

Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»  
(СибГУТИ)

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге  
(УрТИСИ СибГУТИ)



## ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### ПО ДИСЦИПЛИНЕ

#### Б1.В.19 Спутниковые и радиорелейные системы связи

Направление подготовки / специальность: **11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»**

Направленность (профиль) / специализация: **Инженерия телекоммуникаций**

Форма обучения: **очная**

Год набора: 2026

Разработчик (-и):

Старший преподаватель

/Д.А. Овчинников/

подпись

Профессор

/О.Д. Лобунец/

подпись

Оценочные средства обсуждены и утверждены на заседании кафедры инфокоммуникационных технологий и мобильной связи (ИТиМС)

Протокол от 27.11.2025 г. № 3

Заведующий кафедрой

/Н.В. Будылдина/

подпись

Екатеринбург, 2025

Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»  
(СибГУТИ)  
Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге  
(УрТИСИ СибГУТИ)

УТВЕРЖДАЮ  
директор УрТИСИ СибГУТИ  
\_\_\_\_\_ Минина Е.А.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 г.

## ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### ПО ДИСЦИПЛИНЕ

#### **Б1.В.19 Спутниковые и радиорелейные системы связи**

Направление подготовки / специальность: **11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»**

Направленность (профиль) / специализация: **Инженерия телекоммуникаций**

Форма обучения: **очная**

Год набора: 2026

Разработчик (-и):

Старший преподаватель \_\_\_\_\_ /Д.А. Овчинников/  
подпись

Профессор

\_\_\_\_\_ /О.Д. Лобунец/  
подпись

Оценочные средства обсуждены и утверждены на заседании кафедры инфокоммуникационных технологий и мобильной связи (ИТиМС)

Протокол от 27.11.2025 г. № 3

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ /Н.В. Будылдина/  
подпись

Екатеринбург, 2025

## 1. Перечень компетенций и индикаторов их достижения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Этап	Предшествующие этапы (с указанием дисциплин/практик)
ПК-1 Способен к проведению профилактических работ на оборудовании связи	ПК-1.2 Знает принципы построения, структурные схемы, состав и характеристики телекоммуникационного оборудования, принципы организации сигнализации и синхронизации в телекоммуникационных сетях	2	Б1.В.03 Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей; Б1.В.05 Распространение электромагнитных полей и волн; Б1.В.10 Общая теория связи.
ПК-1 Способен к проведению профилактических работ на оборудовании связи	ПК-1.2 Знает принципы построения, структурные схемы, состав и характеристики телекоммуникационного оборудования, принципы организации сигнализации и синхронизации в телекоммуникационных сетях	3	Б1.В.09 Цифровые устройства и микроконтроллеры; Б1.В.13 Цифровые телекоммуникационные системы; Б1.В.16 Компоненты оптических телекоммуникационных систем.

Форма промежуточной аттестации по дисциплине – экзамен.

## 2. Показатели, критерии и шкалы оценивания компетенций

2.1. Показателем оценивания компетенций на этапе их формирования при изучении дисциплины является уровень их освоения.

Индикатор освоения компетенции	Показатель оценивания	Критерий оценивания
<p>ПК-1.2 Знает принципы построения, структурные схемы, состав и характеристики телекоммуникационного оборудования, принципы организации сигнализации и синхронизации в телекоммуникационных сетях</p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- специфику использования радиочастот при построении систем связи;</li> <li>- принципы построения и работы сетей связи, а также состав станционного оборудования;</li> <li>- особенности методик расчета радиорелейных и спутниковых линий связи.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>выбирать необходимое оборудование для построения того или иного вида связи согласно ТЗ;</li> <li>- выполнять расчет линии связи с учетом особенностей распространения радиоволн;</li> <li>- пользоваться измерительным оборудованием.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками юстировки антенн;</li> <li>- базовыми навыками настройки и коммутации оборудования радиосвязи;</li> <li>- навыками чтения технических документов на оборудование связи.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- объясняет особенности радиочастот, их назначение и ограничения в системах связи; приводит примеры применения;</li> <li>- описывает структуру сетей и функции основных элементов станционного оборудования;</li> <li>- объясняет используемые методики, учитывает особенности распространения радиоволн.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- подбирает оборудование, учитывая технические условия и параметры линии связи;</li> <li>- корректно рассчитывает параметры линии, учитывает виды затухания и отражения;</li> <li>- работает с приборами, правильно выполняет замеры и интерпретирует результаты.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выполняет юстировку, гарантируя оптимальное положение антенны;</li> <li>- самостоятельно настраивает и коммутирует оборудование, устраняет простые неисправности;</li> <li>- читает и понимает схемы, инструкции и технические описания.</li> </ul>

## Шкала оценивания.

### Экзамен

5-балльная шкала	Критерии оценки
«отлично»	На экзаменационные вопросы даны полные аргументированные ответы. Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций на высоком уровне, обнаруживает всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала по пройденным темам дисциплины. Способен отвечать на широкий круг вопросов, может самостоятельно сделать верное умозаключение на смежные вопросы к предмету, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их при выполнении заданий.
«хорошо»	На экзаменационные вопросы даны полные аргументированные ответы, но с замечаниями преподавателя. Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций на среднем уровне: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при ответе на поставленные вопросы. Допускает некоторые ошибки при решении задач, но исправляет их с подсказкой преподавателя.
«удовлетворительно»	На экзаменационные вопросы даны ответы со слабой аргументацией, преподаватель задал множество наводящих вопросов. Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций на базовом уровне: в ходе выполнения практических заданий, решения задач допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, по некоторым дисциплинарным разделам, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями по изученным темам.
«неудовлетворительно»	Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций на уровне ниже порогового, проявляется недостаточность знаний. Дисциплинарные компетенции не сформированы. Проявляется полное или практически полное отсутствие знаний по темам дисциплины, отсутствуют навыки решения задач.

### 3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания по дисциплине

#### 3.1. В ходе реализации дисциплины используются следующие формы и методы текущего контроля

Тема и/или раздел	Формы/методы текущего контроля успеваемости
<b>ПК-1.2 Знает принципы построения, структурные схемы, состав и характеристики телекоммуникационного оборудования, принципы организации сигнализации и синхронизации в телекоммуникационных сетях</b>	
Тема 1 Введение.	Экзамен
Тема 2 Регулярные механизмы распространения радиоволн.	Экзамен Лабораторная работа - зачет
Тема 3 Особенности использования частотного ресурса в наземных и космических системах связи.	Экзамен Лабораторная работа - зачет
Тема 4 Типовые конструкции антенн в системах космической и наземной радиосвязи.	Экзамен Лабораторная работа - зачет
Тема 5 Наземная связь в ВЧ диапазоне.	Экзамен
Тема 6 Наземные тропосферные линии связи.	Экзамен
Тема 7 Наземные широкополосные системы мобильной и фиксированной связи.	Экзамен
Тема 8 Радиорелейные линии связи прямой видимости.	Экзамен
Тема 9 Оборудование цифровых радиорелейных линий связи.	Экзамен Лабораторная работа - зачет
Тема 10 Основы проектирования радиорелейных линий связи прямой видимости.	Экзамен Практическая работа -зачет
Тема 11 Спутниковые системы связи.	Экзамен
Тема 12 Существующие системы космической связи.	Экзамен Лабораторная работа - зачет

#### 3.2. Типовые материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

**ПК-1.2 Знает принципы построения, структурные схемы, состав и характеристики телекоммуникационного оборудования, принципы организации сигнализации и синхронизации в телекоммуникационных сетях**

Тема для дискуссии: «Выбор радиорелейного оборудования для построения линии связи»

Типовые вопросы для устного/письменного опроса:

- 1 Из каких блоков состоит комплект оборудования РРЛ?
- 2 Каким образом соединяются различные блоки РРЛ между собой?
- 3 Что такое коэффициент BER?
- 4 Почему чувствительность приемника имеет отрицательное значение при измерении ее в дБ?
- 5 Пояснить физический смысл максимального уровня сигнала на входе приемника?
- 6 Почему с увеличением рабочей частоты РРЛ используют антенны меньшего размера?

Типовое практическое задание: по теме «Расчет коэффициента неготовности интервала ЦРРЛ, обусловленного показателями надежности аппаратуры»

## 1 Задание:

1.1 Рассчитать коэффициент неготовности интервала согласно своему варианту.

## 2 Исходные данные:

2.1 Таблица 2.1 - Предельно нормируемые значения для построения и реконструкции ЦРРЛ

№ варианта	Участок ВСС России	Длина эталонного участка, $L$ км	Коэффициент неготовности $K_{нег}, \%$	SESR, %	Тип резервирования	Кол-во станций
1	Сеть доступа	До 50 км	0,1	0.015	1+0	2
2	Местная сеть	51-100	0,1	0.015	1+0	4
3	Внутризоновая сеть	101-600	0,1	0.025	1+0	6
4	Магистральная сеть	601-2500	0,3	0.054	1+0	10
5	Междугородний участок	2501-12500	1,5	0.07	1+0	25
6	Сеть доступа	До 50 км	0,1	0.015	1+1	2
7	Местная сеть	51-100	0,1	0.015	1+1	4
8	Внутризоновая сеть	101-600	0,1	0.025	1+1	6
9	Магистральная сеть	601-2500	0,3	0.054	1+1	10
10	Междугородний участок	2501-12500	1,5	0.07	1+1	25

Показатели надежности оборудования должны приводиться производителем на конкретное устройство. В рамках работы можно воспользоваться типовыми значениями, приведенными в таблице 2.2

Таблица 2.2– Показатели надежности оборудования

Блок	Наработка на отказ, ч	время восстановления работоспособности узла, ч. $T_{в1зр1}, T_{в2зр2}$	Резервирование
Антенна	$T_{АНТ} = 3,5 \times 10^6$	Гр1, 12ч	Не резервируемое (НРБ)
Кабель	$T_{КАБ} = 1,5 \times 10^6$	Гр1, 12ч	Не резервируемое
РОС	$T_{РОС} = 2 \times 10^6$	Гр1, 12ч	Не резервируемое
Передатчик	$T_{ПРД} = 2,5 \times 10^6$	Гр1, 12ч	Резервируемое (РБ)
Приемник	$T_{ПРМ} = 2,5 \times 10^6$	Гр1, 12ч	Резервируемое
БКР	$T_{БКР} = 1,5 \times 10^6$	Гр1, 12ч	Не резервируемое
Скремблер	$T_{СК} = 2 \times 10^6$	Гр2, 5ч	Не резервируемое
Модулятор	$T_{МД} = 3,5 \times 10^5$	Гр2, 5ч	Резервируемое
Демодулятор	$T_{ДМ} = 3 \times 10^5$	Гр2, 5ч	Резервируемое
УСИЛИТЕЛЬ	$T_{УСИЛ} = 5 \times 10^5$	Гр2, 5ч	Резервируемое
Мух/Демух	$T_{Мух/Демух} = 5 \times 10^5$	Гр2, 5ч	Не резервируемое
Дескремблер	$T_{ДСК} = 7 \times 10^5$	Гр2, 5ч	Не резервируемое

РОС - устройство разделения и объединения радиостволов по СВЧ;

БКР – блок коммутации режимов (является связующим звеном между аппаратурой уплотнения и аппаратурой ВЧ ствола, в том числе управляет резервированием).

2.2 Расчет коэффициента аппаратурной неготовности интервала ЦРРЛ без применения резервирования (конфигурация 1+0)

Расчет проводится в порядке, указанном ниже.

2.2.1 Определяются значения  $T$  и  $T_B$  всех узлов каждой из двух ЦРРС. ( $T$  - среднее время наработки на отказ узла, ч;  $T_B$  - среднее время восстановления работоспособности узла, ч.)

2.2.2 В зависимости от конструктивного оформления радиорелейного оборудования распределяют узлы ЦРРС1 по двум группам: Гр1 — узлов, работающих вне помещения (на открытом воздухе), и Гр2 — узлов, работающих в помещении (аппаратной). Оценивают значения  $T_{в1}$  для каждой группы ( $T_{в1зр1}$  и  $T_{в2зр2}$ ). Проводят аналогичные действия для ЦРРС2.

2.2.3 Рассчитывают наработку на отказ узлов, входящих в каждую группу:

$$T_{ГР_1} = (T_1^{-1} + T_2^{-1} + \dots + T_n^{-1})^{-1}, \quad (2.1)$$

$$T_{ГР_2} = (T_1^{-1} + T_2^{-1} + \dots + T_n^{-1})^{-1} \quad (2.2)$$

где  $T_i$  - средняя наработка на отказ узла 1 или 2 группы.  $i=1,2,\dots,n$

2.2.4 Для ЦРРС1 рассчитывают коэффициент аппаратурной неготовности для каждой группы с учетом своего значения  $T_{в1зр1}$ :

$$K_{нег.апп1} = \frac{T_{в1зр1}}{T_{ГР_1}}, \quad (2.3)$$

$$K_{нег.апп2} = \frac{T_{в2зр2}}{T_{ГР_2}} \quad (2.4)$$

2.2.5 Вычисляют значение  $K_{нег.апп}$  для ЦРРС1:

$$K_{нег.апп(ЦРРС1)} = K_{нег.апп1} + K_{нег.апп2} \quad (2.5)$$

2.2.6 Выполняя действия аналогично 2.1.3—2.1.5, вычисляют значение  $K_{нег.апп}$  для ЦРРС2. В данном случае  $K_{нег.апп}$  для ЦРРС1 можно принять равным  $K_{нег.апп}$  для ЦРРС2.

2.2.7 Рассчитывают значение коэффициента аппаратурной неготовности интервала ЦРРЛ:

$$K_{нег.апп} = K_{нег.апп(ЦРРС1)} + K_{нег.апп(ЦРРС2)} \quad (2.6)$$

2.3 Расчет коэффициента аппаратурной неготовности интервала ЦРРЛ без применения резервирования (конфигурация 1+1)

Расчет проводят в порядке, указанном ниже.

2.3.1 Выполняют действия по 2.1.1 2.1.3

2.3.2 Распределяют узлы по категориям, входящие в Гр1 и Гр2, по категориям:

1 — не резервируемые узлы — НРБ;

2 — резервируемые узлы — РБ.

2.3.3 Для каждой группы и категории узлов ЦРРС1 рассчитывают наработку на отказ:

$$T_{(НРБ)гр-j} = (T_1^{-1} + T_2^{-1} + \dots + T_j^{-1})^{-1} \quad (2.7)$$

$$T_{(РБ)гр-j} = (T_1^{-1} + T_2^{-1} + \dots + T_j^{-1})^{-1} \quad (2.8)$$

2.3.5 Для ЦРРС1 рассчитывают значение коэффициента аппаратурной неготовности:

- для группы узлов Гр1 (работающих вне помещений):

$$K_{нег.апп(НРБ)} = \frac{T_{\epsilon1гр1}}{T_{(НРБ)гр1}} \quad (2.9)$$

$$K_{нег.апп(РБ)} = \frac{T_{\epsilon1гр1}}{T_{(РБ)гр1}} \quad (2.10)$$

- для группы узлов Гр2 (работающих в помещениях):

$$K_{нег.ann(HPB)} = \frac{T_{\text{в1зр2}}}{T_{(HPB)\text{зр2}}} \quad (2.11)$$

$$K_{нег.ann(PB)} = \frac{T_{\text{в1зр2}}}{T_{(PB)\text{зр2}}} \quad (2.12)$$

2.3.6 Для ЦРРС1 рассчитывают коэффициент аппаратурной неготовности с учетом работы системы резервирования:

$$K_{нег.ann(ЦРРС1)} = K_{нег.ann1(HPB)} + K_{нег.ann2(HPB)} + \left( K_{нег.ann1(PB)} + K_{нег.ann2(PB)} \right)^2 \quad (2.13)$$

2.3.7 Выполняя действия аналогично 2.2.3—2.2.5, вычисляют значение коэффициента аппаратурной неготовности для ЦРРС2.

2.3.8 По формуле (9) рассчитывают значение коэффициента аппаратурной неготовности интервала ЦРРЛ

## 2.4 Расчет полного коэффициента аппаратурной неготовности

Вычисляют общий коэффициент аппаратурной неготовности путем умножения количества интервалов на коэффициент аппаратурной неготовности одного интервала:

$$K_{нег.ann\_PPЛ} = K_{нег.ann} \times N_{инт} \times 100\% \quad (2.14)$$

Полученное значение не должно превышать величину приведенную в приложении в таблица 2 - Предельно нормируемые значения для построения и реконструкции ЦРРЛ.

## 6. Контрольные вопросы

6.1 Пояснить разницу между системами резервирования 1+0, 1+1, 2+0.

6.2 Что такое горячее и холодное резервирование?

6.3 Почему коэффициент неготовности оборудования согласно требованиям ВСС (таблица 2 приложения) для сети доступа ниже, чем для междугородного участка?

6.4 Как резервирование влияет на коэффициент неготовности оборудования?

Типовое задание для самостоятельной работы:

1. Подготовка к письменному опросу
2. Подготовка отчета по практической работе
3. Подготовка к экзамену
4. Подготовка курсовой работы

Типовое практическое задание: по теме «Исследование принципов работы глобальных систем спутникового позиционирования GPS и ГЛОНАСС»

### **1. Цель работы:**

- 1.1 Ознакомление с лабораторным стендом.
- 1.2 Приобретение навыков по включению, настройке и применению лабораторного стенда.

### **2 Литература:**

2.1 Кокорич, М. Г. Сети спутниковой связи и вещания : учебное пособие для СПО / М. Г. Кокорич. — Саратов : Профобразование, 2025. — 159 с. — ISBN 978-5-4488-2506-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/150118.html> (дата обращения: 10.11.2025). — Режим доступа: для авторизир. пользователей. - DOI: <https://doi.org/10.23682/150118>

### **3. Порядок выполнения работы:**

- 3.1 Ознакомление с техническим описанием лабораторного стенда.
- 3.2 Сборка лабораторного комплекта по определению местоположения с помощью лабораторного стенда.

### **4. Теоретическая часть**

Стенд предназначен для проведения лабораторно-практических работ по изучению систем спутниковой навигации. Стенд позволяет: изучить основные принципы работы систем спутникового позиционирования, выявить преимущества и недостатки систем ГЛОНАСС и GPS, произвести их сравнительный анализ, получить навыки в низкоуровневом программировании чипа приёмника сигналов со спутников, изучить режимы энергопотребления модуля приёмника, изучить влияния внешних факторов на качество приема и точность определения координат.

Внешний вид лабораторного стенда «Система спутниковой навигации» представлен на рис. 1.



Рисунок 1 - Стенд «Система спутниковой навигации»

**Элементы стенда:** 1. Индикатор питания стенда; 2. Кнопка включения питания стенда; 3. Индикатор питания приемника; 4. Сенсор включения питания приемника; 5. Сенсор переключения направления передачи данных; 6. Светодиод «Активна передача данных на ПК»; 7. Светодиод «Активна передача данных на дисплей»; 8. Информационный дисплей; 9. Сенсор листания данных дисплея назад; 10. Сенсор листания данных дисплея вперед; 11. Мнемодиаграмма, отражающая назначение основных выводов приемника GPS-сигнала; 12. Светодиод «Идет передача данных»; 13. Светодиод «Идет прием данных»; 14. Светодиод метки времени.

Индикатор процесса заряда аккумулятора расположен на боковой стенке справа стороны.

Назначение элементов расположенных на задней стенке стенда представлено на рис. 2.



Рисунок 2 - Внешний вид задней стенки стенда

На задней стенке лабораторного стенда установлены следующие элемент (см. рис. 2): 1. USB-разъем получения данных; 2. USB-разъем программирования приемника; 3. Разъем подключения антенны; 4. Кнопка перезагрузки приемнике RESET.

С помощью данного лабораторного стенда можно проводить занятия по следующим темам:

1. Изучение основных принципов работы глобальных систем позиционирования.
2. NMEA-протокол. Особенности работы, назначение различных посылок. Посылки GGA, GSA, GSV, RMC, VTG.
3. Команды управления приемником. Включение и выключение некоторых типов посылок. Использование модуля для генерации сигналов точного времени.
4. Установление соединения со спутниками. Виды стартов, способы ускорения запуска модуля. Эфемериды, альманахи.
5. Изучение факторов, влияющих на точность приема. Различные типы антенн влияние зданий и помех, влияющих на качество приема. Изучение технологий HDOP, PDOP, VDOP. Изучение факторов, влияющих на отношения сигнал/шум».
6. Изучение технологии составления маршрутов, работа приемника в качестве трекера.

Первые системы глобального позиционирования GPS (Global Positioning System) разрабатывались исключительно для военных целей. Глобальная навигационная система GPS предназначена для передачи навигационных сигналов, которые смогут одновременно приниматься во всех регионах мира. Инициатором создания GPS-системы стало Министерство

Обороны США. Ее разработка началась в 1973 г. Проект создания спутниковой сети для определения координат в режиме реального времени в любой точке земного шара был назван NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System навигационная система определения времени и дальности). Первая орбитальная группировка системы разворачивалась с 1989 по 1994 г. На орбиту были выведены 24 навигационных спутника Block II. Окончательно GPS-система была введена в эксплуатацию в 1995 г.

#### *Состав GPS-системы*

В состав GPS-системы входят три основных сегмента: космический, наземный и пользовательский. Космический сегмент состоит из 28 автономных спутников, равномерно распределенных по орбитам с высотой 20350 км (для полнофункциональной работы системы достаточно 24 спутников). На рис. 3 показана космическая подсистема GPS.

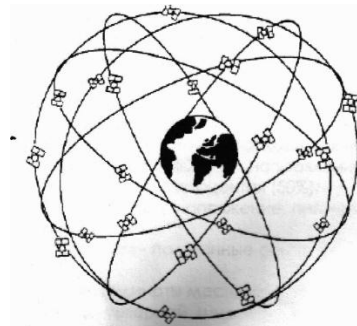


Рисунок 3 - Космическая подсистема GPS

Спутники в системе GPS движутся в шести орбитальных плоскостях, сдвинутых друг относительно друга по прямому восхождению восходящего узла на  $60^\circ$  и Наклонение плоскостей орбит к плоскости экватора  $55^\circ$ . Орбиты близкие к круговым. Средняя высота орбит 20189 км. В каждой орбитальной плоскости располагается 4 спутника. Период обращения спутников 11 часов 57 минут 59.2 сек (половина звездных суток).

На рис. 4 показана подсистема КА ГЛОНАСС. Спутники в системе ГЛОНАСС движутся в трех орбитальных плоскостях, сдвинутых друг относительно друга по прямому восхождению восходящего узла на  $120^\circ$  Наклонение плоскостей орбит к плоскости экватора  $64.8^\circ \pm 0.3^\circ$ . Орбиты близкие к круговым. Средняя высота орбит 19100 км. В каждой орбитальной плоскости равномерно располагается 8 спутников. Период обращения спутников 11 часов 15 минут  $44 \pm 5$  сек.

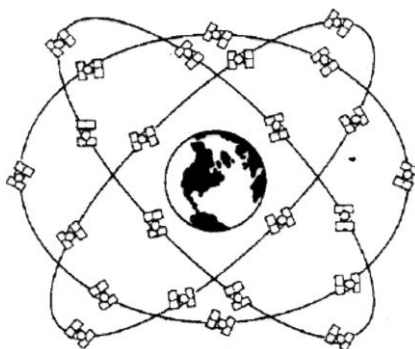


Рисунок 4 - Подсистема КА ГЛОНАСС

На каждом спутнике установлены атомные часы, периодически синхронизируемые по командам с Земли. Часы каждого спутника синхронизируют излучение со спутника специального кодового сигнала. Перед излучением кодовые сигналы на спутниках модулируются сообщениями о траекториях движения спутников и параметрах моделей смещения шкал времени спутников относительно шкалы системы. Такие сообщения принято называть навигационными. Структура сигналов, излучаемых разными спутниками, такова, что приемник имеет возможность разделять эти сигналы, оценивать их параметры и выделять навигационные сообщения независимо друг от друга. Подсистема управления занимается определением траекторий движения и параметров моделей смещения шкал времени спутников относительно шкалы

системы. Сведения о спутниковых траекториях и параметрах моделей смещения шкал времени спутников по специальной радиолинии передаются на спутники и там используются для формирования навигационных сообщений.

Каждый спутник излучает на 2 частотах специальный навигационный сигнал, в котором зашифровано 2 вида кода. Один из них доступен лишь немногим пользователям, среди которых, конечно же, военные и федеральные службы США. Кроме этих 2 сигналов, спутник излучает и третий, информирующий пользователя о дополнительных параметрах (состоянии спутника, его работоспособности и др.). Параметры орбит спутников периодически контролируются сетью наземных станций слежения (всего 5 станций, находящихся в тропических широтах), с помощью которых (не реже 1-2 раз в сутки): вычисляются баллистические характеристики, регистрируются отклонения спутников от расчетных траекторий движения, определяется собственное время бортовых часов спутников, осуществляется мониторинг исправности навигационной аппаратуры и др. Третий сегмент GPS-системы это GPS-приемники, выпускаемые и как самостоятельные приборы, и как платы для подключения к ПК, бортовым компьютерам и другим аппаратам.

Основные возможности GPS-системы (при наличии приемника GPS- сигнала):

- определение местонахождения мобильного абонента;
- определение наиболее короткого и удобного пути до пункта назначения;
- определение обратного маршрута;
- определение скорости движения (максимальной, минимальной, средней);
- определение времени в пути (прошедшего и сколько потребуется еще) и др.

*Основы функционирования GPS-системы*

Теория дальнометрии основана на вычислении расстояния распространения радиосигнала от спутника к приемнику по временной задержке. Если знать время распространения радиосигнала, то пройденный им путь легко вычислить, умножив время распространения радиосигнала на скорость света.

Каждый спутник GPS-системы непрерывно генерирует радиоволны 2 частот ( $L1 = 1575.42$  МГц и  $L2 = 1227.60$  МГц). Навигационный сигнал представляет собой фазоманипулированный псевдослучайный PRN-код (Pseudo Random Number code). PRN-код бывает 2 типов. Первый C/A-код (Coarse Acquisition code грубый код) используется в гражданских приемниках. Он позволяет получать лишь приблизительную оценку местоположения, поэтому и называется грубым кодом. C/A-код передается на частоте  $L1$  с использованием фазовой манипуляции псевдослучайной последовательности длиной 1023 символа. Защита от ошибок обеспечивается посредством кода Гоулда. Период повторения C/A-кода 1 мс. Другой код P (precision code точный код) обеспечивает более точное вычисление координат, но доступ к нему ограничен. В основном, P-код предоставляется военным и (иногда) федеральным службам США (например, для решения задач геодезии и картографии). Этот код передается на частоте  $L2$  с применением сверхдлинной псевдослучайной последовательности с периодом повторения 267 дней. Этот код доступен в принципе и гражданским лицам. Но алгоритм его обработки гораздо более сложен, поэтому и аппаратура стоит дороже. В свою очередь, частота  $L1$  модулируется как C/A, так и P-кодом. В сигнале GPS может присутствовать и так называемый Y-код, являющийся зашифрованной версией P-кода (в военное время система шифровки может меняться). Кроме навигационных сигналов, спутник непрерывно передает различного рода служебную информацию. Пользователь GPS-приемника информируется о состоянии спутника и его параметрах: системном времени; эфемеридах (точных данных об орбите спутника); прогнозируемом времени задержки распространения радиосигнала в ионосфере (т. к. скорость света меняется при прохождении разных слоев атмосферы), работоспособности спутника (в так называемом альманахе содержатся обновляемые каждые 12.5 мин сведения о состоянии и орбитах всех спутников). Эти данные (длиной 1500 бит) передаются со скоростью 50 бит/с на частотах  $L1$  или  $L2$ .

У каждого GPS-приемника есть собственный генератор, работающий на той же частоте и модулирующий сигнал по тому же закону, что и генератор спутника. Таким образом, по времени

задержки между одинаковыми участками кода, принятого со спутника и сгенерированного самостоятельно, можно вычислить время распространения сигнала, а, следовательно, и расстояние до спутника. Одной из основных технических проблем описанного выше метода является синхронизация часов на GPS-спутнике и в GPS-приемнике. Даже минимальная погрешность может привести к огромной ошибке в определении расстояния. Следует сказать, что на каждом GPS-спутнике смонтированы высокоточные атомные часы. Естественно, что в каждом GPS-приемнике такие часы установить невозможно. Поэтому для коррекции ошибок в определении координат из-за погрешностей часов, встроенных в GPS-приемник, применяется некоторая избыточность в данных, необходимых для однозначной привязки к местности.

#### *Определение координат с помощью GPS-системы*

В основе определения координат GPS-приемника лежит вычисление расстояния от него до нескольких спутников, расположение которых считается  $r$  известным (эти данные находятся в принятом с GPS-спутника альманахе). Метод  $i$  Вычисления положения объекта по измерению его удаленности от точек с  $v$  заданными координатами называется трилатерацией (рис. 5).

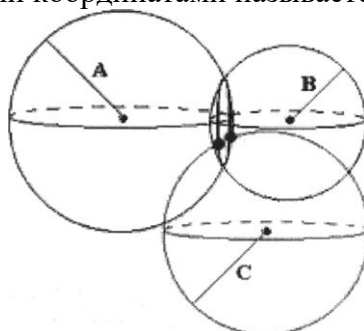


Рисунок 5- Трилатерация

Если известно расстояние  $A$  до одного спутника, то координаты приемника определить нельзя (он может находиться в любой точке сферы радиусом  $A$ , описанной вокруг спутника). Пусть известна удаленность  $B$  приемника от второго  $t$  спутника. В этом случае определение координат также не представляется возможным объект находится на окружности, которая является пересечением двух сфер. Расстояние  $C$  до третьего спутника сокращает неопределенность в координатах до двух точек (обозначены двумя жирными точками на рис. 1.4). Этого уже достаточно для однозначного определения координат дело в том, что из двух возможных точек расположения приемника лишь одна находится на поверхности Земли (или в непосредственной близости от нее), а вторая, ложная, оказывается либо глубоко внутри Земли, либо очень высоко над ее поверхностью. Таким образом, для трехмерной навигации теоретически достаточно знать расстояния от ! приемника до 3 спутников.

## **5. Практическая часть**

1. Внимательно ознакомьтесь с описанием стенда и назначением органов управления.

Включите стенд. Поменяйте направление передачи данных, пролистайте окна на встроенном дисплее.

Подключите модуль к компьютеру. Запустите сервисную программу. Просмотрите закладки и пункты меню.

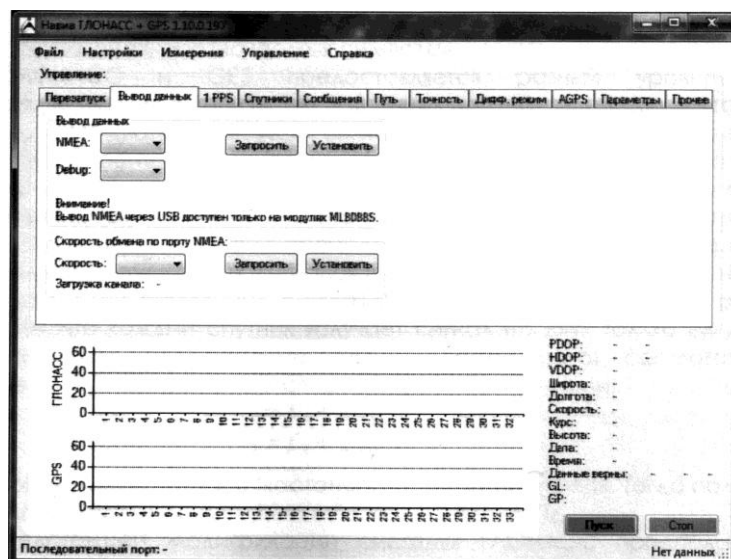


Рисунок 6. Внешний вид сервисной программы

Объясните, что отображается на экране дисплея и компьютера.

## 5. Контрольные вопросы

- 5.1 Какую информацию передают спутники позиционирования?
- 5.2 Сколько приемников может обслуживать каждый спутник?
- 5.3 Как происходит вычисление координат?
- 5.4 Что такое «маркер событий»?

Типовые вопросы и задания к экзамену:

1. Принципы построения радиорелейной связи и спутниковой связи, классификация, диапазоны применяемых частот.
2. Передающее оборудование телевизионного ствола аналоговой РРЛ.
3. Чтение принципиальной схемы
4. Планы частот на РРЛ (распределение частот между станциями в одном стволе и между стволами одной станции).
5. Тропосферные РРЛ
6. Чтение структурной схемы частотного модулятора и демодулятора
7. Основное уравнение радиосвязи для условий свободного пространства.
8. Согласование в волноводах, ферритовые вентили и циркуляторы.
9. Чтение принципиальной схемы частотного модулятора
10. Понятие множителя ослабления  $V$  и минимально допустимого множителя ослабления  $V_{min}$  доп..
11. Циркуляторы РРСЦ, щелевые мосты, назначение.
12. Чтение структурной схемы частотного детектора с фазовой автоподстройкой частоты.
13. Типы интервалов на РРЛ, положительная и отрицательная рефракция; причины, влияющие на устойчивость связи.
14. Назначение синус квадратичного импульса
15. Как организовать ТВ вещание в труднодоступной местности?

16. Гипотетические эталонные цепи (ГЭЦ), рассказать по раздаточному материалу для магистральных РРЛ РФ.
17. Назначение импульса синус 20т
18. Чтение принципиальной схемы
19. Особенности передачи телевидения по радиорелейной линии, роль предискажений.
20. Чтение структурной схемы приемной земной станции спутниковой связи
21. Чтение принципиальной схемы усилителя промежуточной частоты на транзисторах.
22. Структурная схема приемника оконечной станции аналоговых РРЛ
23. Автоматическая регулировка усиления. По схеме КУРС
24. Чтение структурной схемы модулятора на генераторах управляемого напряжения
25. Основное уравнение радиосвязи для спутниковых систем связи (участок ретранслятор – Земля), диаграмма уровней.
26. Согласование в волноводах, ферритовые вентили и циркуляторы.
27. Чтение принципиальной схемы фильтра промежуточной частоты
28. Структурные схемы передатчиков ОРС аналоговых радиорелейных линий связи.
29. Нарисуйте временную диаграмму на входе приемника аналоговых РРЛ
30. На мачте РРЛ одна антенна, какой это вид станции
31. Структурная схема ПРС с одним генератором СВЧ и генератором сдвига.
32. Нарисуйте временную диаграмму сигналов на выходе передатчика для аналоговых РРЛ.
33. Чтение принципиальной схемы
34. Структурная схема ПРС с двумя генераторами СВЧ.
35. Какие шумы и почему являются основными на РРЛ (особенно в случаях с замираниями)?
36. На мачте РРС две антенны, какой тип станции вы предполагаете
37. Структурная схема ПРС с усилением на СВЧ.
38. По раздаточному материалу рассказать о типовом каскаде УПЧ комплекса КУРС
39. Структурная схема цифровой радиорелейной станции.
40. Обоснование выбора диапазона СВЧ для РРСП и ССП.
41. Антенны радиорелейных систем передачи, параболические и перископические.
42. Чтение принципиальной схемы частотного детектора
43. Синус квадратичный импульс понизился в два раза
44. Антенны РРСП, РПА, и АДЭ
45. Модулятор на биениях
46. Чтение структурной схемы
47. Циркуляторы РРСП, щелевые мосты, назначение.
48. Гетеродинные тракты приемников РРСП  
(на примере КУРС - 8 – 0).
49. Чтение принципиальной схемы частотного детектора на одном диоде. Недостатки схемы
50. Основной тип волны в прямоугольном волноводе, критическая длина волны.
51. Гетеродинные тракты передатчиков РРСП  
(на примере КУРС – 8 – 0).
52. Чтение принципиальной схемы
53. Объясните принципы организации связи с помощью РРЛ прямой видимости.
54. Какие виды модуляции применяются в современных РРЛ.
55. Чтение структурной схемы
56. Коэффициент шума приёмника, способы его уменьшения, типы МШУ.
57. Структурная схема приемной станции спутниковой связи

58. Чтение принципиальной схемы
59. Принцип действия одноконтурного параметрического МШУ.
60. Структурная схема участка ЦРРЛ.
61. Какие частоты используются для зоновых РРЛ?
62. Особенности смесителей приёма, требования к ним.
63. Какие диапазоны частот используются для магистральных РРЛ?
64. Тракт промежуточной частоты приёмников РРСЦ, структурная схема, обоснование выбора ПЧ.
65. Гетеродинный тракт приемника РРС «Курс-8-0».
66. Недостатки эллиптической орбиты ИСЗ (КА).
67. Обоснование выбора геостационарной орбиты спутников Земли.
68. Рассказать о работе гетеродина передатчика КУРС – 8 – 0 (место усилителя в гетеродинном тракте).
69. Многоуровневое кодирование в цифровых радиорелейных системах передачи.
70. Скремблирование цифрового сигнала в ЦРРС.
71. Назначение регенераторов в ЦРРС.
72. Построение цифровой радиорелейной станции.
73. Чем определяется уровень шумов в ЦРРЛ.
74. Частный диапазон цифровых РРЛ иерархий PDH и SDH.
75. Электропитание цифровых РРС.
76. Для чего применяется перемежение цифрового сигнала в ЦРРС.
77. Организация мониторинга ЦРРЛ.
78. Гетеродинный тракт ЦРРС.

Типовые практические задания (задачи) к экзамену:

1. Рассчитать максимальную дальность связи РРЛ при высоте подвеса передающей антенны 25 метров, высота подвеса приемной антенны 15 метров.
2. Рассчитать дальность связи при чувствительности приемника 100 пВт, мощности передатчика 1 Вт, затуханию в свободном пространстве 10 дБ/км. Усилению антенн 8 дБ.
3. Рассчитать мощность сигнала на входе приемника на расстоянии 500 метров при мощности передатчика 0.5 Вт, КУ антенны 25 дБ, затухание в свободном пространстве 25 дБ/км.
4. Перевести 1 Вт, 100 Вт, 0,1 Вт в дБ и дБм. Перевести 1 В, 0,1 В в дБ.
5. Рассчитать максимальную дальность приема ТВ сигнала с Останкинской телебашни (высота 540м) до приёмника, расположенного в квартире.
6. Рассчитать мощность сигнала на входе приемника на расстоянии 50 км при мощности передатчика 50 Вт, КУ антенны 34 дБ, затухании в свободном пространстве 3 дБ/км.
7. Рассчитать высоту подвеса антенн для дальности связи РРЛ 60 км.

Банк контрольных вопросов, заданий и иных материалов, используемых в процессе процедур текущего контроля и промежуточной аттестации находится в учебно-методическом комплексе дисциплины и/или представлен в электронной информационно-образовательной среде по URI: <http://www.aup.uisi.ru/>.

#### **4.1. Методические материалы проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся**

Перечень методических материалов для подготовки к текущему контролю и промежуточной аттестации:

1. Методические указания к выполнению практических работ по дисциплине «Спутниковые и радиорелейные системы связи». –URL: <http://www.aup.uisi.ru/>.
2. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Спутниковые и радиорелейные системы связи». –URL: <http://www.aup.uisi.ru/>.