы и выделяет синхросмесь. Эта синхросмесь подается на измеритель разности фаз и на устройство выделения КСИ и ССИ. КСИ и ССИ подаются на соответствующие блоки задержки, которые с помощью сигналов от управляющей машины (ЭВМ) позволяют задерживать КСИ с дискретом 64мкс в диапазоне ± 20 мс, а последовательность ССИ с дискретом 1мкс в диапазоне ± 32 мкс. Далее ССИ подают на делитель, который переносит строчную частоту телевизионного сигнала, равную 15.625кГц, в диапазон канала речевой связи. Поделенный сигнал строчной частоты и КСИ подают на соответствующие входы модулятора. В подсистеме использован принцип фазово-кодовой модуляции, в котором

в качестве несущей частоты используют меандр поделенного строчного синхросигнала, а в качестве модулирующего КСИ, причем в момент появления характерного фронта КСИ из несущей последовательности “выкусывается” один период. Сформированный таким образом сигнал канала синхронизации подают на передатчик, на входе которого стоит интегрирующее звено.

Излучаемые передатчиком электромагнитные колебания принимаются приемником, расположенным в КП. С выхода приемника сигнал подают на формирующее устройство – усилитель-ограничитель. ФУ2 преобразует зашумленный синусоидальный сигнал в двухуровневый, который подают на входы обоих демодуляторов.

В демодуляторе ДССИ осуществляется восстановление последовательности ССИ с частотой 15.625кГц. В качестве ДССИ, выполняющего умножение входного сигнала и слежение за ним с точностью до фазы, используется ФАПЧ. Основными требованиями к ФАПЧ являются: слежение за фазой входного сигнала с дисперсией ошибки $\sigma < 100$ нс и отсутствие перескоков фазы выходного сигнала ФАПЧ, вызванных наличием шумовых составляющих в выходной смеси приемника. Эти требования обусловлены общими требованиями к шкале синхронизации подсистемы. Строчные синхросигналы с выхода ДССИ поступают на вход устройства формирования синхросмеси.

Демодулятор КСИ осуществляет выделение кадровых импульсов синхронизации из входной синхросмеси. Выделение осуществляется простым вычитанием из двухуровневой смеси меандра с частотой, равной одной четверти строчной частоты. Реализованный принцип демодуляции обеспечивает взаимную синхронизацию КСИ и ССИ с точностью до фазы.

Восстановление на приемной стороне кадровые и строчные синхросигналы подают на устройство формирования синхросмеси и далее на вход УКВ передатчика 2.

Сигнал со шкалой синхронизации принимается УКВ приемником 1 ЦУ, с выхода которого синхросигнал подается на ФУ1, аналогичное ФУ2 с выхода которого двухуровневый сигнал подается на вход измерителя разности фаз. ИРФ определяет

задержку между двумя сигналами и вырабатывает сигнал управления по тактовой частоте для БЗССИ и сигнал управления по кадру для БЗССИ.

Управление задержкой по такту вызвано необходимостью формирования единой синфазной тактовой шкалы синхронизации. Временное распределение потоков от различных КП требует использование кадровой шкалы синхронизации. Таким образом, на основании перечисленных выше действий, может быть решена задача формирования в подсистеме единой синфазной шкалы синхронизации по кадру и по такту.

Из приведенного выше описания видно, что подсистема синхронизации включает в себя три части:

1. Канал прямой передачи сигналов синхронизации, который включает в себя: делитель, модулятор, УКВ передатчик 1, УКВ приемник 2, ФУ2, ДКССИ и ДССИ;
2. Канал обратной передачи сигналов синхронизации, который включает в себя: УФСС, УКВ передатчик 2, УКВ приемник 1 и ФУ1;
3. Канал приема и обработки информации, который включает в себя: ТВ передатчик, ТВ приемник, ИРФ, УВСС, БЗССИ, БЗКСИ и ЭВМ.

В качестве альтернативы также может быть использована подсистема синхронизации, основанная на оптоволоконной системе «Метроком», весьма распространенная в городе и имеющая шкалу синхронизации, формируемую на основе государственного эталона времени. Эта шкала более надежна в плане синхронизации, а волоконный кабель является информационно более емким и, поэтому может быть использован для передачи информации с КП на ЦУ.

4. Анализ погрешностей каналов связи

4.1. Флуктуационные характеристики приемных трактов УКВ радиостанций

При применении радиостанций в системе определения местоположения требования, предъявляемые к аппаратуре по искажениям начальной фазы, лежат в области десятков-сотен наносекунд и, поэтому возникает необходимость оценить погрешности, вносимые измерительным оборудованием.

В качестве исследуемых радиостанций используются радиостанции УКВ диапазона: «Kenwood», несущая частота 395,173 МГц и радиостанция «Пульс», несущая частота 419,975 МГц. Была собрана лабораторная установка, структурная схема которой приведена на рисунке 9, позволяющая достаточно объективно оценить фазовые флуктуации радиоприемных трактов.

Сначала была произведена проверка усилителя с помощью установки, приведенной на рисунке 10.

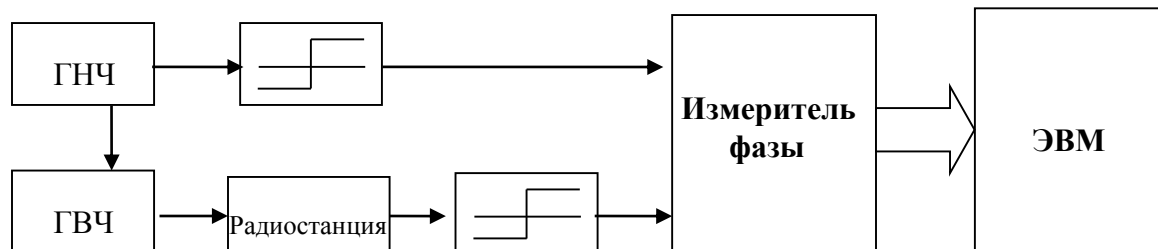


Рисунок 9 - Функциональная схема измерения нестабильности радиостанции

С выхода синхронизации ГНЧ сигнал поступает на схему преобразования, преобразующую короткие синхросигналы в прямоугольные импульсы с заданной длиной импульса для срабатывания триггера. Варьируя амплитудой сигнала с помощью аттенюатора, измеряем разность фаз между синхросигналом и сигналом с выхода усилителя-ограничителя. Для большего понимания опыта, рассмотрим опрощенную структурную схему и принцип работы измерителя фазы, изображенного на рисунке 11.

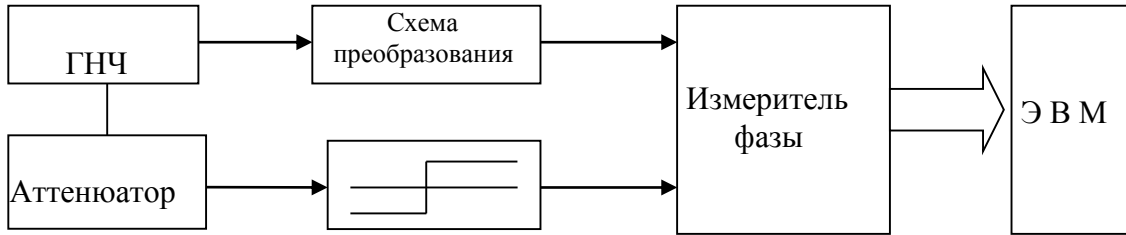


Рисунок 10 - Функциональная схема измерителя нестабильности усилителя-ограничителя

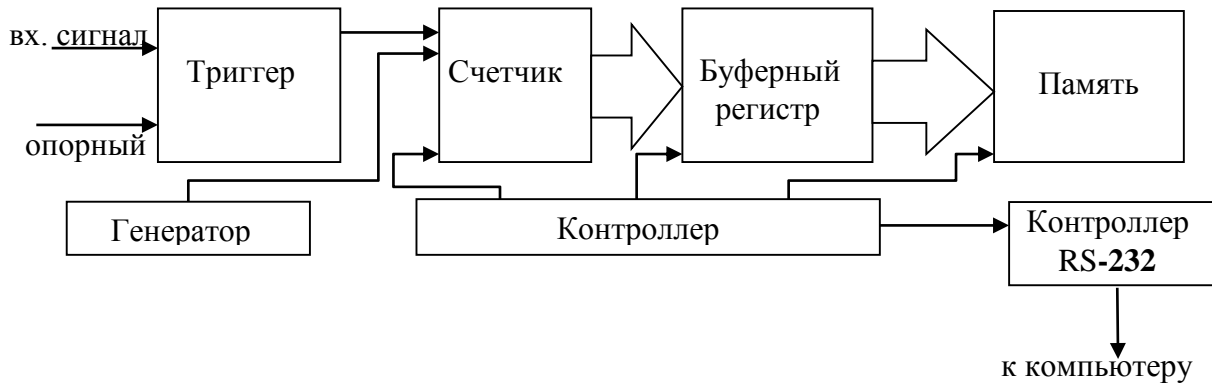


Рисунок 11 - Функциональная схема измерителя фазы

Кратко опишем методику измерения фазы. Сигнал в виде прямоугольного импульса поступает на вход D-триггера и переводит его выход в состояние высокого уровня, высокий уровень на выходе запускает счетчик на счет, сигнал опоры переводит выход триггера в состояние низкого уровня, что вызывает прекращение счета счетчиком и одновременно выдает контроллеру сигнал об окончании счета. Контроллер по этому сигналу защелкивает результат счета в буферном регистре и сбрасывает счетчик в исходное положение и система триггер-счетчик снова готова к работе, а контроллер считывает данные из буфера и записывает во внешнюю память. Так происходит определенное количество измерений. После окончания измерений процессор считывает данные из внешней памяти и передает их через контроллер 232 интерфейса в компьютер, где и происходит расчет разности фаз.

Далее в компьютере программным способом с помощью методов квадратурной обработки вычисляется среднее значение разности фаз, СКО и выстраивается график флуктуаций разности фаз от значения к значению и график разности фаз от измерения к измерению.

После проверки и выбора усилителя-ограничителя можно с должной степенью говорить о том, что измерения проведенные с помощью установки, представленной на рисунке 11, будут представлять собой измерение фазовых флуктуаций именно радиоприемного тракта, испытываемой радиостанции.

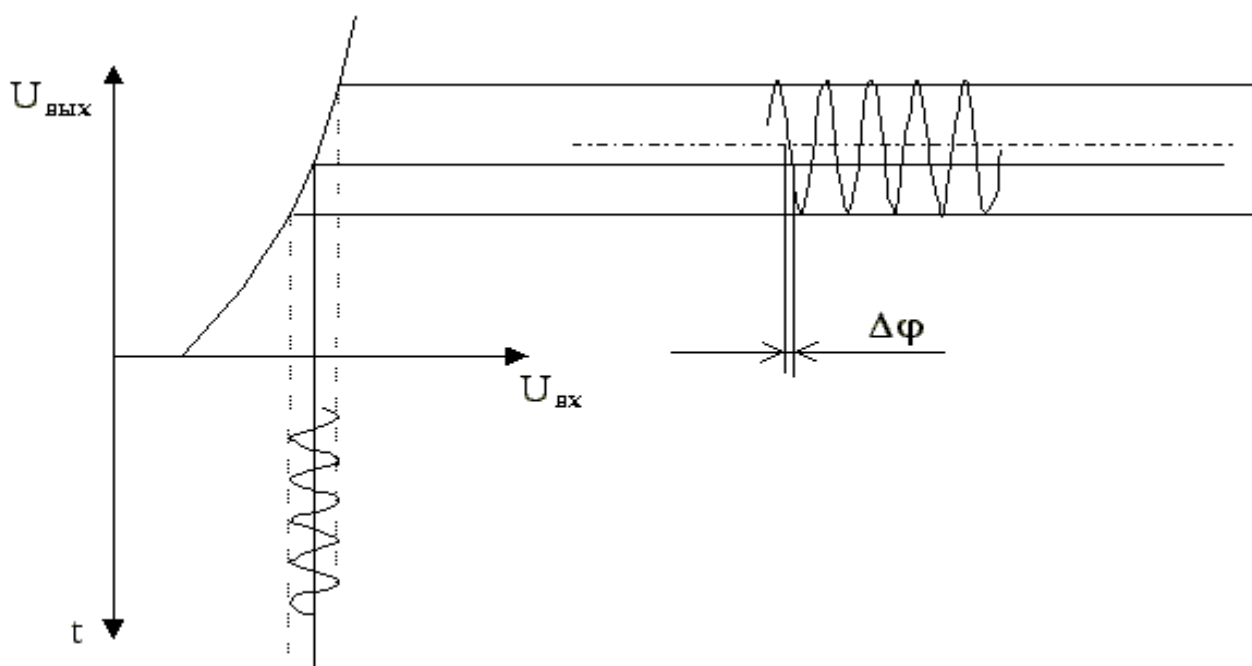


Рисунок 12 - Смещение начальной фазы при нелинейном усилении

4.2. Результаты измерения характеристик радиоприемников

Испытания проходили в две стадии, на первой стадии проверялись собственные флуктуации фазы сигнала радиоприемника без всяких изменений внешнего сигнала, т.е. статистические характеристики. На рисунке 14 и 15 приведены графики статистических характеристик радиостанций «Kenwood» и радиостанции «Пульс» соответственно. Измерения соответствуют уровню напряжения 2мкВ. Интервал между измерениями – 640мкс.

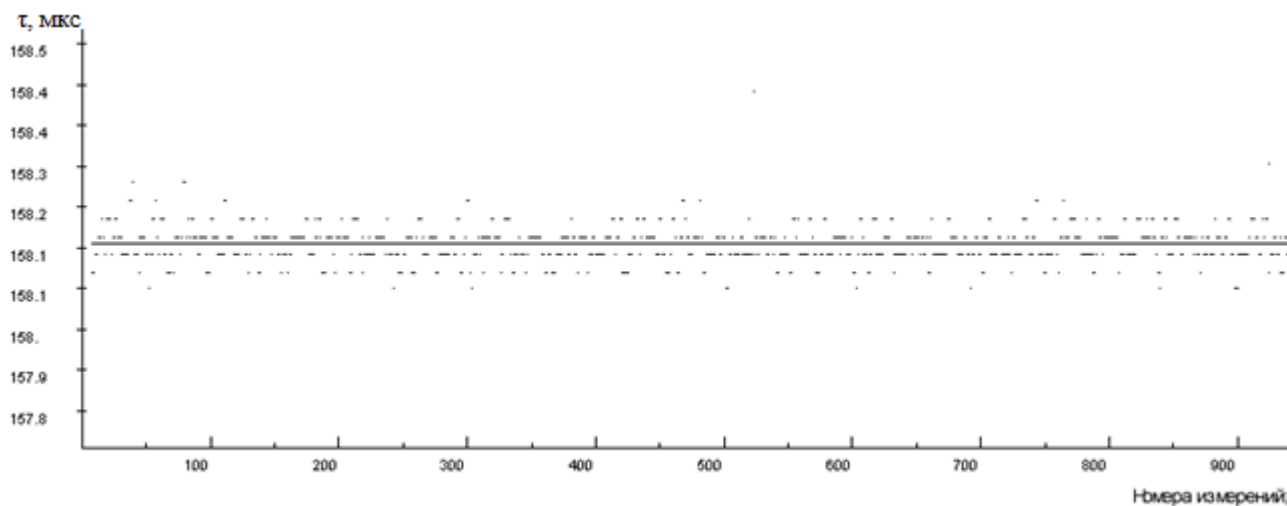


Рисунок 13 - График временных флуктуаций фазы сигнала после усиления радиостанции «Kenwood»

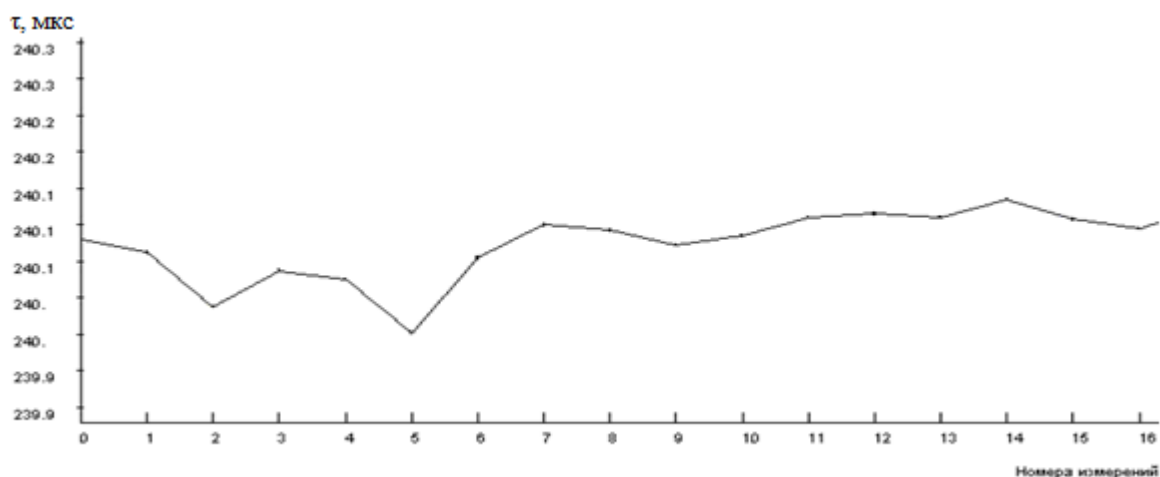


Рисунок 14 - Статистические характеристики радиостанции «Kenwood»

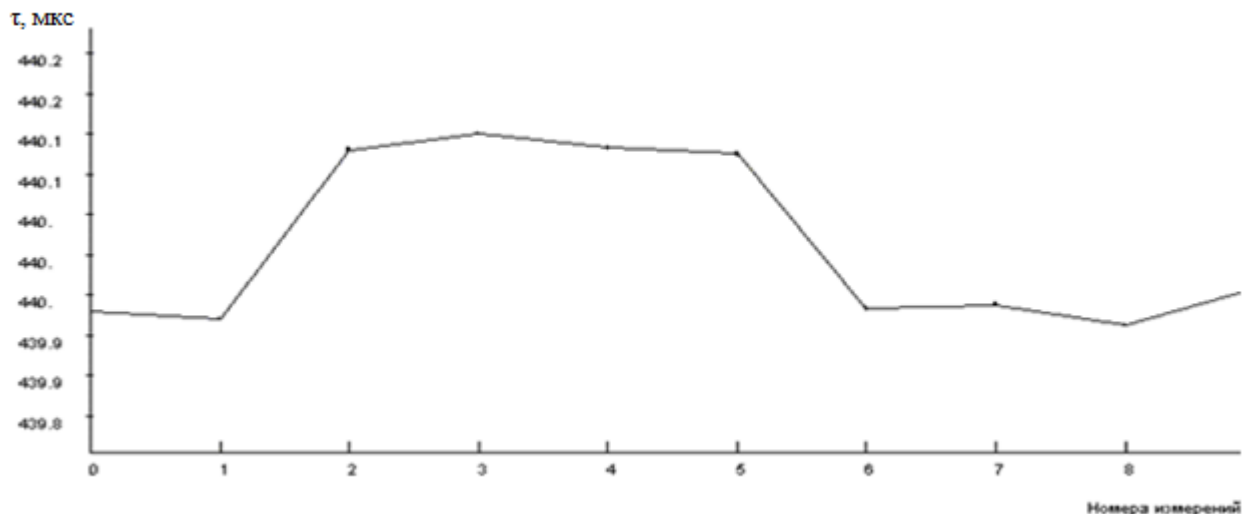


Рисунок 15 - Статистические характеристики радиостанции «Пульс»

Из графиков видно, что флуктуации носят случайный характер, нас интересуют количественные характеристики этих флуктуаций, которые рассчитаны с применением методов статистической обработки данных. Среднеквадратическое отклонение получилось следующим: для радиостанции «Kenwood» – 26 нс, для радиостанции «Пульс» - 33 нс.

На второй стадии измерялись динамические характеристики радиоприемников - исследовались флуктуации фазовых задержек при изменении факторов, сопровождающих прием входного сигнала. На точность измерения задержки радиостанции существенно влияет напряжение источника питания.

Далее представлены динамические характеристики радиостанций «Kenwood» и «Пульс». Уровень входного сигнала изменяется в пределах от 100 мкВ до 0.05 мкВ.

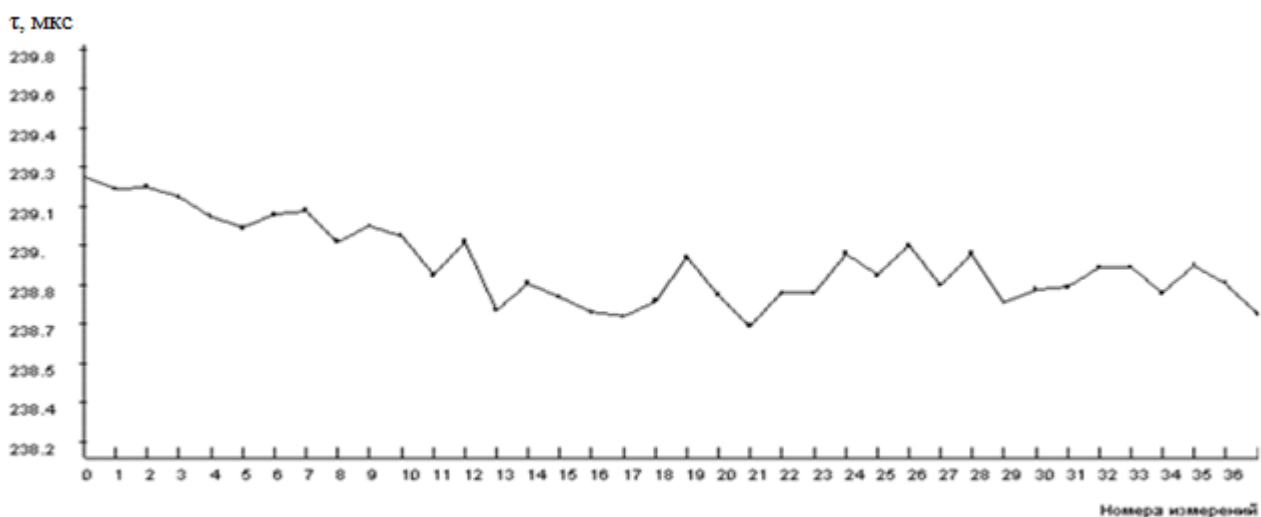


Рисунок 16 - Динамические характеристики радиостанции «Kenwood»

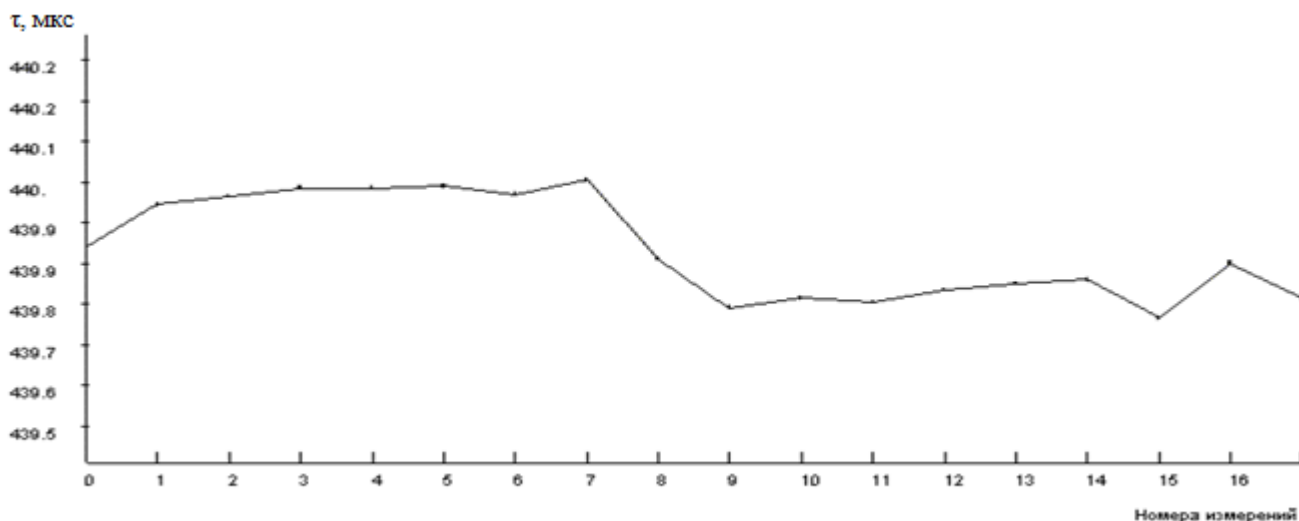


Рисунок 17 - Динамические характеристики радиостанции «Пульс»

При изменении уровня входного сигнала от 100 мкВ до предела чувствительности сдвиг фазы выходного сигнала для радиостанции «Kenwood» варьировал в пределах 550 нс, для радиостанции «Пульс» в пределах 340 нс.

Возникает вопрос: какой из элементов радиостанции вносит нестабильность? Для ответа на этот вопрос следует разбить приемный тракт на функциональные узлы и проанализировать, какой из них может давать наибольшую ошибку.

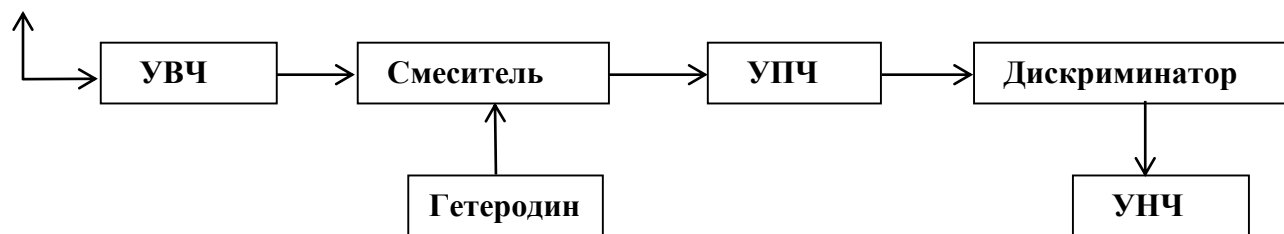


Рисунок 17 - Функциональная схема приемника

Учитывая, что входной сигнал имеет малый уровень, УВЧ если и вносит искажения в выходной сигнал, то они не являются определяющими. Определяющим в этом месте является влияние отношения сигнал/шум на кратковременные флуктуации выходного сигнала. Это предположение подтверждается и экспериментальными данными: при исключении из функциональной схемы УВЧ параметры и характер исследуемой зависимости не изменились.

Следующим функциональным узлом является преобразователь частоты. В радиостанциях старого образца, таких как «Лён» используется достаточно простая схема на транзисторе, но ее простота не мешает переносить сигнал на промежуточную частоту достаточно линейно, во всяком случае, фазовая характеристика, полученная после исключения преобразователя частоты из схемы, не получила каких-либо ощутимых изменений.

Гетеродин большинства исследуемых радиостанций представляет собой LC-генератор, подстраиваемый цифровым синтезатором частот. Эта подстройка необходима при массовом выпуске радиостанций. Тракт гетеродина не может влиять на динамические характеристики флуктуаций, так как выходная частота гетеродина стабильна по своей амплитуде. Долговременная фазовая нестабильность выходного сигнала приближается к долговременной фазовой нестабильности опорного генератора, который, в свою очередь, выполняется на кварцевом резонаторе и имеет достаточно хорошие показатели в этой области. В то же время, кратковременные флуктуации фазы, присутствующие в сигнале LC-генератора, присутствуют и в выходном сигнале.

Поэтому при выполнении задачи синтеза оптимального приемника для приема сигнала в измерителе фазы, необходимо это учитывать. В качестве опорного генератора в подобных системах предложено использовать генератор, содержащий в своей основе высокостабильный кварцевый резонатор типа «Геоцинт», который подстраивается с помощью дополнительного синхронизатора по сигналам точного времени, переходящему из внешнего источника. Этим можно добиться высокой стабильности, как кратковременных флуктуаций, так и долговременных.

Часть функциональной схемы, которая достойна пристального внимания – это детектор. Модуляция, используемая в рассматриваемых радиостанциях, является частотной. В качестве частотного детектора используется обычно детектор, работающий на смещенной амплитудно-частотной характеристике LC-контура, которая, конечно же, не является идеальной. Вследствие нелинейности характеристик детектора появляется большая часть составляющих ошибки. В процессе эксперимента были испытаны несколько схем, позволяющих детектировать частотно-модулированный сигнал, но все они вносили недопустимый для наших целей сдвиг фаз от уровня сигнала на входе.

Поэтому представляется, что придется или детектировать сигнал какими-то цифровыми методами, что неизменно приведет к использованию дорогостоящих сигнальных процессоров, или вообще отказаться от частотно-модулированного сигнала.

В качестве измерителя направления до объекта предлагается использовать радиопеленгатор УКВ диапазона «Гриф». Основные тактико-технические характеристики радиопеленгатора: диапазон рабочих частот 30-520 МГц, метод пеленгования - корреляционно-интерферометрический, инструментальная ошибка пеленгования 3°. Альтернативой может служить устройство радиомониторинга «УПОП-УКВ»: диапазон рабочих частот 100-2000 МГц, метод пеленгования - корреляционно-интерферометрический, инструментальная ошибка пеленгования 2°.

Требования российского морского регистра судоходства к судовой УКВ-радиоаппаратуре представлены в [7].

5. Моделирование канала связи

При определении местоположения разностно-дальномерным методом измеряются разности времен прихода сигналов от нескольких (одной или двух в нашем случае) пар неподвижных радиостанций. Для иллюстрации возможности использования речевого сигнала для передачи по радиочастотному тракту разработана модель канала связи (рисунок 18), реализующая тракт с частотной модуляцией и частотным детектированием на устройствах передачи и приема сигнала для пары радиостанций.

В качестве примера входного сигнала системы взята аудиозапись, временное представление которой изображено на рисунке 19. С помощью средства обработки сигнала (Signal Processing Toolbox) возможно воспроизведение аудиозаписи, применение к ней фильтров, рассмотрение спектра. Частота дискретизации равна 16 кГц.

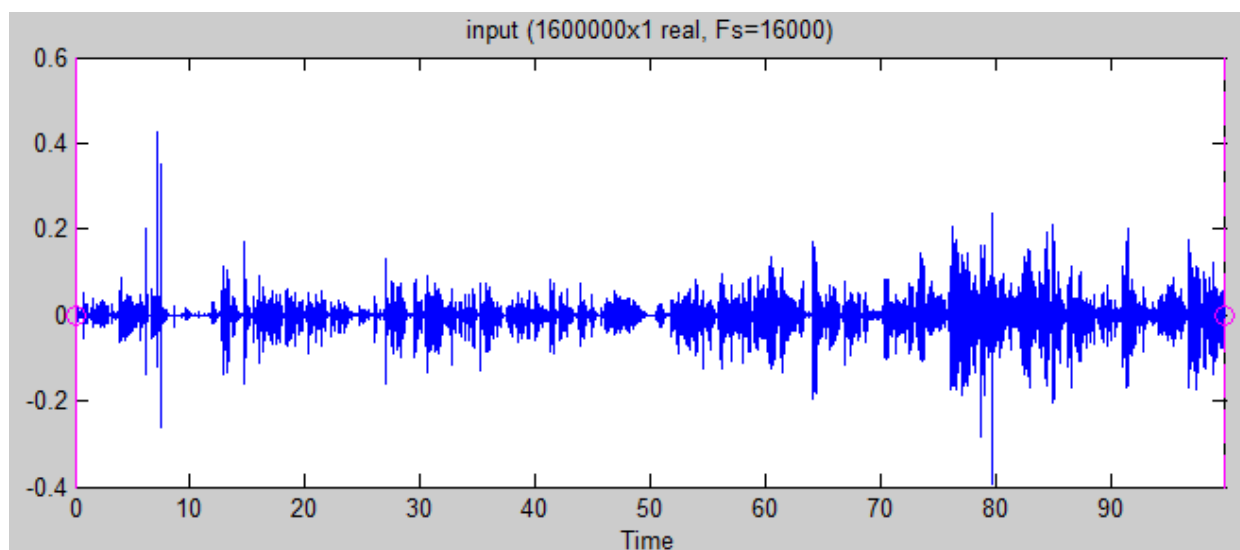


Рисунок 19 – Временное представление входного сигнала (речи)

Модель системы состоит из формирователя сигнала и устройства оценивания. Корреляционный измеритель обеспечивает определение навигационного параметра путем линейной обработки выходного сигнала коррелятора, выявляя время задержки между приходящими на два соседних КП сигналами (рисунок 20).

Модель представляет собой два идентичных канала, в один из которых вносится задержка, равнозначная разности моментов приема сигналов. Каждый из каналов состоит из источника сообщения, УНЧ, частотного модулятора, УПЧ, канал с добавлением белого гауссова шума (отношение сигнал/шум не превышает 40 дБ), имитирующий среду распространения радиоволны, демодулятора и УНЧ.

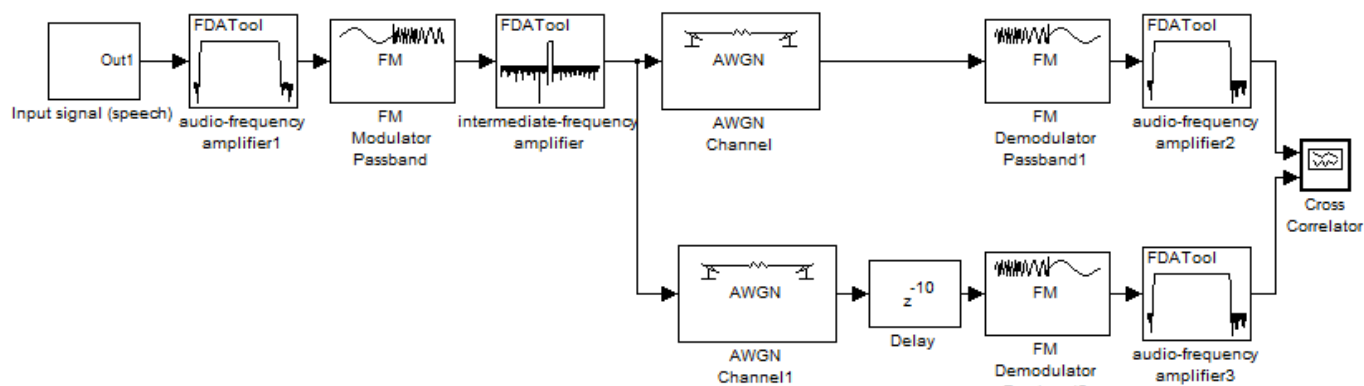


Рисунок 18 - Модель канала связи

С помощью модели, зная длительность переданного сигнала, по форме взаимнокорреляционной функции (ВКФ) можно вычислить длительность задержки. На рисунке 20 изображен пример отыскания задержки по характерному пику взаимнокорреляционной функции для речевого сигнала длительностью 2 секунды.

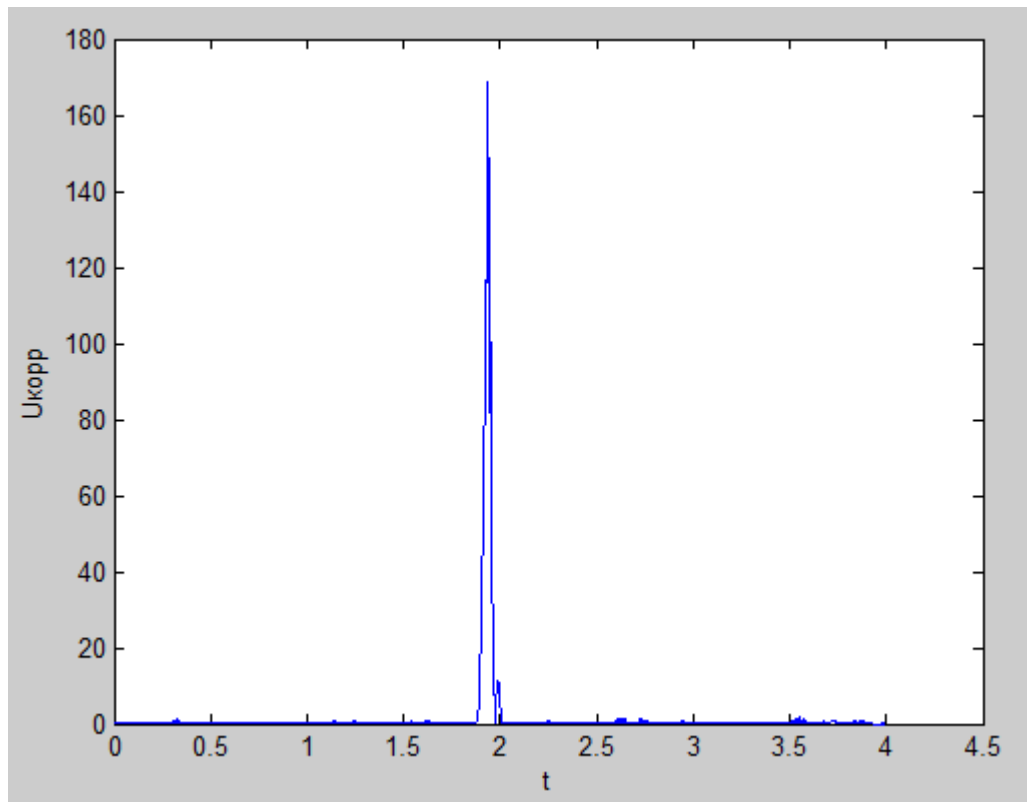


Рисунок 20 - Взаимнорреляционная функция на выходе системы

Пик ВКФ приходится на момент 1,9376 сек, что соответствует времени задержки 0,0624 сек или иначе 1000 отчетов, заданного в параметрах блока Delay.

По ВКФ также можно вычислить разрешающую способность (0,032 сек).

Таким образом исходный голосовой сигнал может быть использован для определения навигационного параметра в системе проводки судов.

Заключение

Таким образом, получаемые точности определения положения судов позволяют центру управления контролировать построение очередности прохождения судов по реке Нева в разводку мостов и существенно снизить вероятность аварийных ситуаций.

В основу системы определения местоположения целесообразно положить принцип пеленгаторно-разностно-дальномерных измерений с расположением приемных станций на мостах.

Для первой группы участков достигается среднеквадратическая погрешность определения местоположения в областях, примыкающих к мостам, порядка единиц метров, а в средней части участка – десятков метров. Для участков второй группы необходимо расположение третьей станции, при этом достижима точность определения места со среднеквадратической погрешностью порядка единиц метров.

Общее число станций для обслуживания акватории р. Нева в городской черте - 25, а при обеспечении возможности работы одной станции в интересах обслуживания примыкающих к мосту двух участков – 15.

Исследованные радиостанции «Kenwood» и «Пульс» со статистическими параметрами 26 нс и 33 нс соответственно могут быть использованы для нужд системы проводки судов в городской черте.

Характеристики разработанной модели канала связи иллюстрируют возможность использования речевого сигнала для измерения навигационных параметров. Полученная с помощью модели разрешающая способность составила 0,032 секунды.

В процессе дальнейших исследований целесообразно разработать систему зондирования трактов радиоприема сигнала с целью повышения точности определения местоположения.

Список литературы

1. Положение о системах управления движением судов [Электронный ресурс]. http://www.rosmorport.ru/media/File/filials/Novorossysk/NVR_VTS_Statutes.pdf - Федеральное государственное унитарное предприятие «Росморпорт». – 2015.
2. Автоматическая идентификационная система [Электронный ресурс]. https://ru.wikipedia.org/wiki/Автоматическая_идентификационная_система - Википедия. – 2015.
3. Системы АИС [Электронный ресурс]. www.samyung-russia.ru/docs/AIS_systems.doc - Морское оборудование Samyung. – 2015.
4. Быков В. И., Никитенко Ю. И. Судовые радионавигационные устройства. М., «Транспорт». 1976. 399 с.
5. Кинкулькин И. Е., Рубцов В. Д., Фабрик М. А. Фазовый метод определения координат. – М.: Сов. радио, 1979. – 280 с.
6. Гришин Ю. П., Ипатов В. П., Ю. М. Казаринов и др. Радиотехнические системы: Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника» / Под ред. Ю. М. Казаринова. – М.: Высш. шк., 1990. – 496 с.: ил.
7. Дуров А. А., Рябышкин В. Н., Судовые УКВ-радиостанции: Учебное пособие по дисциплине «Техническая эксплуатация транспортного оборудования». – Петропавловск-Камч.: КамчатГТУ, 2002. – 91 с.