

Отчет по лабораторной работе №1  
**Согласованные фильтры**

Выполнили студенты 450 группы  
Понур К.А., Хавьер, Шиков А.П.

Нижний Новгород, 2020

**Цель работы:** Тут цель

## 1. Теоритическая часть

Тут теория

## 2. Практическая часть

Тут практика

### 2.1. Задание 1. Простые и сложные сигналы и их свойства

В этом задании рассматриваются особенности простых и сложных сигналов, которые проявляются в поведении спектров сигналов. Следует проследить за тем, какие существуют закономерности при изменении спектров в зависимости от изменения временных параметров простых и сложных сигналов. Для каждого рассмотренного сигнала  $m(t)$  строятся графики реализации сигнала, амплитудного и фазового спектров, а так же функция корреляции и спектральная плотность энергии.

**На что ответить в отчете:**

1. Получить оценку энергии импульса разными способами по экспериментальным данным. Сравнить результаты с теоретическими.
2. **Done, надо пояснения** Для всех четырех видов сигнала оценить базу, используя формулу  $B = T \cdot \Delta f$ , где  $T$  - эффективная длительность,  $\Delta f$  - эффективная ширина полосы спектра сигнала. За оценку ширины следует принять половину расстояния между первыми нулями (ширины главного лепестка).
3. Пояснить, как изменяется фазовый спектр сигнала, в том диапазоне частот, где лежит основная энергия сигнала. Показать с помощью рисунка, как происходит сложение гармонических составляющих сигнала. Выделить на графиках амплитудного и энергетического спектров диапазон частот, в котором лежит основная энергия сигнала. Как изменяется фазовый спектр сигнала в этом диапазоне частот? Почему физический амплитудный спектр имеет смысл рассматривать только внутри этой полосы?
4. **Done, надо пояснения** Для ЛЧМ сигнала сравнить протяженность корреляционной функции с длительностью сигнала. Во сколько раз она меньше длительности сигнала?
5. **Done, надо пояснения** Для ЛЧМ сигнала оценить диапазон изменения фазовых сдвигов у гармоник сигнала в пределах полосы амплитудного спектра. Нарисовать амплитудный спектр в приближенном виде (аппроксимируя прямоугольником) и посмотреть, какой в этих пределах фазовый спектр.

6. Во всех примерах рассматривались изменения спектральных характеристик при изменении временных зависимостей сигналов. Учитывая, что для функций, сопряженных по Фурье, справедливы следующие соотношения (см. Приложение)...(см методичку)
7. Чем определяется максимальное значение функции корреляции? Рассмотреть корреляционную функцию как сигнал и найти его базу.
8. Сравнить изменения спектрально-корреляционных характеристик при изменении длительности различных сигналов.

### 2.1.1 Прямоугольный видеоимпульс

Для прямоугольного видеоимпульса

- Получить аналитическое выражение для амплитудного, фазового и энергетического спектра, построить теоретический график.
- Изучить амплитудный, фазовый и энергетический спектры. Для этого задать длительность импульса 10мс и 20мс, амплитуду равной 1, а затем проанализировать зависимости.

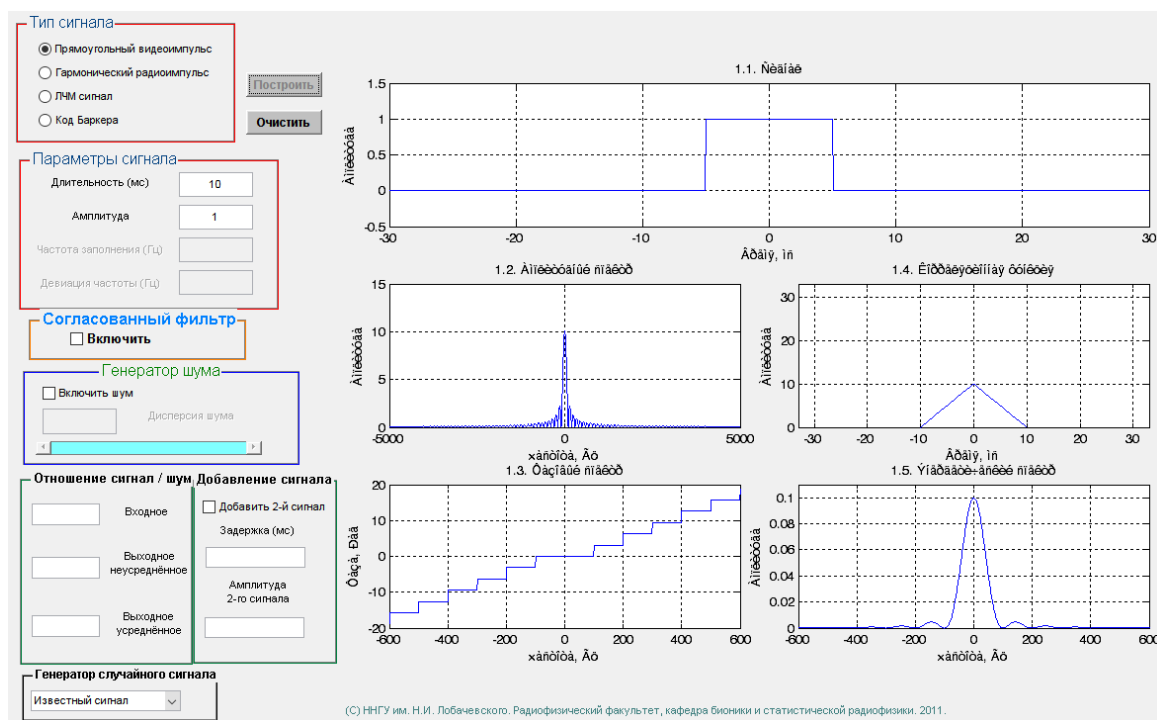


Рис. 1: 10ms

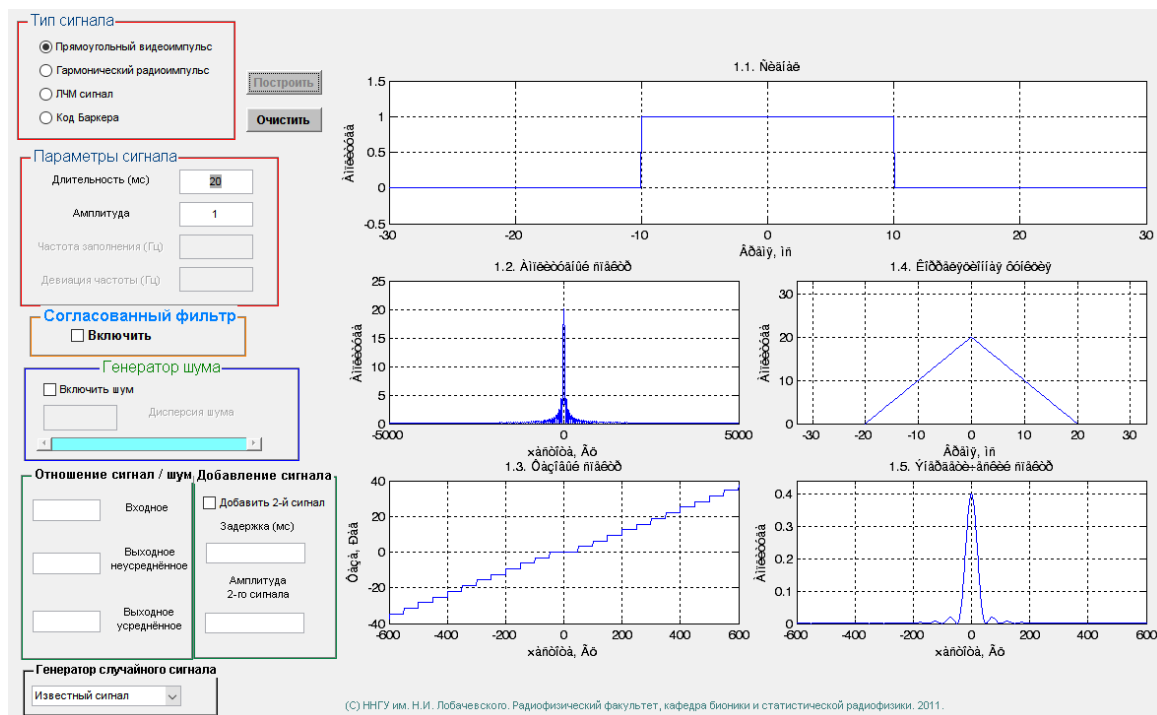


Рис. 2: 20ms

### База

Найдем базу для прямоугольного импульса по следующей формуле:

$$B = T \cdot \Delta f, \quad (1)$$

где  $T$  - эффективная длительность,  $\Delta f$  - эффективная ширина полосы спектра сигнала (в качестве оценки берется половина ширины главного лепестка амплитудного спектра).

$$B_{10ms} = 10^{-2} \cdot 100 = 1, \quad B_{20ms} = 20 \cdot 10^{-3} \cdot 50 = 1 \quad (2)$$

База прямоугольного импульса равна единице, что означает что это простой сигнал. Таким образом справедливо соотношение  $\Delta f = \frac{1}{T}$ . Действительно, в соответствии с этой зависимостью, наблюдается сужение амплитудного спектра при увеличении длительности сигнала.

### Спектры

Фазовый спектр ??, энергетический спектр так же сузился.

### Энергия

Получим оценку энергии импульса. Для этого необходимо взять частотный диапазон, в котором фаза  $\phi$  спектральных компонент равна нулю (откуда это и почему ??). В случае прямоугольного импульса (см. рис. 1),  $\phi = 0, f \in [-100, 100]$  Гц. Полная энергия сигнала равна  $2\pi T$  (см. формулу 49 методички  $\int \epsilon(\omega) d\omega$ ). Найдем значение энергии в диапазоне

$f \in [-100, 100]$  Гц (с помощью численного вычисления интеграла, (см. формулу 49 методички)). Получим, что 90.2% энергии находится в указанном диапазоне.

### 2.1.2 Прямоугольный видеоимпульс с гармоническим заполнением

Изучить амплитудный, фазовый и энергетический спектры. Задать длительность импульса 10мс и 20мс, амплитуду равной 1 и частоту заполнения 400Гц, а затем проанализировать зависимости.

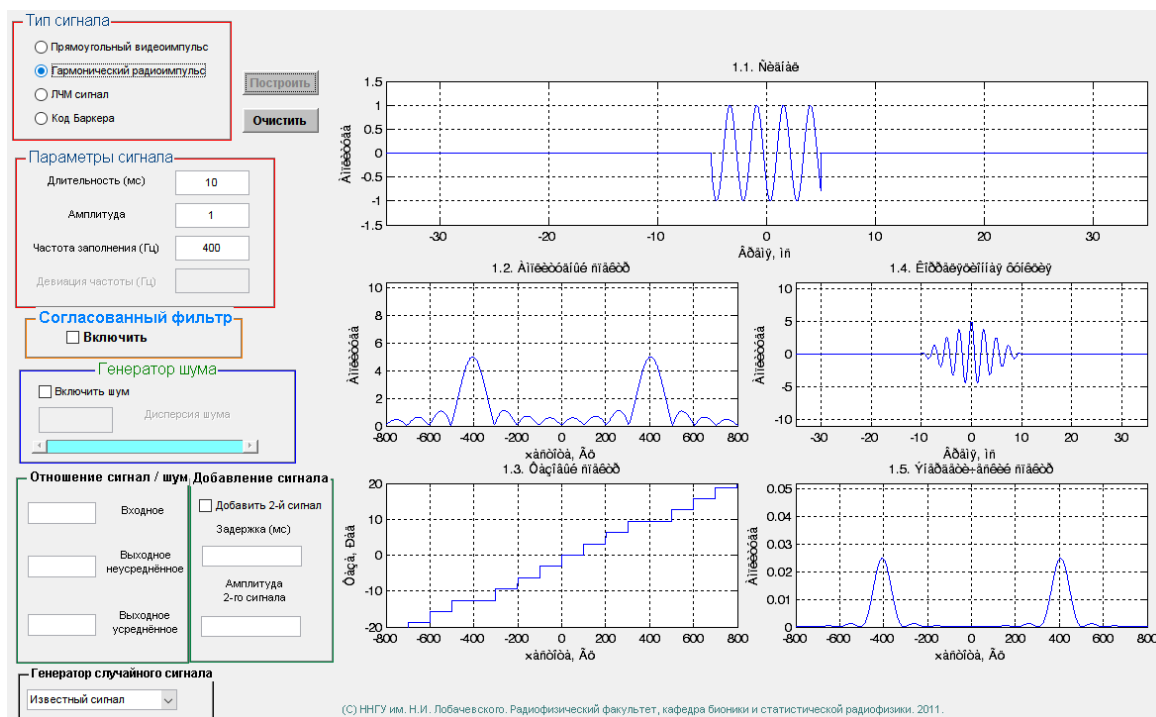


Рис. 3: 10ms

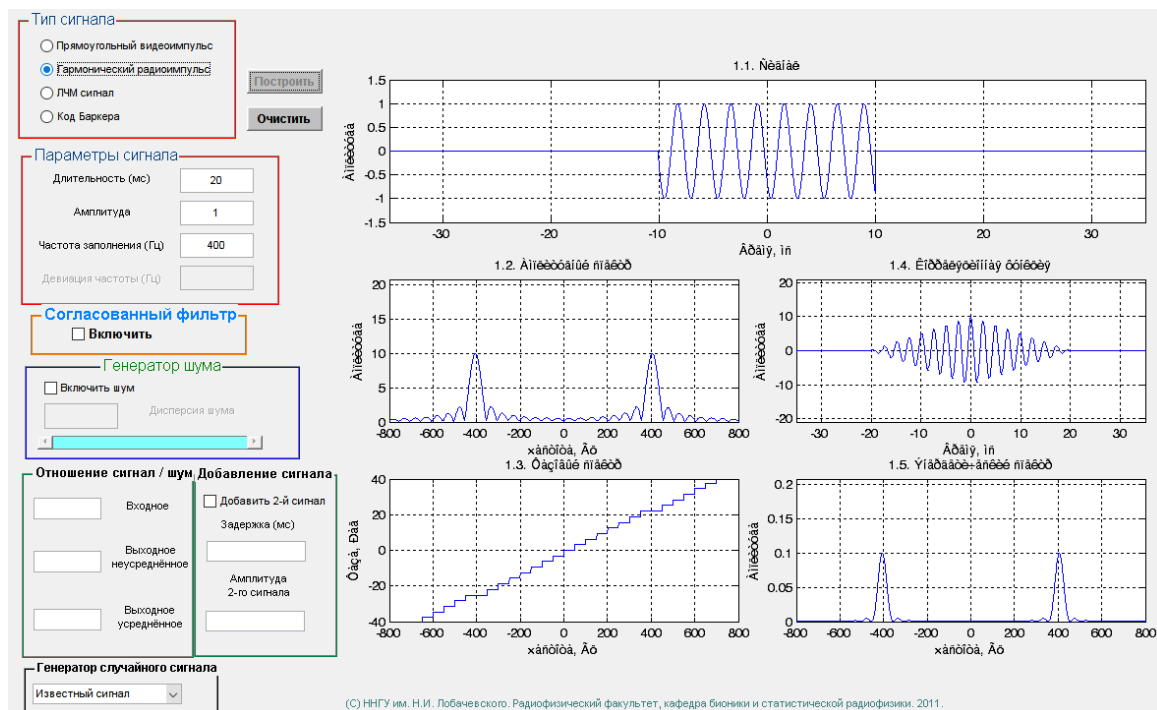


Рис. 4: 20ms

При увеличении длительности сигнала амплитудный спектр ??, фазовый спектр ??, энергетический спектр ??.

$$B_{10ms} = 10^{-2} \cdot 100 = 1, \quad B_{20ms} = 20 \cdot 10^{-3} \cdot 50 = 1 \quad (3)$$

Значение базы - единица, означает что радиоимпульс это простой сигнал.

### 2.1.3 Линейно-частотный модулированный импульс

Получить временные реализации ЛЧМ сигнала с параметрами:

- длительность 100мс, средняя частота заполнения 1000Гц, девиация 500Гц;
- длительность 100мс, средняя частота заполнения 1000Гц, девиация 1000Гц
- амплитуда 1.

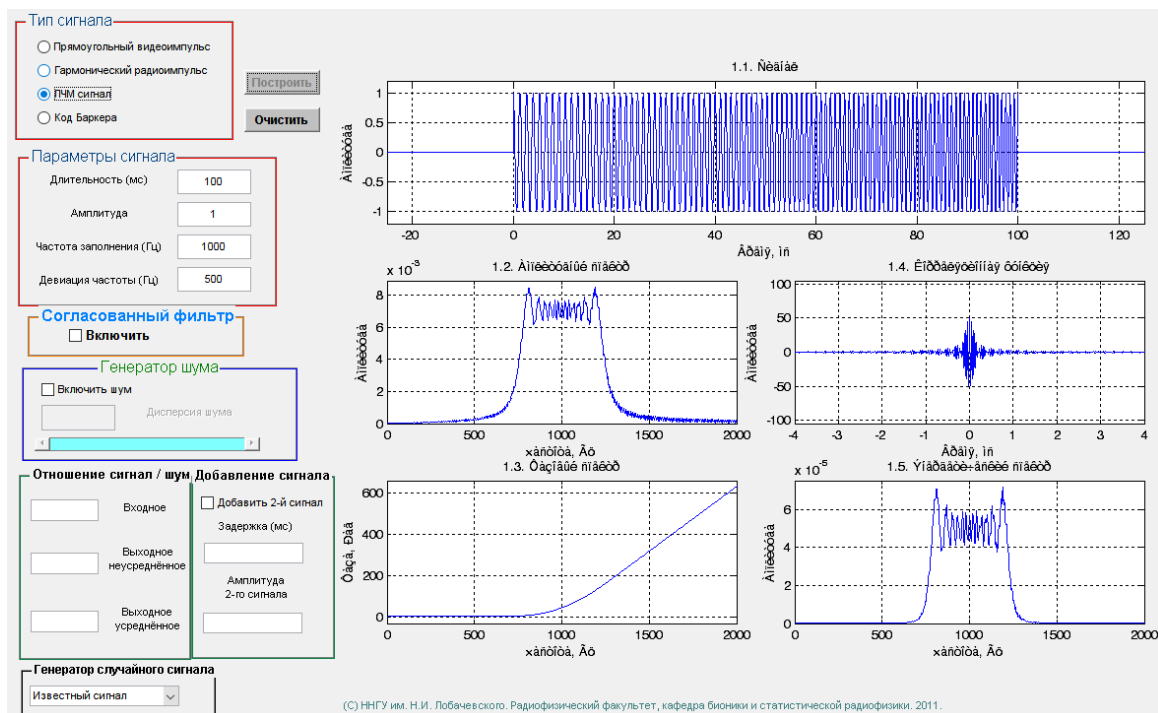


Рис. 5: 500 Гц

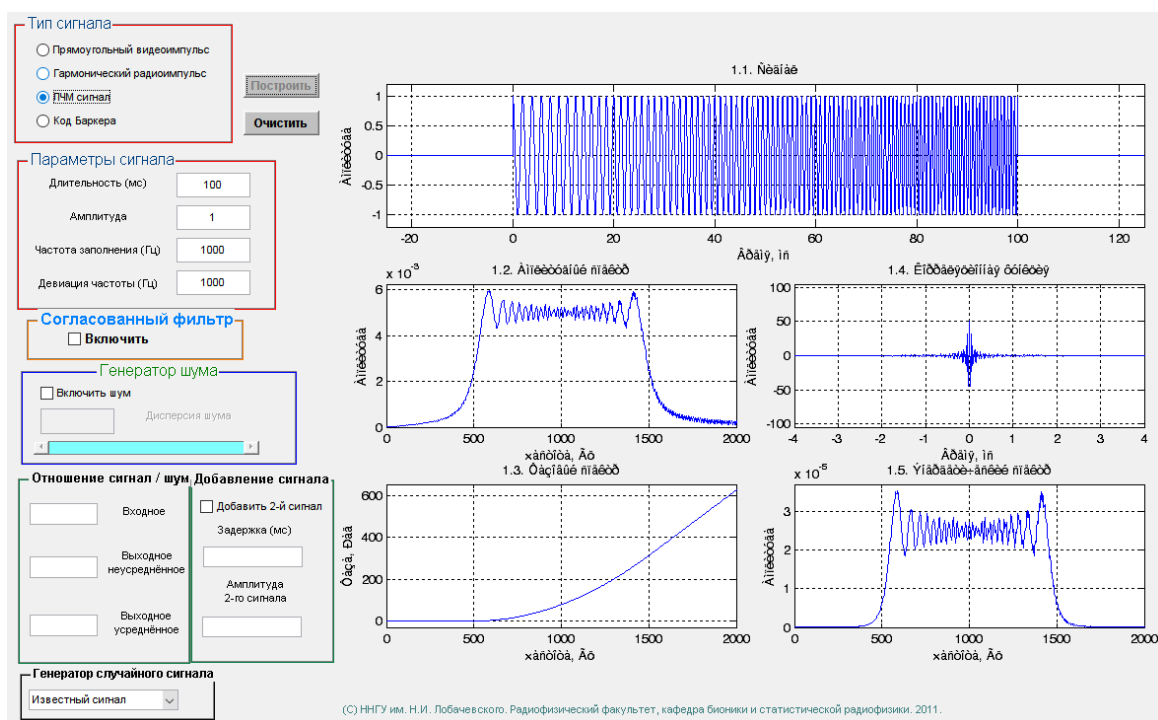


Рис. 6: 1000 Гц

$$B_{500Hz} = 100 \cdot 10^{-3} \cdot (1260 - 760) = 50, \quad B_{1000Hz} = 100 \cdot 10^{-3} \cdot (1500 - 500) = 100 \quad (4)$$



Для ЛЧМ сигнала сравнить протяженность корреляционной функции с длительностью сигнала. Во сколько раз она меньше длительности сигнала?

При длительности ЛЧМ сигнала 100 мс, протяженность функции корреляции составила всего 0.4 мс, что в 250 раз меньше.

Для ЛЧМ сигнала оценить диапазон изменения фазовых сдвигов у гармоник сигнала в пределах полосы амплитудного спектра. Нарисовать амплитудный спектр в приближенном виде (аппроксимируя прямоугольником) и посмотреть, какой в этих пределах фазовый спектр.

Диапазон изменения фазовых сдвигов в случае девиации 500 Гц составил  $\phi \in [0 - 160]$  радиан (см. рис. 7), в случае девиации 1000 Гц составил  $\phi \in [0 - 260]$  радиан (см. рис. 8).

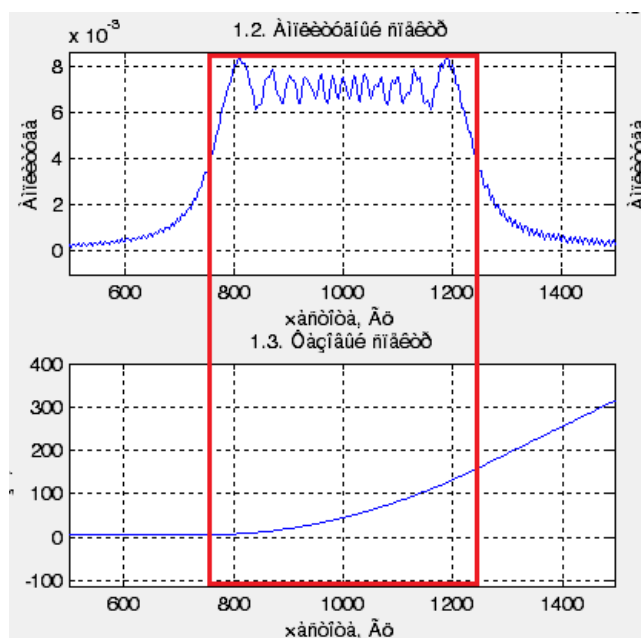


Рис. 7: Диапазон изменения фазовых сдвигов у гармоник сигнала, девиация 500 Гц

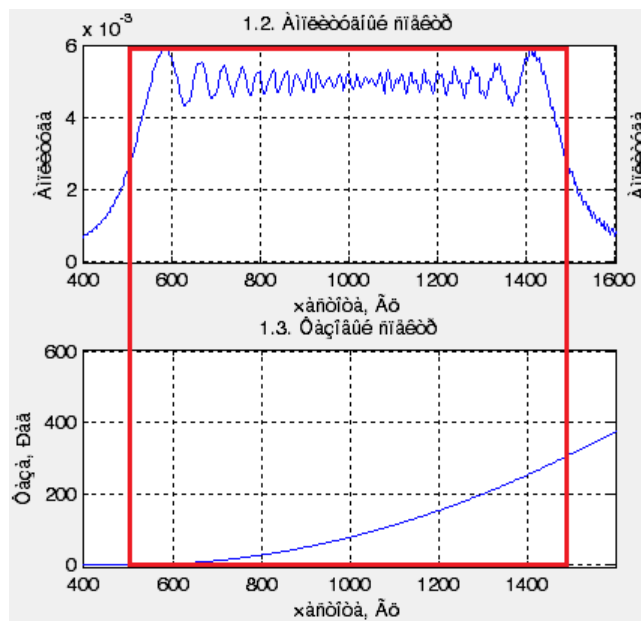


Рис. 8: Диапазон изменения фазовых сдвигов у гармоник сигнала, девиация 1000 Гц

### 2.1.4 Код Баркера

Получить реализации для кода Баркера ( $N=13$ ) при длительности 13мс и 26мс

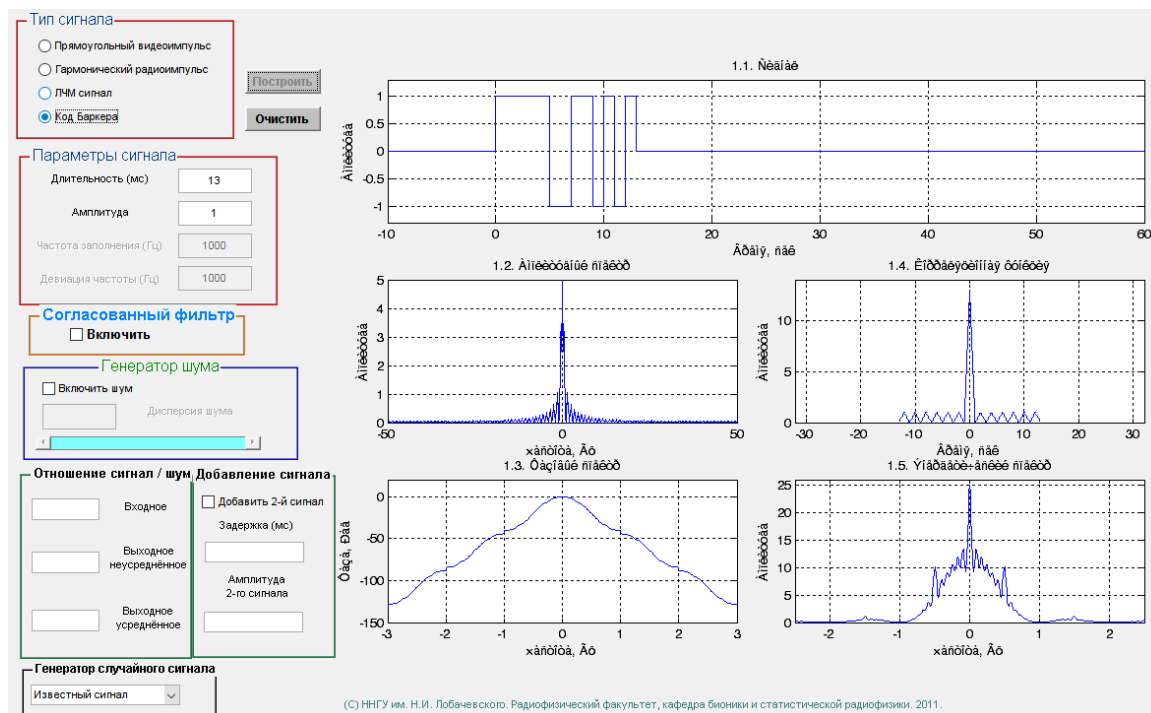


Рис. 9: 13 мс

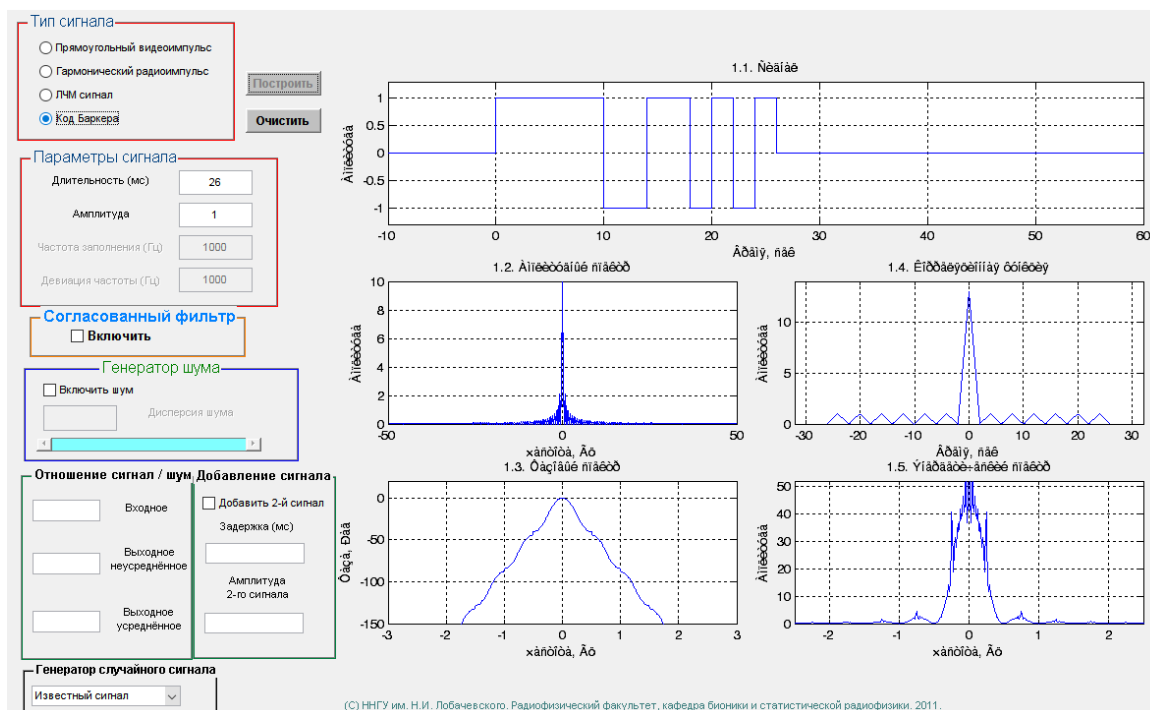


Рис. 10: 26 мс

$$B_{13ms} = 13 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 13 \cdot 10^{-3}, \quad B_{26ms} = 26 \cdot 10^{-3} \cdot 0.5 = 13 \cdot 10^{-3} \quad (5)$$

## 2.2. Задание 2. Параметры согласованного фильтра и выходного сигнала

В этом задании изучаются характеристики согласованных фильтров, соответствующих каждому из сигналов, рассмотренных в задании №1. Кроме того, исследуются вид и свойства выходных сигналов. Учитывая, что при расширении фазового спектра длительность сигнала увеличивается, а при уменьшении до нуля – укорачивается, в данном задании необходимо внимательно проследить за укорочением сигнала. Самый короткий и самый большой по амплитуде он должен получиться при нулевом фазовом спектре

Рекомендации по анализу результатов эксперимента

- Как коэффициент передачи по амплитуде  $|k(\omega)|$  фильтра и фазовые сдвиги  $\varphi(\omega)$ , вносимые фильтром в соответствующую гармонику, связаны с амплитудным и фазовым спектром сигнала?
- Как связан выходной сигнал и его амплитудный и фазовый спектр с характеристиками выходного сигнала? Сравнить длительности входного и выходного сигналов.

- Какой вид имеет импульсная переходная характеристика согласованного фильтра?
- Какой фазовый спектр и база выходного сигнала?

### 2.2.1 Прямоугольный видеоимпульс

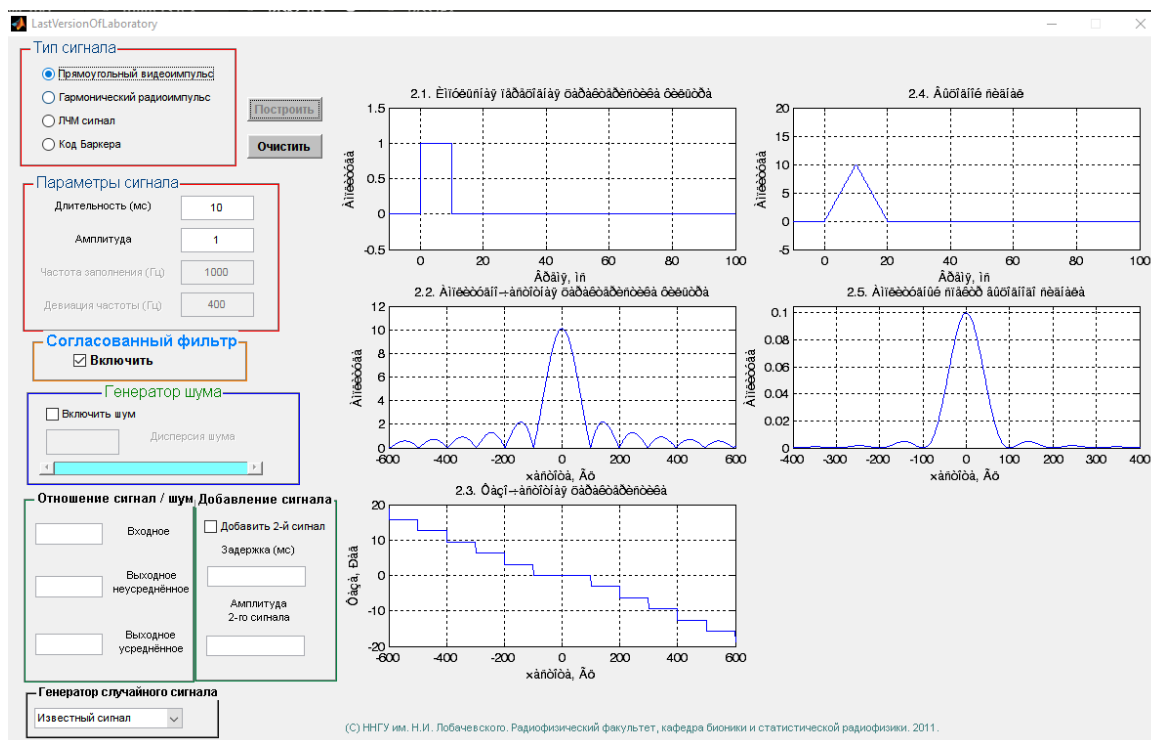


Рис. 11: 10 мс

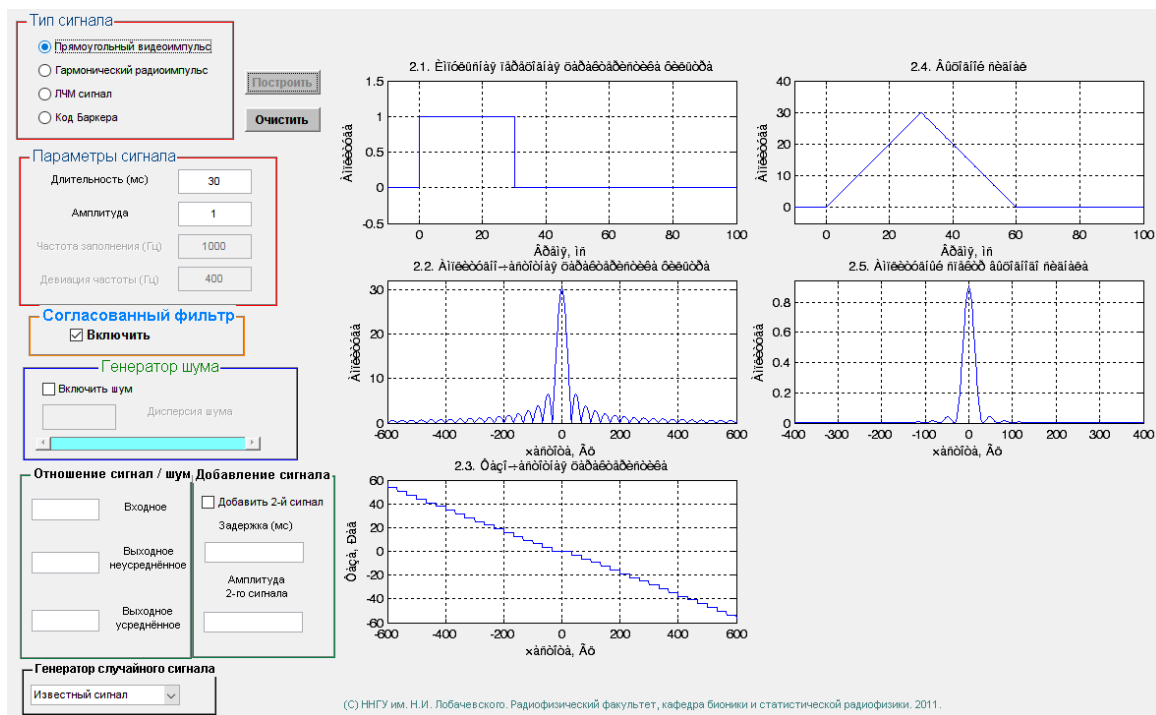


Рис. 12: 30 мс

АЧХ  $|K(i\omega)|$  и ФЧХ  $\varphi(\omega)$  согласованного фильтра

$$|K(i\omega)| = |C_0| \cdot |C_m(i\omega)|, \quad \varphi(\omega) = -\varphi_m - \omega t + \arg(C_0), \quad (6)$$

где  $C_m, \varphi_m$  - амплитудный и фазовый спектры входного сигнала  $m(t)$ .

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

## 2.2.2 Прямоугольный видеоимпульс с гармоническим заполнением

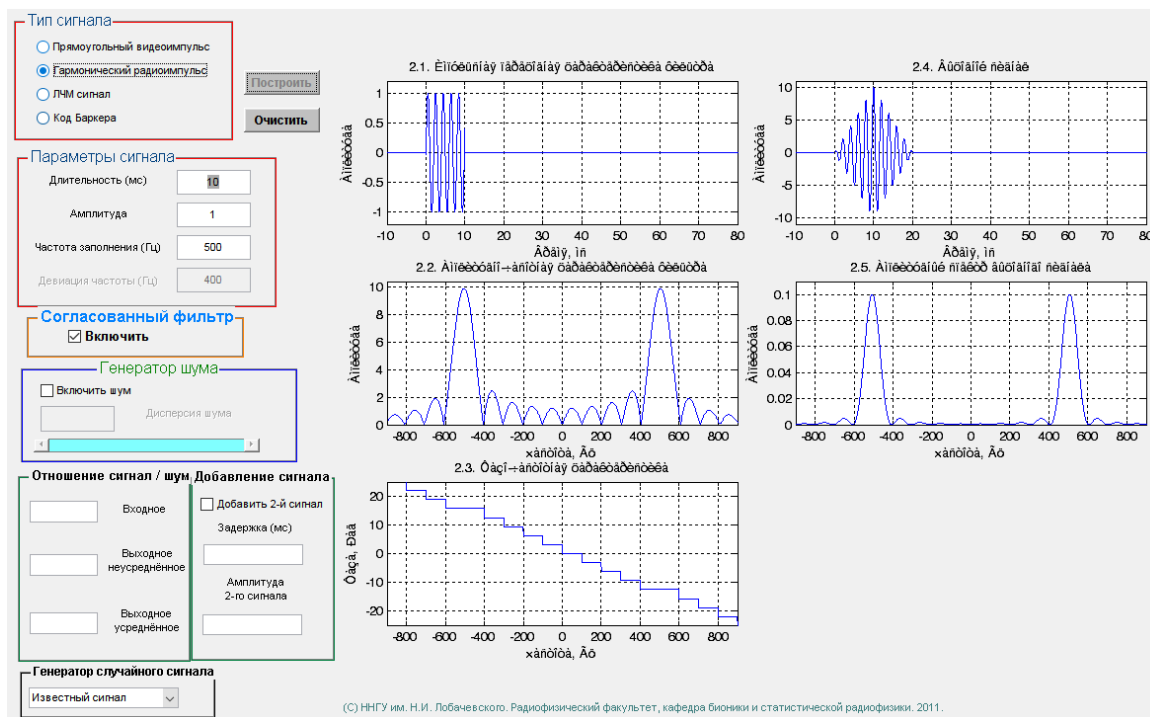


Рис. 13: 10 мс

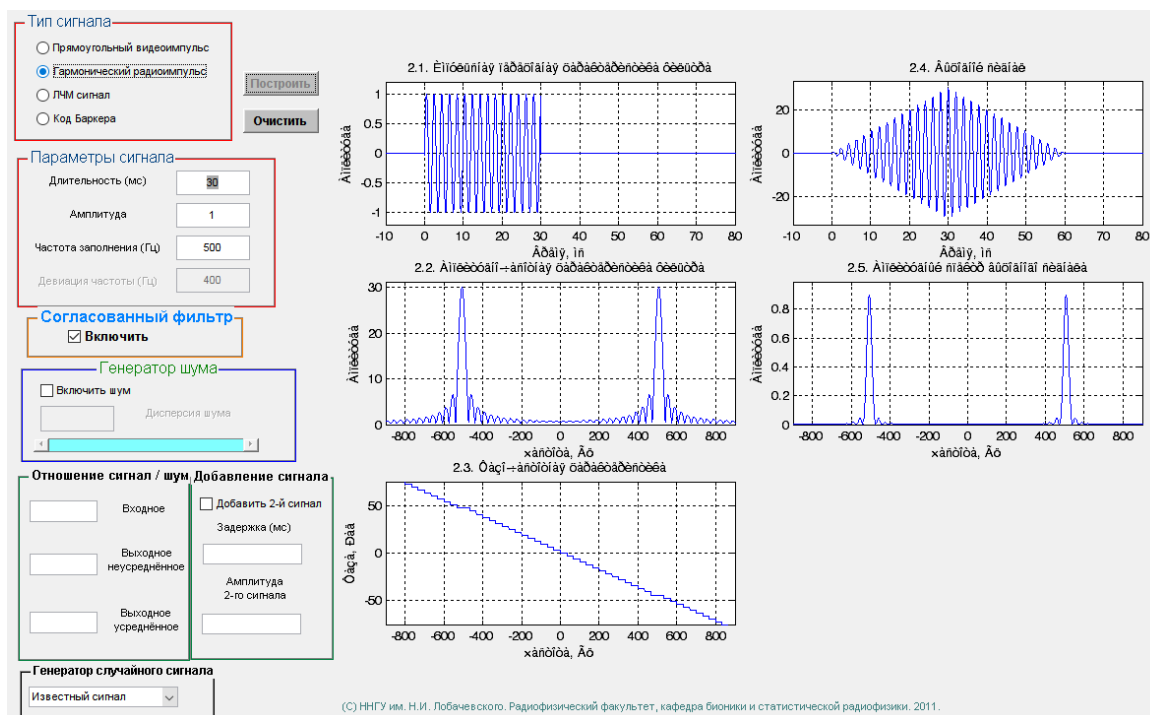


Рис. 14: 30 мс

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

### 2.2.3 ЛЧМ сигнал

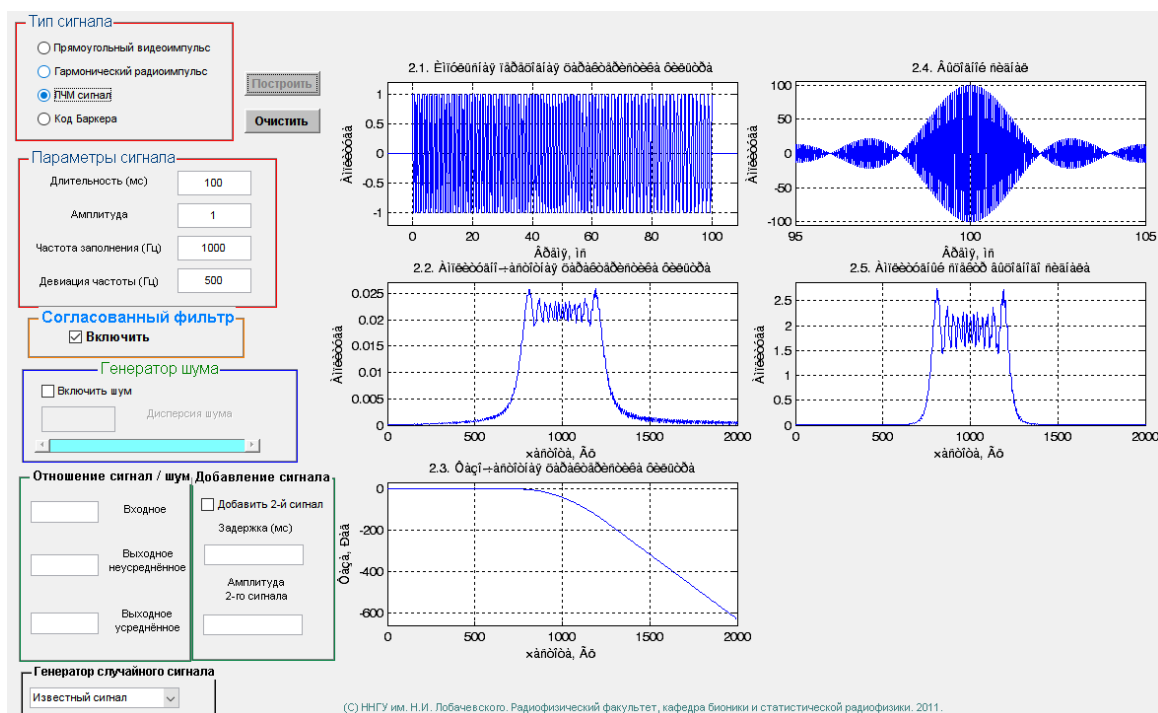


Рис. 15: Девияция 500 Гц

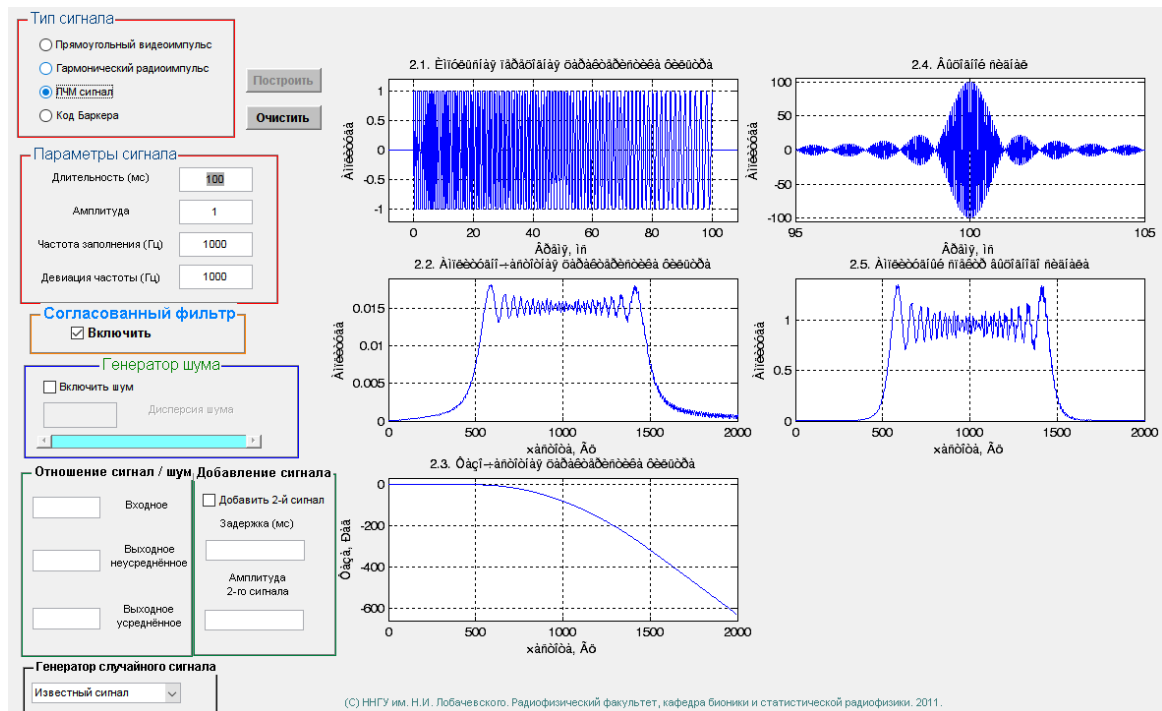


Рис. 16: Девияция 1000 Гц

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.



## 2.2.4 Код Баркера

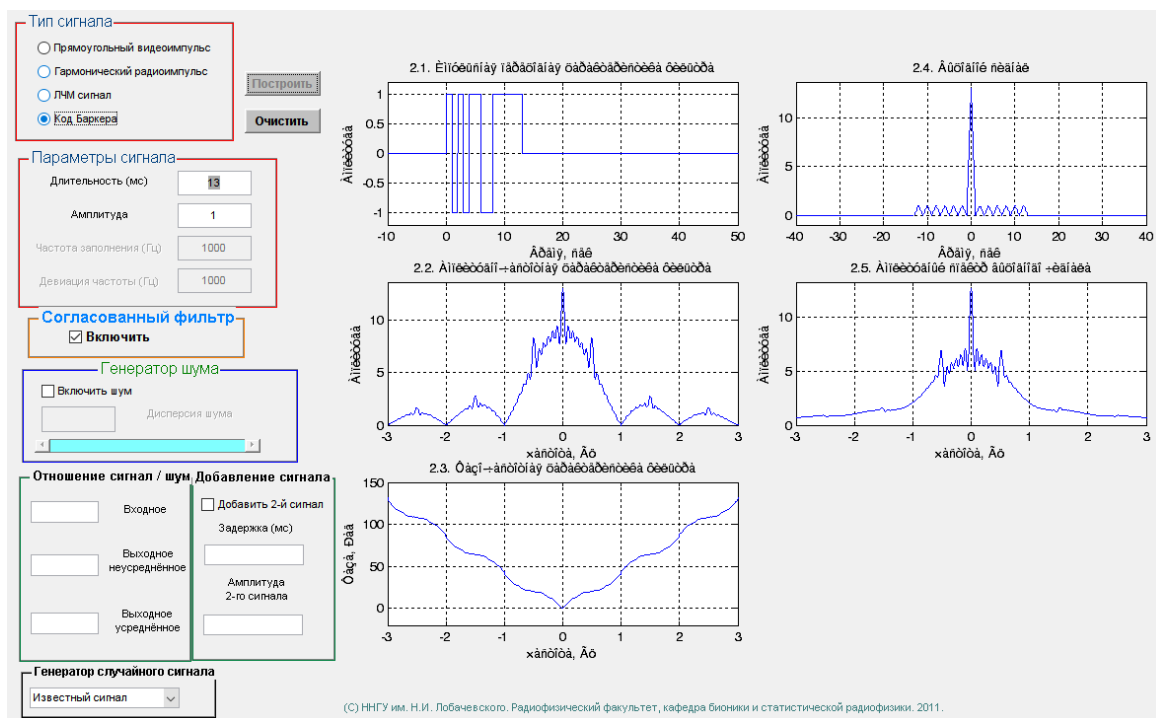


Рис. 17: 13 мс

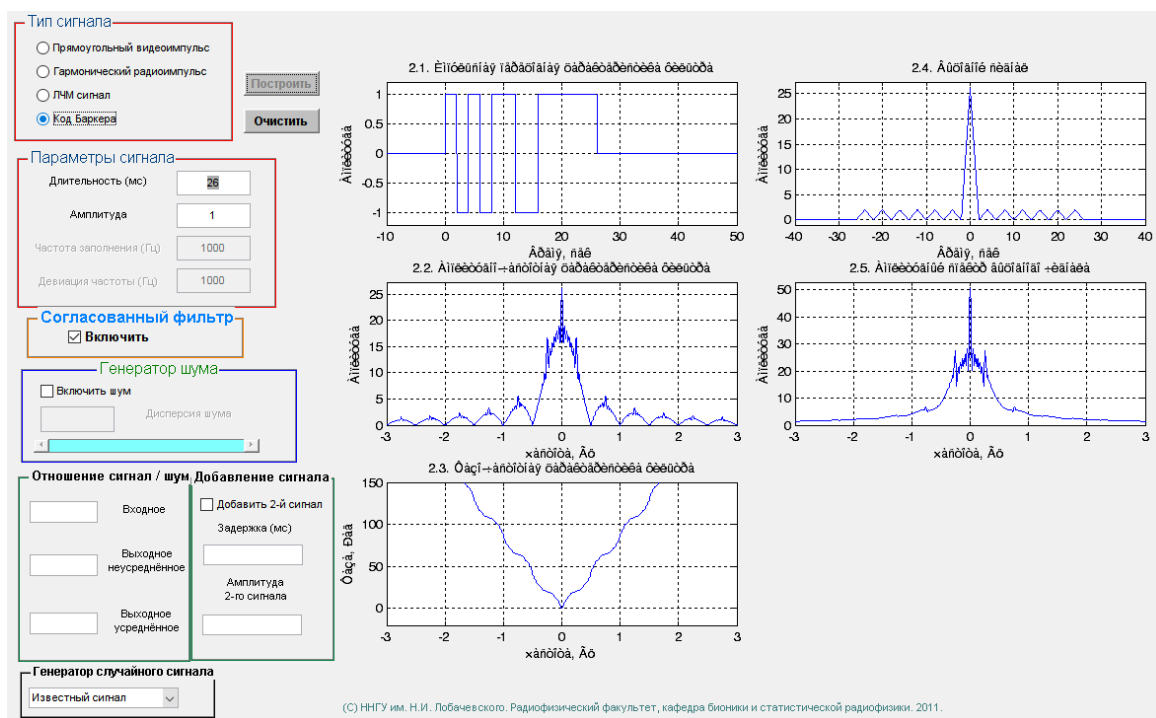


Рис. 18: 26 мс

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

### **2.3. Задание 3. Согласованная фильтрация линейно-частотно модулированного сигнала**

### **2.4. Задание 4. Зависимость отношения сигнал/шум на выходе согласованного фильтра от параметров входного сигнала**

### **2.5. Задание 5. Разрешение во времени простых и сложных сигналов при согласованной фильтрации.**

В этом задании качественно анализируется разрешение сигналов во времени. Качественно можно считать, что сигналы разрешены, если их максимумы отстоят не менее, чем на величину длительности сигнала. Требуется пронаблюдать суперпозицию двух несенных на величину временной задержки сигналов на выходе согласованного фильтра. Варьируя эту задержку, установить, какая минимальная величина задержки необходима для успешного разрешения сигналов во времени.

#### **2.5.1 Прямоугольный видеоимпульс**

Проводились измерения при значениях длительности сигналов  $T = 10, 20, 40$  мс. Пример суперпозиции сигналов, а также выход с фильтра приведены на рис. 19.

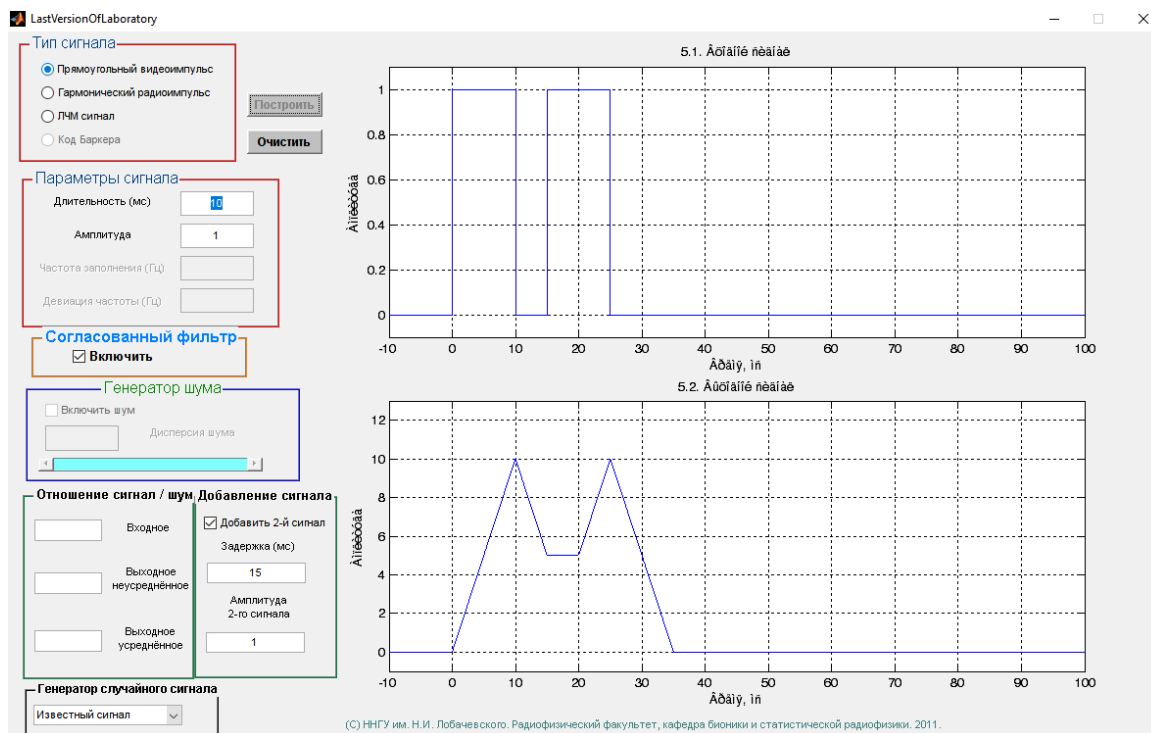


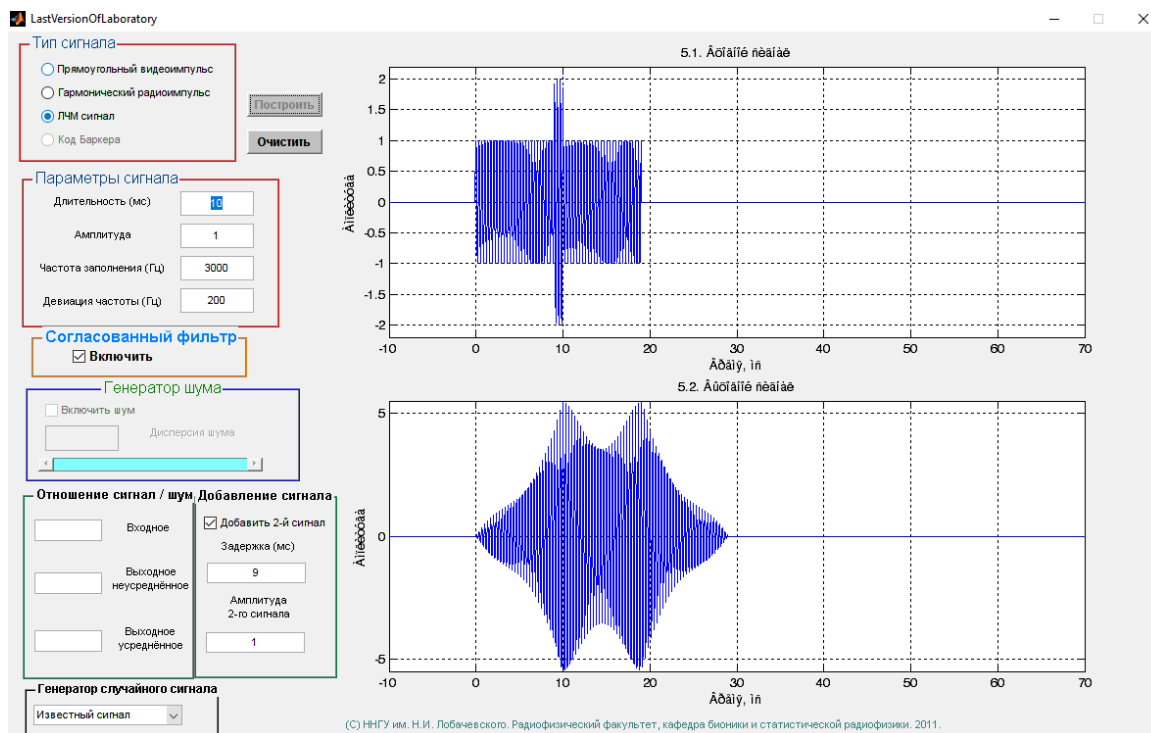
Рис. 19: Прямоугольный видеоимпульс. Длительность 10 мс, задержка 15 мс

При длительности импульса 10 мс, качественно, сигналы стали различимы при задержке в 11 мс - появились явные разделенные пики, по которым можно различить два сигнала. Полное разделение наступило при задержке в 20 мс - т.е. удвоенной длительности.

При увеличении длительности сигналов закономерность сохранялась - при задержке, чуть большей чем длительность сигнала, наблюдалось выделение отдельных пиков.

## 2.5.2 ЛЧМ сигнал

Далее исследовался ЛЧМ сигнал с частотой заполнения  $f = 3000$  Гц, девиацией  $f_{\Delta} = 200, 400, 800$  Гц, и длительностью  $T = 10, 20, 40$  мс.

Рис. 20: ЛЧМ сигнал,  $T = 10$  мс,  $f_{\Delta} = 200$  Гц,  $t_{\Delta} = 9$  мс

Для сигнала в  $T = 10$  мс,  $f_{\Delta} = 200$  Гц, значение задержки  $t_{\Delta}$ , при котором становятся различимы сигналы, составляет  $t_{\Delta} = 6$  мс.

По результатам измерений была составлена следующая таблица, в которой указаны пороговые значения задержки в мс, при которых сигналы становились различимыми:

$f_{\Delta}$ , Гц \ $T$ , мс	10	20	30
200	6	6	7
400	3	3.05	3.05
800	1.2	1.1	1.1

Из полученных данных видно, что увеличение длительности сигнала слабо влияет на разрешающую способность, в то время как величина девиации, влияющая на значение базы сигнала, линейно влияет на разрешающую способность.

## 2.6. Задание 6. Различение сигналов.

## 3. Вывод

## 4. Дополнение

*Здесь приведены некоторые вопросы, которые разбирались на сдаче отчета*