

Помехоустойчивость навигационных модулей (лабораторная работа)

Содержание

- 1 Цели работы
- 2 Общая информация
 - 2.1 Основные понятия
 - 2.2 Схемы экспериментальных установок
- 3 Лабораторное задание
 - 3.1 1 Определение коэффициента передачи аттенюатора
 - 3.2 2 Определение разности коэффициентов передачи разветвителя
 - 3.3 3 Определение помехоустойчивости навигационного модуля в условии холодного старта
 - 3.4 4 Определение помехоустойчивости навигационного модуля в условии слежения
- 4 Контрольные вопросы
- 5 Приложение А. Бланк протокола
 - 5.1 Помехоустойчивость поиска
 - 5.2 Помехоустойчивость слежения
- 6 Приложение В. Характеристики помех
- 7 Приложение С. Описание навигационных модулей
 - 7.1 НАВИС NV-08С
 - 7.2 НАВИС СН-4706
 - 7.3 u-blox NEO-6Q
- 8 Приложение Д. Описание постановщиков помех
- 9 Приложение Е. Описание интерфейсных программ навигационных модулей
 - 9.1 u-center

Цели работы

- Ознакомиться с современными образцами навигационной аппаратуры потребителя, их интерфейсными программами;
- Освоить методику оценивания помехоустойчивости навигационной аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем;
- Развить навыки использования радиотехнических измерительных приборов.

Общая информация

Основные понятия

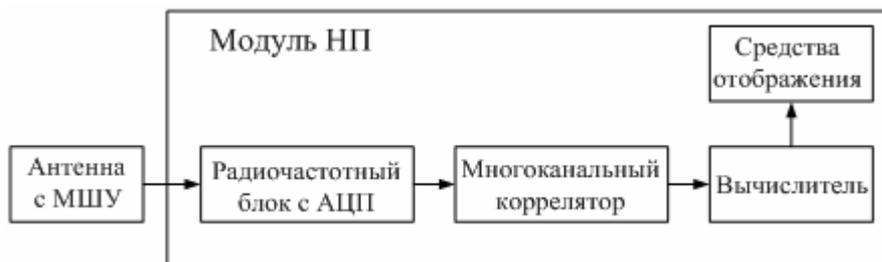


Рисунок 1 - Структурный состав НАП

Объектом проведения экспериментальных исследований является модуль навигационного приемника (далее по тексту — модуль НП, навигационный модуль), работающий в составе навигационной аппаратуры потребителей (НАП) (см. рис. 1).

Под *помехоустойчивостью* модуля НП понимается его способность работать в условиях воздействия внешних помех. В качестве характеристики помехоустойчивости принимается граничное (наибольшее) значение отношения мощности помехового сигнала к мощности полезного сигнала

$$K_{J/S} = \frac{P_J}{P_S}$$

на входе модуля НП, при котором модуль НП еще может решать целевую задачу с заданными характеристиками. Здесь P_S — мощность полезного сигнала одного навигационного спутника на выходе антенны, P_J — мощность помеховых сигналов на выходе антенны. Если мощности навигационных сигналов не равны, то P_S - мощность самого слабого сигнала из участвующих в навигационном решении.

Под заданными характеристиками решения целевой задачи понимается выдача навигационного 3D-решения без перерывов, превышающих 10-секундный интервал.

Параметр $K_{J/S}$, который называется *коэффициентом подавления* НП, удобно характеризовать в децибелах, т.е.

$$J/S = 10 \log_{10} (K_{J/S}) \text{ [дБ]}.$$

Основными путями повышения помехозащиты НАП являются:

- введение избыточности по навигационным сигналам, т.е. увеличение числа принимаемых и обрабатываемых навигационных сигналов, в том числе от различных глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС);
- прием и обработка перспективных двухкомпонентных (пилот и данных) сигналов ГНСС;

- использование высококачественных комплектующих и элементной базы;
- оптимизация алгоритмов обработки сигналов в НАП;
- комплексирование НАП ГНСС с другими информационными системами и в первую очередь с инерциальной навигационной системой (ИНС);
- частотная селекция (компенсация) помех;
- пространственная селекция (подавление) помех с использованием антенных решеток с управляемой диаграммой направленности.

Схемы экспериментальных установок

На рис. 2 представлена схема экспериментальной установки, предназначенной для измерения характеристик аттенюатора, на рис. 3 - разветвителя с соединительными кабелями и отсечкой постоянного тока. На рис. 4 представлена основная схема проведения экспериментов по измерению помехоустойчивости и чувствительности навигационных модулей.

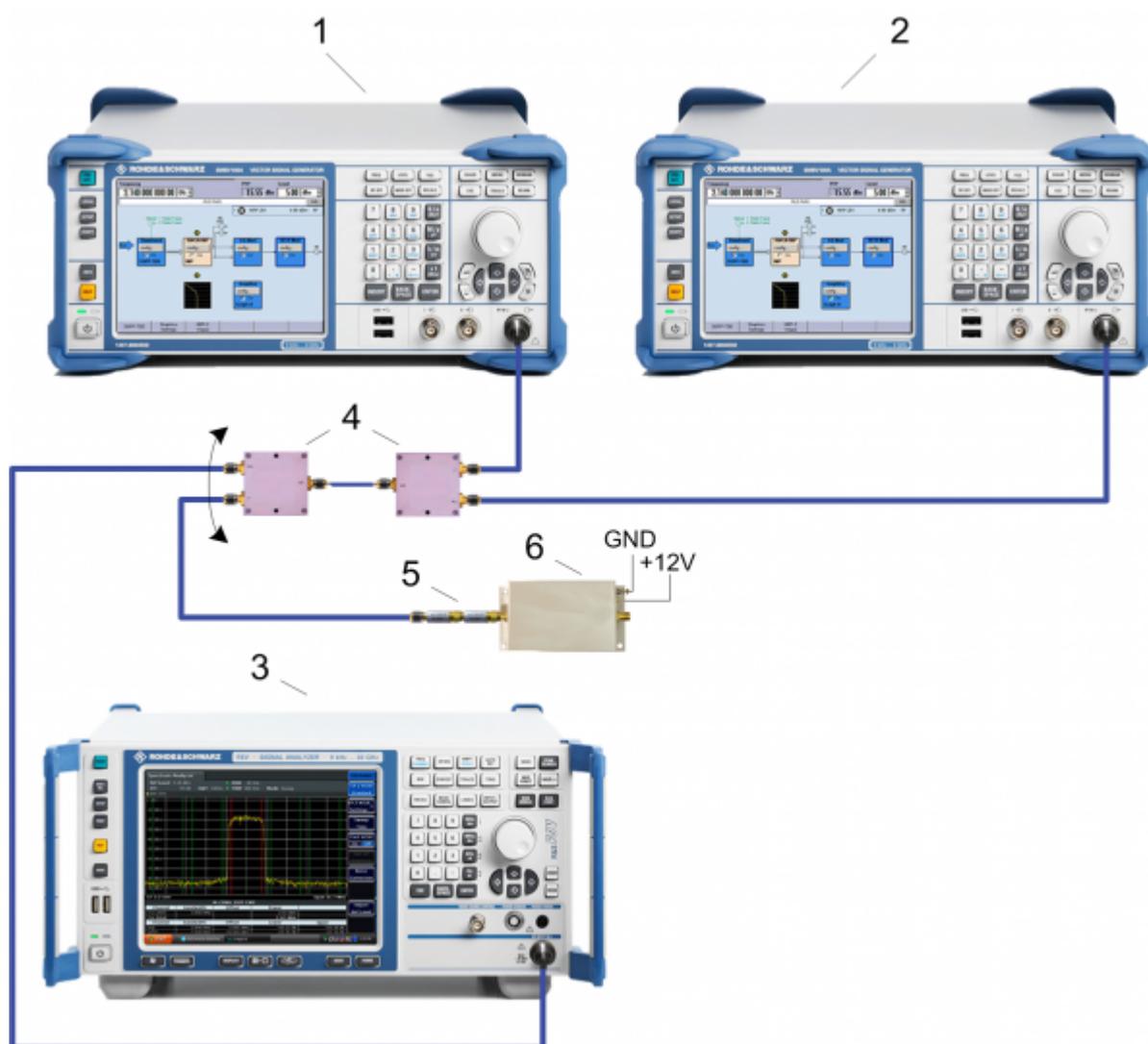


Рисунок 2 - Схема экспериментальной установки для измерения характеристик разветвителя

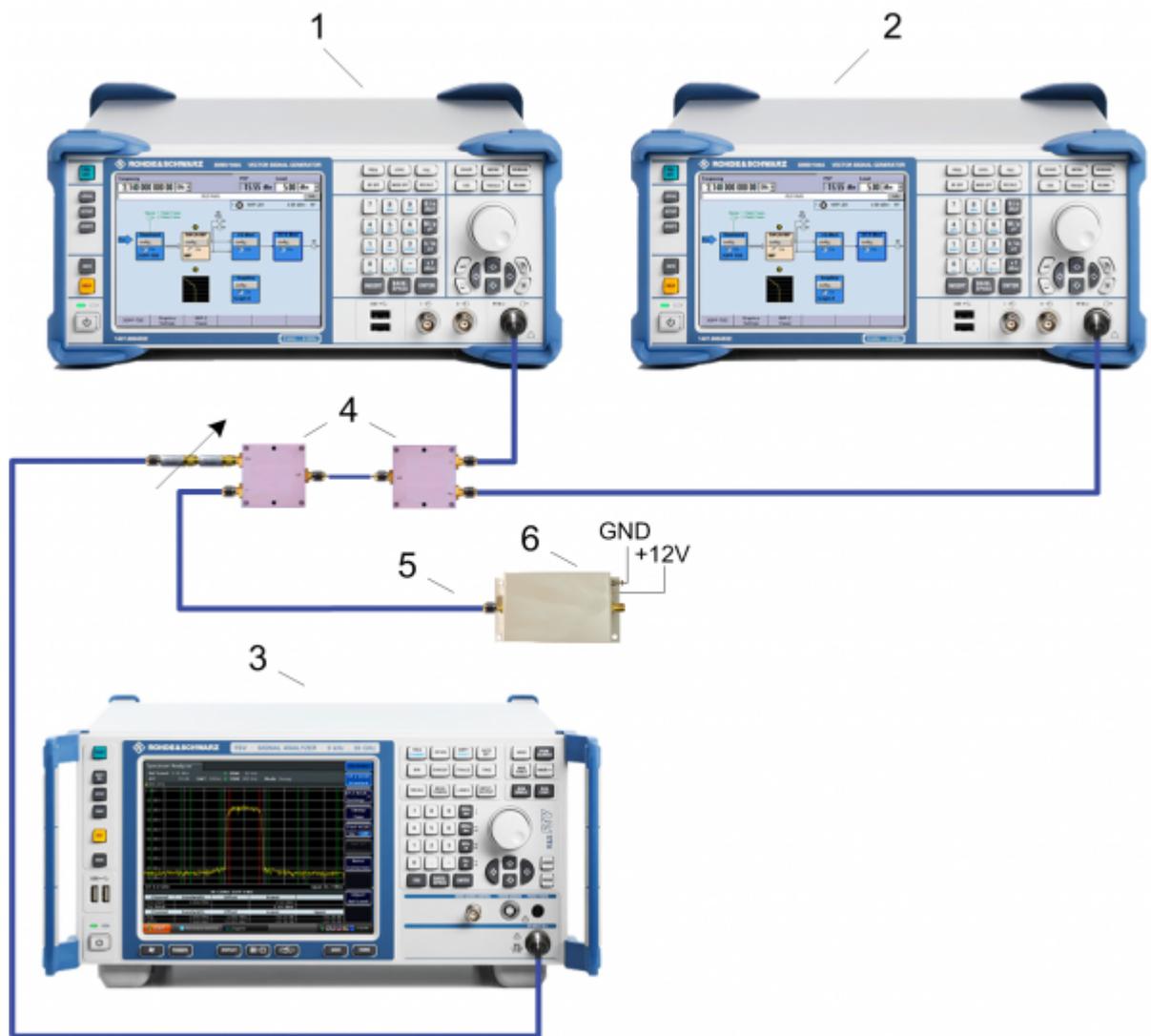


Рисунок 3 - Схема экспериментальной установки для измерения характеристик аттенюатора

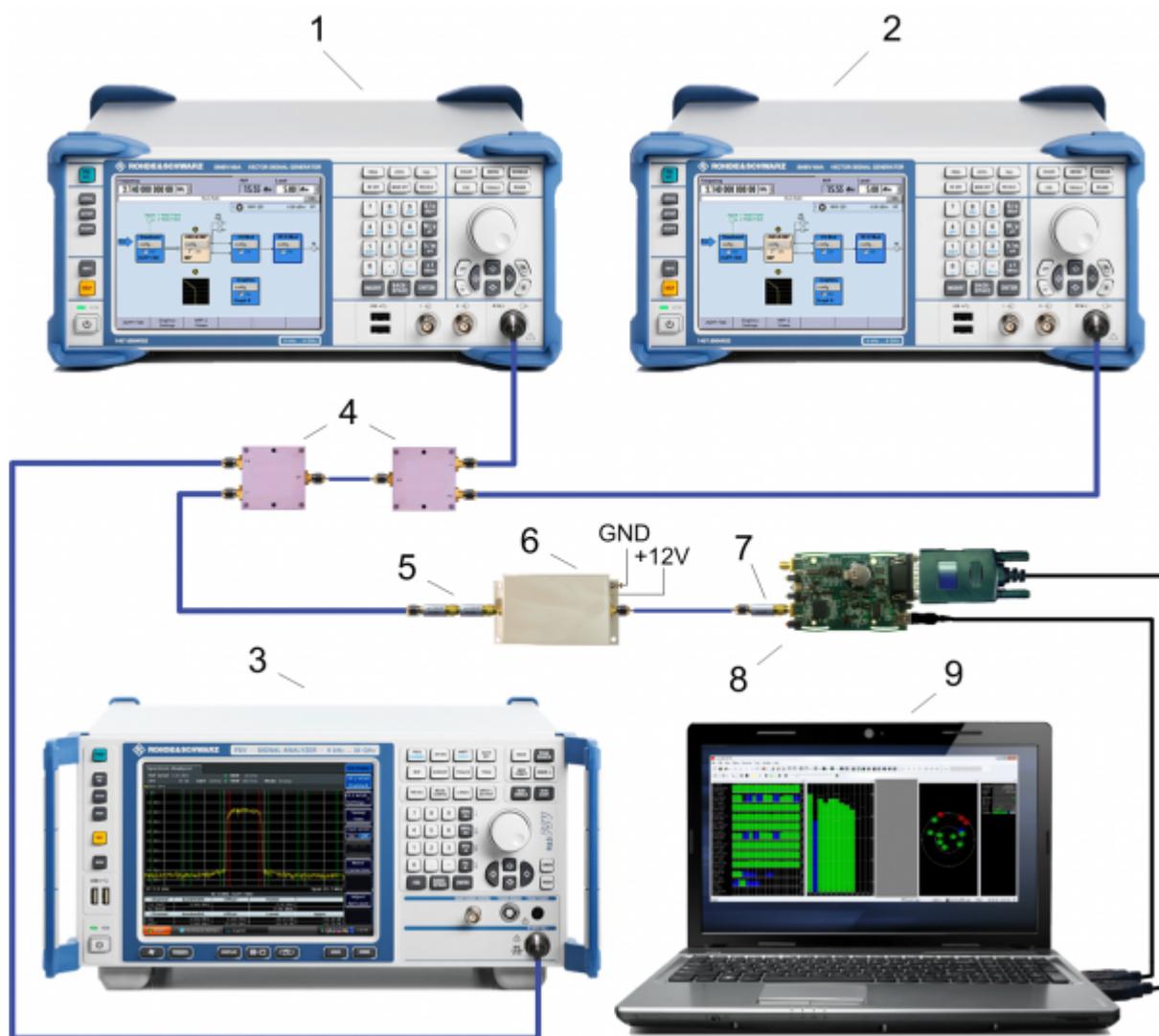


Рисунок 4 - Схема экспериментальной установки для измерения чувствительности и помехоустойчивости навигационных модулей

Таблица 1. Используемое в работе оборудование

На схемах	Прибор	Пример	Функция	Кол-во
1	Генератор навигационного сигнала	R&S SMBV, R&S SMU	Имитация навигационных сигналов	1
2	Генератор помехового сигнала	R&S SMBV, R&S SMU, R&S SMC (только гармонические)	Генерация помеховых сигналов: гармонических, шумовых, сигналоподобных.	1

3	Анализатор спектра	R&S FSV, R&S FSU	Измерение мощности навигационного сигнала, помехи, калибровочных сигналов	1
4	ВЧ-сумматор/разветвитель L-диапазона	MiniCircuits ZAPD-2DC-S+	Суммирование помехового и навигационного сигналов; разветвление суммарного сигнала к анализатору спектра и навигационному модулю	2
5	Аттенюатор 30 дБ L-диапазона	MiniCircuits VAT-30+	Ослабление сигнала до уровня, соответствующему выходной мощности приемной антенны навигационной аппаратуры потребителей	2
6	Малозумящий усилитель (МШУ)	MiniCircuits ZRL-2400LN+	Имитация МШУ навигационной аппаратуры потребителей	1
7	DC-Block (отсечка постоянного тока)	MiniCircuits BLK-89-S+	Предотвращение подачи постоянного напряжения от навигационного модуля к аттенюаторам	1
8	Модуль навигационного приемника		Объект исследования	1
9	Персональный компьютер с интерфейсными кабелями		Выполнение интерфейсной программы, обмен данными с навигационными модулями, питание навигационных модулей.	1
10	Соединительные кабели L-диапазона		Соединение генераторов и сумматора, соединение сумматоров, соединение аттенюатора и МШУ, соединение МШУ и навигационного модуля, соединение разветвителя и спектроанализатора.	6

11	Источник питания	GW Instek GPS-4303	Питание МШУ, навигационных модулей	1
----	------------------	--------------------	------------------------------------	---

Лабораторное задание

Для проведения экспериментального исследования помехоустойчивости модуля НП выполните подготовительные этапы 1, 2, а затем выполните пункты методики, соответствующие составленному плану экспериментальных исследований. Результаты фиксируйте в протоколе.

1 Определение коэффициента передачи аттенюатора

1.1 Собрать экспериментальную установку для измерения характеристик аттенюатора согласно рис. 2. В качестве аттенюатора использовать сборный с номинальным коэффициентом ослабления 50-60 дБ.

1.2 Включить генератор навигационного сигнала (ГНС), анализатор спектра (далее АС). Перевести АС в режим измерения мощности в полосе равной полосе используемого навигационного сигнала. Дальнейшие измерения мощности с помощью АС проводить в этом режиме, устанавливая в качестве центральной частоты анализа центральную частоту навигационного или помехового сигнала.

1.3 С помощью ГС и АС определить коэффициент ослабления аттенюатора K_{att} , дБ. При включенном в схему аттенюаторе установить на ГС формирование синусоидального сигнала с частотой, равной центральной частоте рабочего диапазона (для ГЛОНАСС L1 1602,0 МГц, для GPS L1 1575,42 МГц) и мощностью, измеряемой АС, $P_{with} = -70$ дБм. Исключить их схемы аттенюатор - соединить разветвитель и АС. Измерить мощность $P_{without}$ синусоидального сигнала с помощью АС. Найти $K_{att} = P_{without} - P_{with}$. Занести значение K_{att} (положительное число) в протокол.

2 Определение разности коэффициентов передачи разветвителя

2.1 Собрать экспериментальную установку для измерения характеристик разветвителя согласно рис. 3.

2.2 Установить на ГНС формирование синусоидального сигнала с частотой, равной центральной частоте рабочего диапазона (для ГЛОНАСС L1 1602,0 МГц, для GPS L1 1575,42 МГц) и мощностью, измеряемой АС, $P_{g,1} = -60$ дБм. Текущий выход разветвителя, соединенный с АС, считать *первым*.

2.3 Перекоммутировать выходы разветвителя (при возможности, вместе с соединительными кабелями). Измерить мощность сигнала $P_{g,2}$ с помощью АС. Текущий выход разветвителя, соединенный с АС, считать *вторым*.

2.4 Определить разность коэффициентов передачи разветвителя как $\Delta K = P_{g,2} - P_{g,1}$, зафиксировать полученное значение в протоколе. В дальнейшем второй выход использовать для подключения к АС, первый - к МШУ.

3 Определение помехоустойчивости навигационного модуля в условиях холодного старта

3.1 При необходимости выполнить пункты подготовки 1, 2, занести полученные значения K_{att} , ΔK в протокол.

3.2 Занести в протокол параметры, используемые при проведении экспериментов:

- $T1 = 60$ сек;
- $T2 = 300$ сек.

3.3 Собрать экспериментальную установку согласно рис. 4.

3.4 Включить ЭВМ и запустить ПО для отображения, сохранения и установки параметров модуля НП.

3.5 На ГНС запустить требуемый сценарий имитации. Установить уровень сигнала ГНС (далее навигационный сигнал) для каждого спутника равным $P_S = -125 + \Delta K + K_{att} \pm 1$ дБм по измерениям АС. Занести измеренное значение P_S в протокол.

3.6 Включить модуль НП.

3.7 Установить связь ЭВМ с модулем НП. Задать параметры работы в соответствии с планом проведения экспериментальных исследований:

- система (ГЛОНАСС или GPS);
- частотный диапазон (L1);
- тип сигналов (СТ или С/А).

3.8 Через 2 минуты убедиться, что модуль НП в течение 2 минут выдает навигационное 3D-решение без перерывов, превышающих 10 сек. Если условие не выполняется, проверить правильность выполнения пунктов 1, 2, 3.2-3.7. Если проверка не выявила нарушений пунктов методики, записать в качестве оценки параметра $J/S = -\infty$. Сообщить преподавателю. Перейти к следующему пункту плана экспериментальных исследований.

3.9 Выключить модуль НП и ВЧ выход ГНС.

3.10 Установить на генераторе помехового сигнала (далее ГПС) соответствующие экспериментальному исследованию тип и параметры выходных сигналов (далее помеховых сигналов) в соответствии с Приложением В.

3.11 Включить выход ГПС, контролируя значения по АС установить мощность помехового сигнала на втором выходе разветвителя $P_J = P_{J,\max} = -70 \text{ дБм} + K_{att}$. Полоса измерения АС должна быть согласованной с полосой соответствующего навигационного сигнала при каждом измерении.

3.12 Включить ВЧ выход ГНС, затем включить модуль НП. Установить связь ЭВМ с модулем НП и задать параметры работы как в п. 3.7.

3.13 С помощью общего регулятора мощности ГПС синхронно уменьшать мощность помехового сигнала P_J на 3 дБ (по показаниям ГПС или АС) через каждый интервал времени T_1 , контролируя отсутствие выдачи навигационного 3D-решения. Когда модуль НП начнет выдавать навигационное 3D-решение, выключить ВЧ выход ГНС. Измерить с помощью АС мощность помехового сигнала. Занести в протокол измеренную мощность помехового сигнала $P_{J,0}$.

3.14 Установить мощность помехового сигнала на втором выходе разветвителя $P_J = P_{J,0} + 10 \text{ дБм}$ по измерениям АС. Перезапустить сценарий имитации на ГНС, включить ВЧ выход ГНС.

3.15 Выключить и включить модуль НП, установить связь ЭВМ с модулем НП и задать параметры работы как в п. 3.7. Выждать время T_2 , убедиться в отсутствии навигационного 3D-решения. Если навигационное 3D-решение всё же выдается, то повторить п.п. 3.14-3.15, увеличив мощность помехового сигнала на 3 дБ с помощью общего регулятора мощности ГПС.

3.16 Уменьшить мощность помехи на 1 дБ, выждать время T_2 , проконтролировать наличие/отсутствие навигационного 3D-решения на выходе НП.

3.17 При отсутствии навигационного 3D-решения в течение 2 минут без перерывов, превышающих 10-секундный интервал, повторить пп. 3.15-3.17.

3.18 При наличии навигационного 3D-решения в течение 2 минут без перерывов, превышающих 10-секундный интервал, зафиксировать граничное значение мощности $P_{J,i} = P_J \text{ дБм}$ помехового сигнала.

3.19 Рассчитать коэффициент подавления НП по формуле $J/S_i = P_{J,i} - P_s \text{ [дБ]}$. Зафиксировать рассчитанное значение в протоколе.

3.20 Набрать статистику значений J/S_i из 5 экспериментов повторяя выполнение пп. 3.14-3.18. Выполнение п. 3.14 допускается начинать с установки $P_J = P_{J,i-1} + 2 \text{ дБм}$, где

$P_{J,i-1}$ - граничное значение мощности помехового сигнала, полученное в предыдущем эксперименте по набору статистики.

3.20 Рассчитать среднеарифметическое значение J/S по полученным значениям J/S_i , $i = 1, \dots, 5$. Зафиксировать рассчитанное значение J/S в протоколе.

4 Определение помехоустойчивости навигационного модуля в условиях слежения

4.1 При необходимости выполнить пункты подготовки 1, 2, занести полученные значения K_{att} , ΔK в протокол.

4.2 Занести в протокол параметры, используемые при испытаниях:

- $T1 = 30$ секунд;
- $T2 = 120$ секунд.

4.3 На ГНС запустить требуемый сценарий имитации. Установить уровень сигнала ГНС (далее навигационный сигнал) для каждого спутника равным $P_S = -125 + \Delta K + K_{att} \pm 1$ дБм по измерениям АС. Занести измеренное значение P_S в протокол.

4.4 Собрать экспериментальную установку согласно рис. 4. Включить ЭВМ и запустить ПО для отображения, сохранения и установки параметров модуля НП.

4.5 Включить модуль НП.

4.6 Установить связь ЭВМ с модулем НП. Задать параметры работы:

- система (ГЛОНАСС или GPS);
- частотный диапазон (L1);
- тип сигналов (СТ или С/А).

4.7 Через 2 минуты убедиться, что модуль НП в течение 2 минут выдает навигационное 3D-решение без перерывов, превышающих 10 сек. Если условие не выполняется, проверить правильность выполнения пунктов 1, 2, 4.3-4.6. Если проверка не выявила нарушений пунктов методики, записать в качестве оценки параметра $J/S = -\infty$. Сообщить преподавателю. Перейти к следующему пункту плана экспериментальных исследований.

4.8 Выключить модуль НП и ВЧ выход ГНС.

4.9 Установить на ГПС соответствующий экспериментальному исследованию тип и параметры выходного сигнала (далее помехового сигнала) в соответствии с Приложением В.

4.10 Включить выход ГПС, контролируя значения по АС установить мощность помехового сигнала на втором выходе разветвителя $P_J = P_{J,\min} = -110 \text{ дБм} + K_{att}$. Полоса измерения АС должна быть согласованной с полосой соответствующего навигационного сигнала при каждом измерении.

4.11 Включить модуль НП, установить связь ЭВМ с модулем НП и задать параметры работы как в п. 4.6. Через 2 минуты убедиться, что модуль НП в течение 2 минут выдает навигационное 3D-решение без перерывов, превышающих 10 сек.

4.12 С помощью общего регулятора выходной мощности ГПС увеличивать мощность помехи на выходе ГС на 3 дБ через каждый интервал времени T_1 до тех пор, пока модуль НП не перестанет выдавать навигационное 3D-решение. Выключить ВЧ выход ГНС. Измерить с помощью АС мощность помехового сигнала. Занести в протокол измеренную мощность помехового сигнала $P_{J,0}$.

4.13 Отключить ВЧ выход ГПС. Выключить модуль НП. Включить ВЧ выход ГНС. Перезапустить сценарий имитации на ИС.

4.14 Включить модуль НП, установить связь ЭВМ с модулем НП и задать параметры работы как в п. 4.6.

4.15 Через 2 минуты убедиться, что модуль НП в течение 2 минут выдает навигационное 3D-решение без перерывов, превышающих 10 сек.

4.16 При испытаниях на помехоустойчивость в некогерентном/когерентном режиме слежения, перевести модуль НП в некогерентный/когерентный режим с помощью интерфейсного ПО на ПК.

4.17 Контролируя значения по АС установить мощность помехового сигнала на втором выходе разветвителя $P_J = P_{J,0} - 6 \text{ дБм}$. Включить выходной сигнал ГПС. Через 2 минуты убедиться, что модуль НП в течение 2 минут выдает навигационное 3D-решение без перерывов, превышающих 10 сек. Иначе, повторить выполнение п.п 4.13-4.17, уменьшив выходную мощность ГПС на 3 дБ.

4.18 Увеличить мощность помехи на 1 дБ. Проконтролировать, выдает ли модуль НП в течение 2 минут навигационное 3D-решение без перерывов, превышающих 10 сек. Если условие выполняется, повторить п. 4.18.

4.19 При нарушении условия п. 4.18: выключить ВЧ выход ИС, уменьшить выходную мощность помехи на 1 дБ, зафиксировать граничное значение мощности $P_{J,i} = P_J$ помехового сигнала по измерениям АС.

4.20 Рассчитать коэффициент подавления НП по формуле $J/S_i = P_{J,i} - P_S$ [дБ]. Зафиксировать рассчитанное значение в протоколе.

4.21 Набрать статистику значений J/S_i из 5 экспериментов повторяя выполнение пп. 4.13-4.20. Выполнение п. 3.17 допускается начинать с установки $P_J = P_{J,i-1} - 3 \text{ дБм}$, где

$P_{J,i-1}$ - граничное значение мощности помехового сигнала, полученное в предыдущем эксперименте по набору статистики.

4.22 Рассчитать среднеарифметическое значение J/S по полученным значениям J/S_i , $i = 1, \dots, 5$. Зафиксировать рассчитанное значение J/S в протоколе.

Контрольные вопросы

1. Какова мощность навигационного сигнала системы ГЛОНАСС, NAVSTAR GPS на выходе антенны в условиях прямой видимости согласно ИКД? В каких пределах может изменяться мощность навигационного сигнала одного спутника на выходе антенны НАП для каждой из систем?

Приложение А. Бланк протокола

Бланк протокола доступен к скачиванию.

Помехоустойчивость поиска

Протокол экспериментальных исследований помехоустойчивости модуля НП
_____ **в режиме поиска сигналов**

Тип навигационных сигналов	
Тип помехи	
Сценарий движения потребителя	

1. Параметры:

$T_1 = 60$ сек

$T_2 = 300$ сек

2. Коэффициент ослабления аттенюатора

$K_{att} = +$ дБ

Разность коэффициентов передачи разветвителя (2 - 1)

$$\Delta K = \quad \text{дБ}$$

3. Мощность сигнала одного спутника по измерениям АС (второй выход разветвителя)

$$P_S = - \quad \text{дБм.}$$

4. Мощность помехового сигнала по измерениям АС, при котором модуль НП захватил сигналы не менее чем 4 НС и выдавал навигационное 3D-решение в течение 2 минут без прерывов более 10 сек:

$$P_{J,0} = - \quad \text{дБм.}$$

5. Результаты косвенных измерений J/S

№ эксперимента, i	$P_{J,i}$, дБм	J/S_i , дБ
1		
2		
3		
4		
5		
Параметр		Значение
Среднеарифметическое значение J/S , дБ		

Помехоустойчивость слежения

Протокол экспериментальных исследований помехоустойчивости модуля НП
_____ **в режиме слежения**

Тип навигационных сигналов	
Тип помехи	
Сценарий движения потребителя	

1. Временные параметры:

$T_1 =$

$T_2 = 120 \text{ сек}$

2. Коэффициент ослабления аттенюатора

$K_{att} = + \quad \text{дБ}$

Разность коэффициентов передачи разветвителя (2 - 1)

$\Delta K = \quad \text{дБ}$

3. Мощность сигнала одного спутника по измерениям АС (второй выход разветвителя)

$P_S = - \quad \text{дБм.}$

4. Приближенное значение мощности помехового сигнала по измерениям АС, при котором модуль НП прекращает выдачу навигационного 3D-решения (в течение 2 минут без перерывов более 10 сек):

$P_{J,0} = - \quad \text{дБм,}$

5. Результаты косвенных измерений J/S

№ эксперимента, i	$P_{J,i}$, дБм	J/S_i , дБ
1		
2		
3		

4		
5		
Параметр		Значение
Среднеарифметическое значение J/S , дБ		

Приложение В. Характеристики помех

Приложение С. Описание навигационных модулей

НАВИС NV-08С

НАВИС СН-4706

Навигационный модуль СН-4706 - одноплатный 24-х канальный навигационный приемник, предназначен для интегрирования в различные системы в качестве навигационного датчика. СН-4706 обеспечивает определения текущих значений координат (широты, долготы, высоты), вектора скорости потребителя, а также текущего времени по сигналам СНС ГЛОНАСС, GPS и SBAS.

Основные заявленные характеристики модуля СН-4706 приведены в табл. С.1. Фотография модуля представлена на рис. С.1.

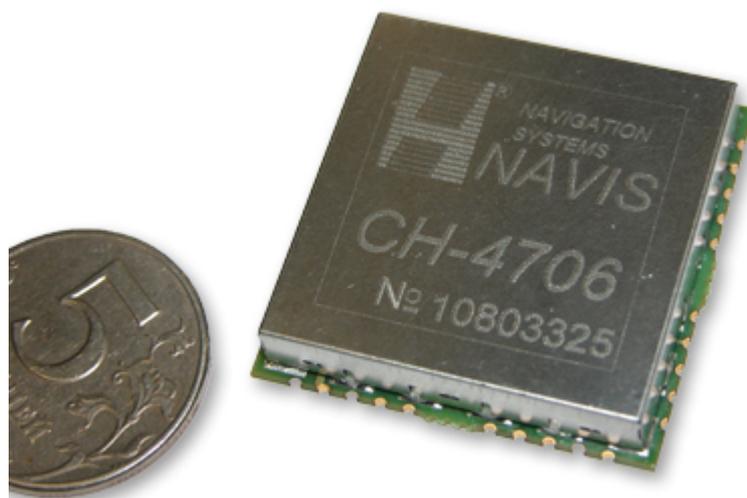


Рисунок С.1 - Фотография модуля СН-4706

Таблица С.1. Основные характеристики модуля СН-4706

Характеристика	Значение
Год начала серийного производства	2009
Используемые навигационные сигналы	
Время выдачи первого навигационного решения: - «холодный старт» (отсутствие альманахов СНС) - «теплый старт» (наличие альманахов СНС, координат и времени) - «горячий старт» (наличие альманахов СНС, координат, эфемерид и времени)	90 с 60 с 15 с
Чувствительность:	
Потребляемая мощность	0.9 Вт
Масса	20 г
Габаритные размеры	35x35x6мм

u-blox NEO-6Q

Приложение Д. Описание постановщиков помех

Приложение Е. Описание интерфейсных программ навигационных модулей

u-center

В качестве одного из исследуемых выступает модуль НП u-blox NEO-6Q производства швейцарской компании u-blox Holding AG. Компания предоставляет специальную интерфейсную программу для управления модулем НП, получения и обработки результатов его работы - *u-center*.

Взаимодействие между программой u-center и модулем НП организуется посредством USB-интерфейса. Опосредованно от программы распространяется драйвер модуля НП, предназначенный для использования в операционных системах семейства Windows.

Основное окно программы представлено на рис. Е.1.

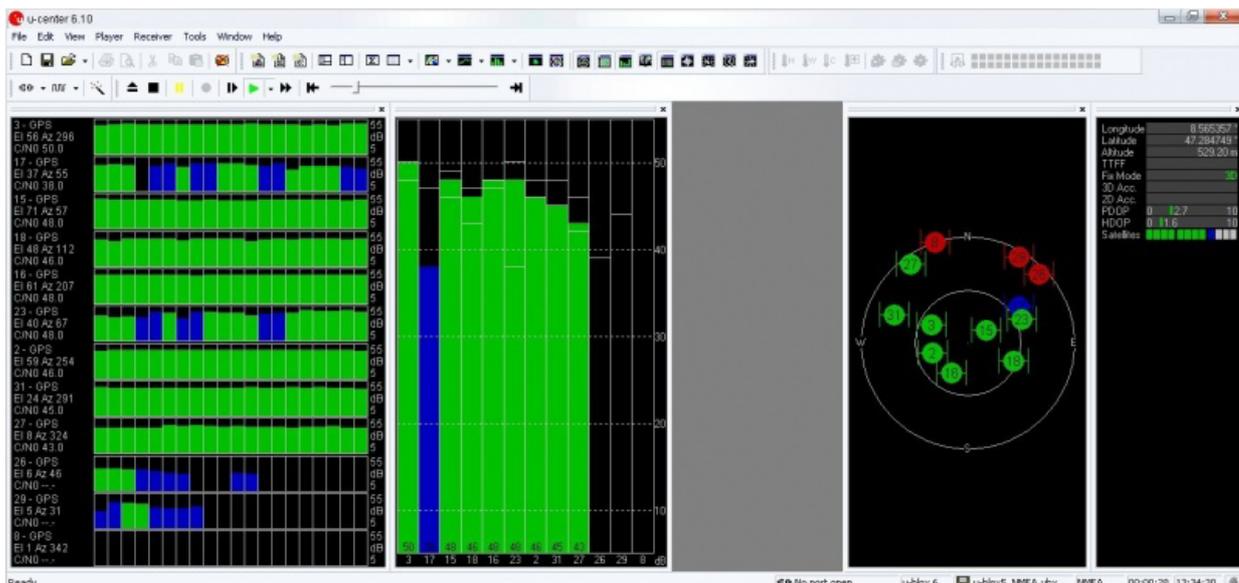


Рисунок Е.1 - Основное окно программы u-center 6.10

Для установки соединения между программой и модулем НП необходимо подключить приемник к компьютеру и в пункте меню *Receiver* выбрать соответствующий порт (см. рис. Е.2)



Рисунок Е.2 - Выбор порта в программе u-center 6.10

Отображение флага выдачи 3D решения в программе u-center производится в окне *Data View* (см. рис. Е.3).



Рисунок Е.3 - Окно Data View программы u-center 6.10

Программа позволяет осуществить перезапуск приемника с помощью команды *Coldstart* через соответствующий пункт меню *Receiver* (см. рис. Е.4)

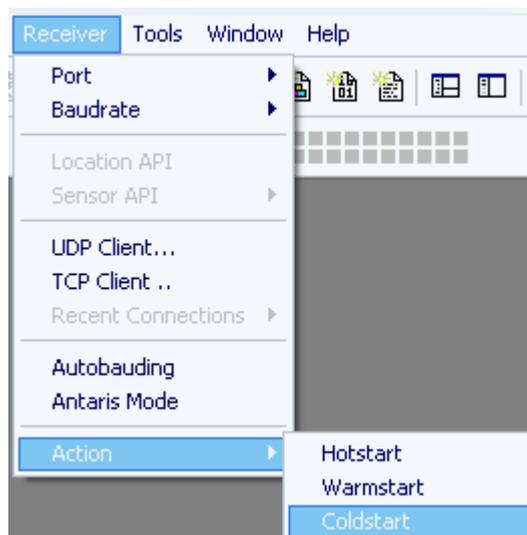


Рисунок Е.4 - Передача команды на холодный старт