

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Отчет о выполнении лабораторной работы №3.6.1

Спектральный анализ электрических сигналов

Выполнил студент группы Б03-405
Тимохин Даниил

8 ноября 2025 г.

1. Аннотация

В данной работе исследуется разложение в ряд Фурье различных повторяющихся сигналов.

2. Теоретическая справка

Разложение периодического сигнала в ряд Фурье является дискретным и выглядит так:

$$f(t) = \frac{A_0}{2} + \sum A_n \cos 2\pi\nu_n t + B_n \sin 2\pi\nu_n t \quad (1)$$

Но данная форма неудобна для использования, поэтому спрячем синус в косинус с помощью фазы

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum a_n \cos (2\pi\nu_n t + \varphi_n) \quad (2)$$

При этом $\nu_n = \frac{n}{T}$, где T - период повторения сигнала

Ещё из этого разложения получается, что если у сигнала есть характерное время $\Delta\tau$, то существует соотношение неопределенности

$$\Delta\tau\Delta\nu \sim 1 \quad (3)$$

где $\Delta\nu$ - расстояние между соседними максимумами(или нулями).

3. Оборудование

Источник импульсов

Осциллограф

RC - фильтр

4. Проведение эксперимента и обработка результатов

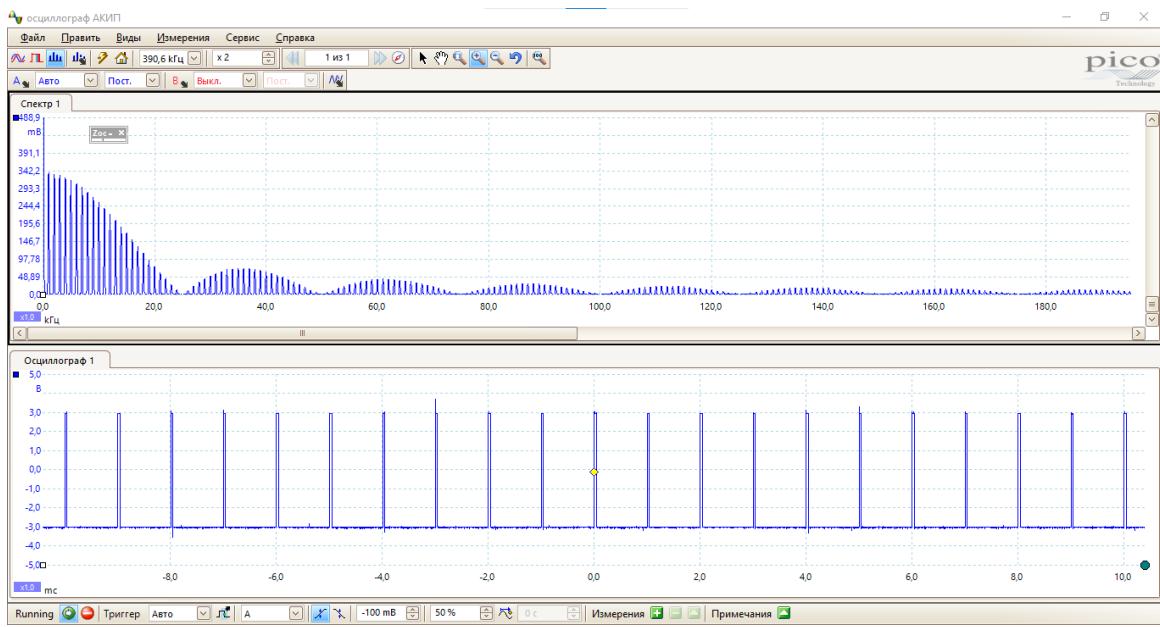
Проведем эксперименты с изменением параметров прямоугольной волной волны.

Плотность колышков не меняется, но меняется положение первого "нулевого колышка".

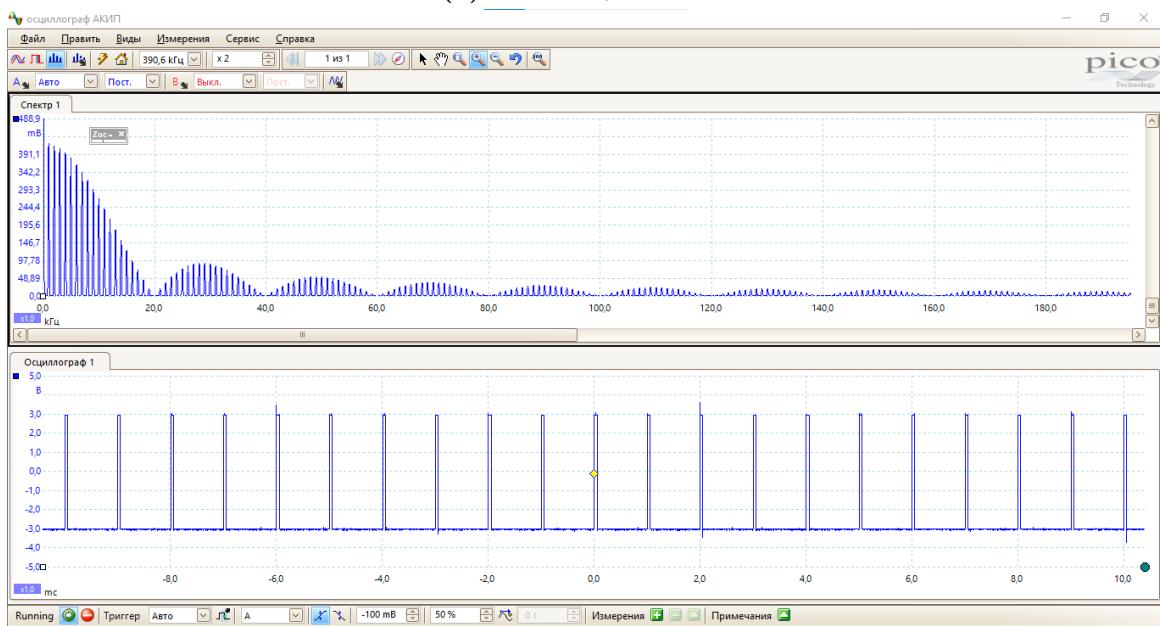
Плотность колышков меняется, не меняется положение первого "нулевого колышка".

Таблица 1. Проверка теории

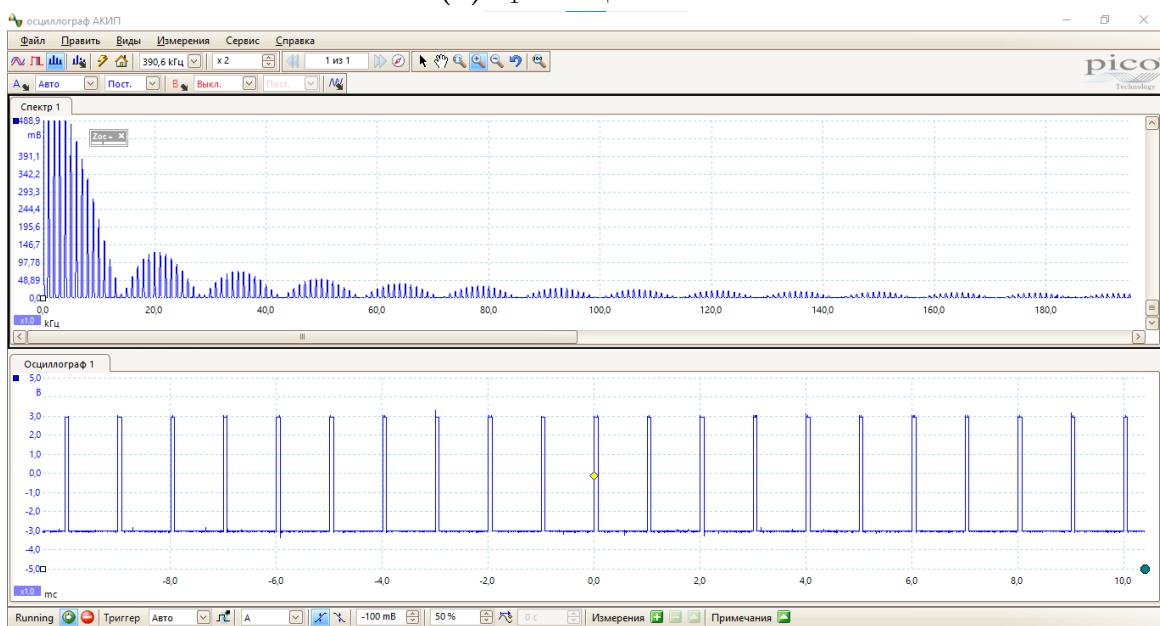
n	$A_n^{\text{эксп}}$	$\nu_n^{\text{эксп}}$	$A_n^{\text{теор}}$	$n\nu_n^{\text{теор}}$	ΔA_n	$\Delta\nu$
1	418	1001	418,00	1000	0,00	1
2	412	1988	412,86	2000	-0,86	-12
3	406	3033	404,36	3000	1,64	33
4	392	4008	392,65	4000	-0,65	8
5	377	5007	377,89	5000	-0,89	7
6	360	6005	360,29	6000	-0,29	5
7	340	6992	340,12	7000	-0,12	-8
8	316	8002	317,66	8000	-1,66	2



(a) $\nu_1=1\text{кГц}$ $\tau=40\text{мкс}$

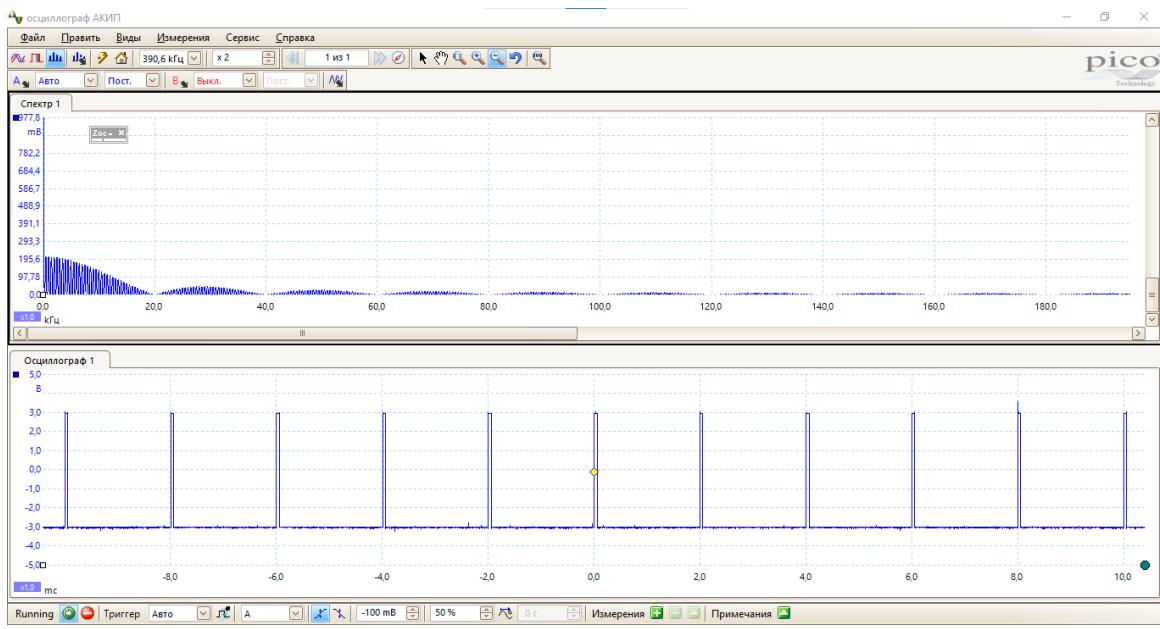


(b) $\nu_1=1\text{кГц}$ $\tau=50\text{мкс}$

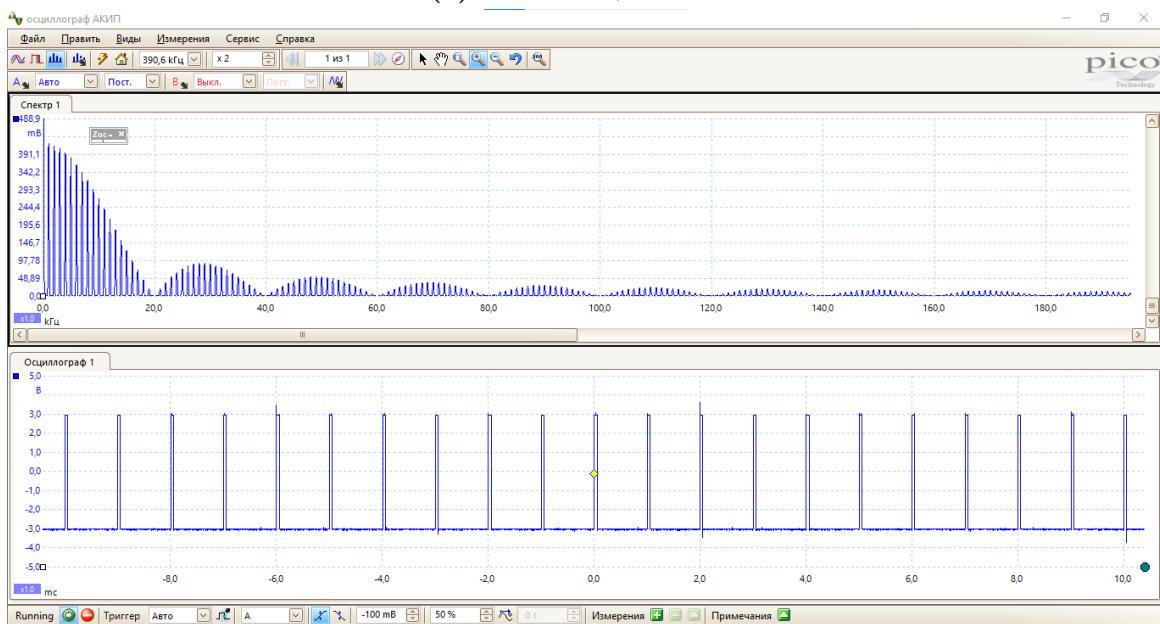


(c) $\nu_1=1\text{кГц}$ $\tau=70\text{мкс}$

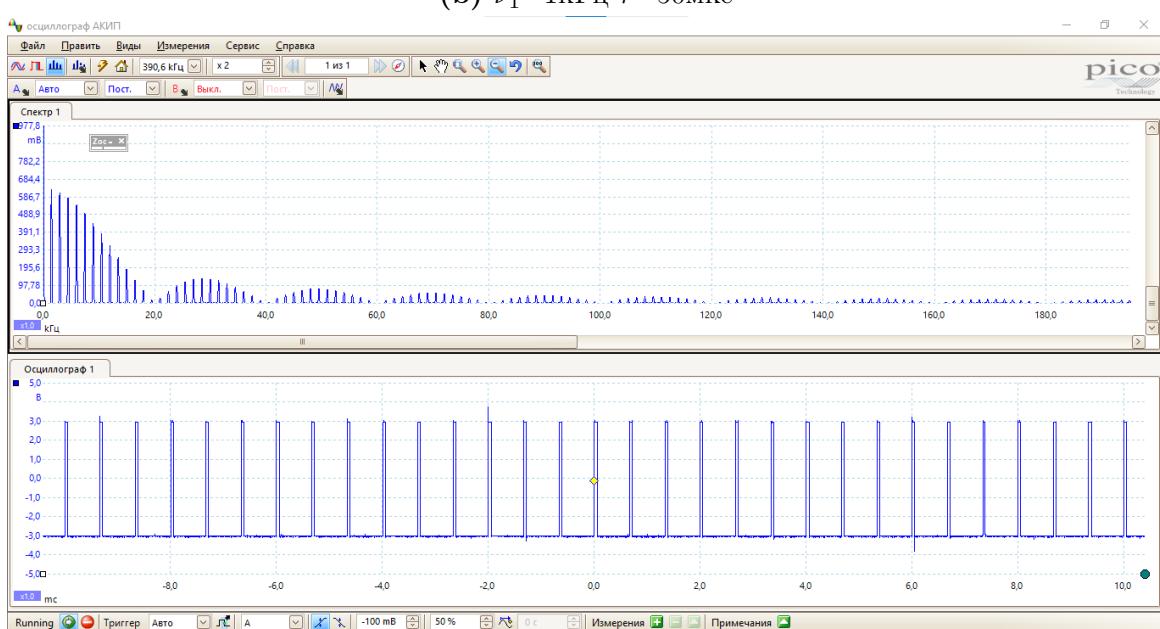
Рис. 1. Изменяя только ширину импульса, не меняя частоту



(a) $\nu_1=0.5\text{кГц}$ $\tau=40\text{мкс}$



(b) $\nu_1=1\text{кГц}$ $\tau=50\text{мкс}$



(c) $\nu_1=1.5\text{кГц}$ $\tau=50\text{мкс}$

Рис. 2. Изменяя только частоту импульсов, не меняя их абсолютную ширину

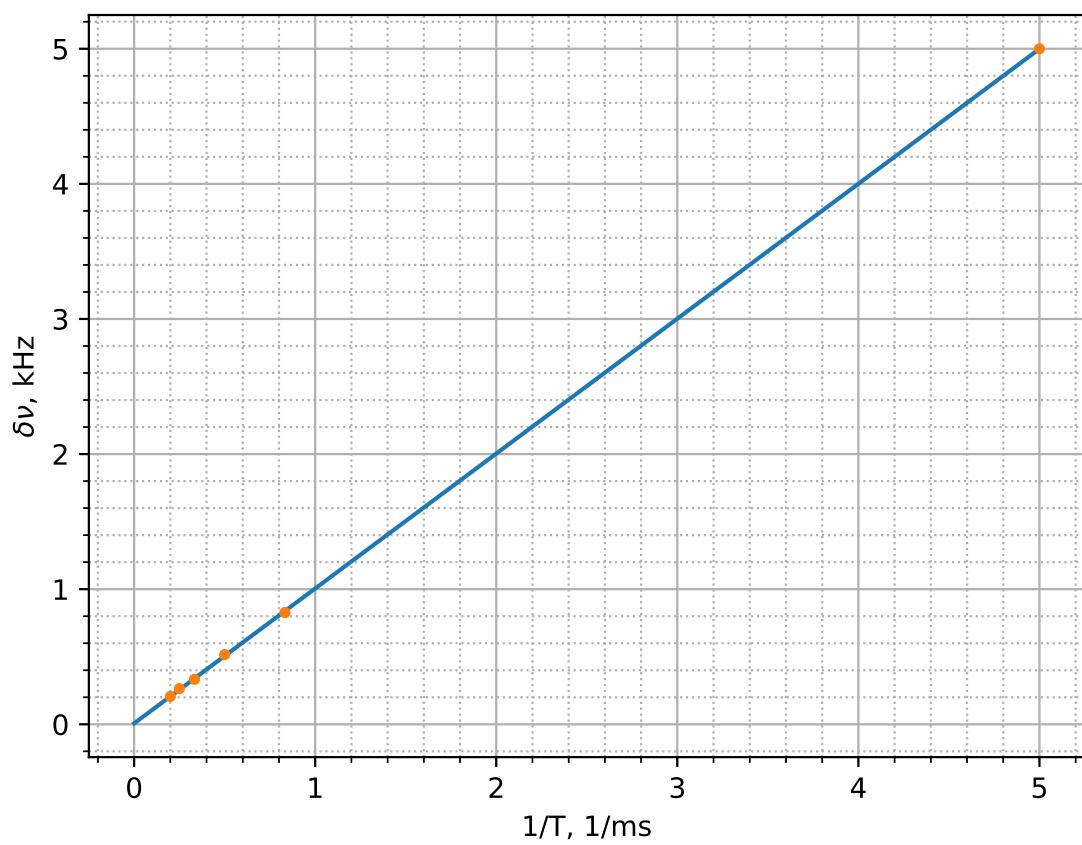


Рис. 3. Соотношение неопределенности 1

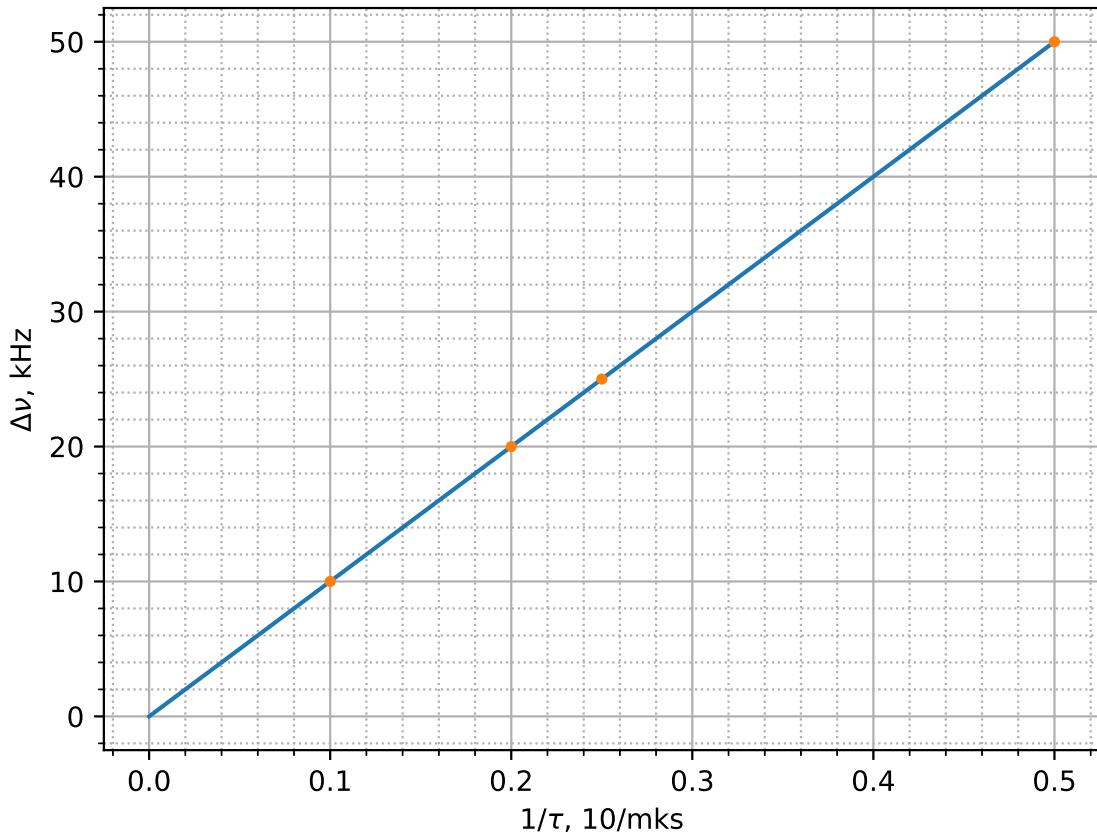


Рис. 4. Соотношение неопределенности 1

В первом случае $b = 0.0067 \text{ kHz}$ и $\varepsilon_b = 0.46$, А во втором случае $b = 2.13 \cdot 10^{-14} \text{ kHz}$ и $\varepsilon_b = 10^7$

Теперь рассмотрим цуги

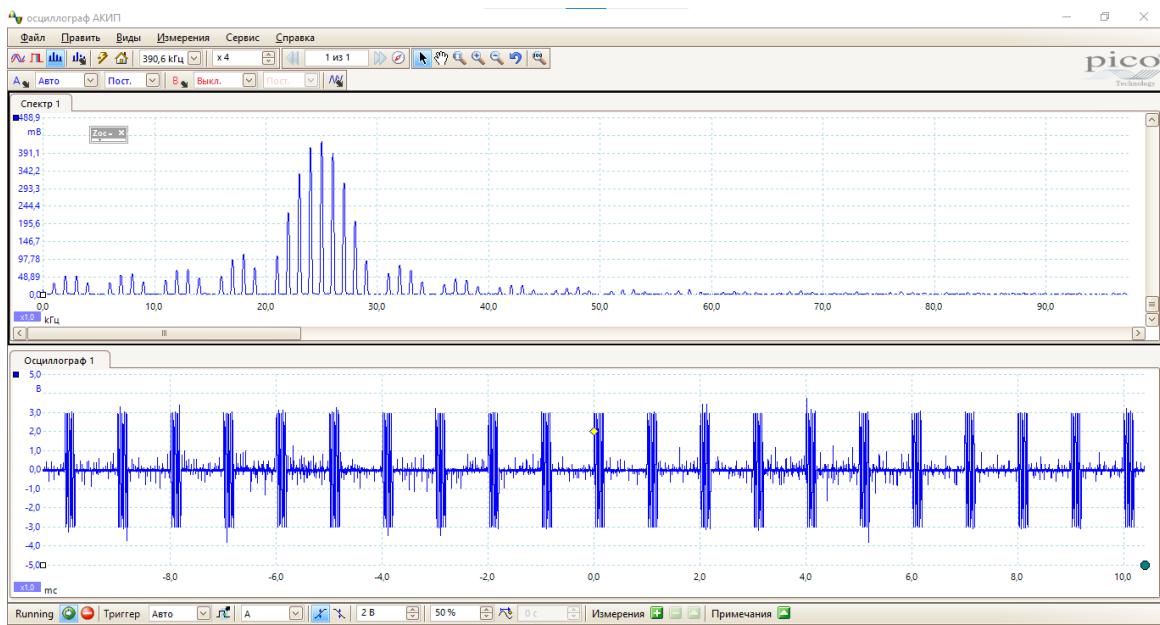
Из картинок очевидно исполнение соотношения неопределенностей.

Теперь амплитудно-модулированный сигнал

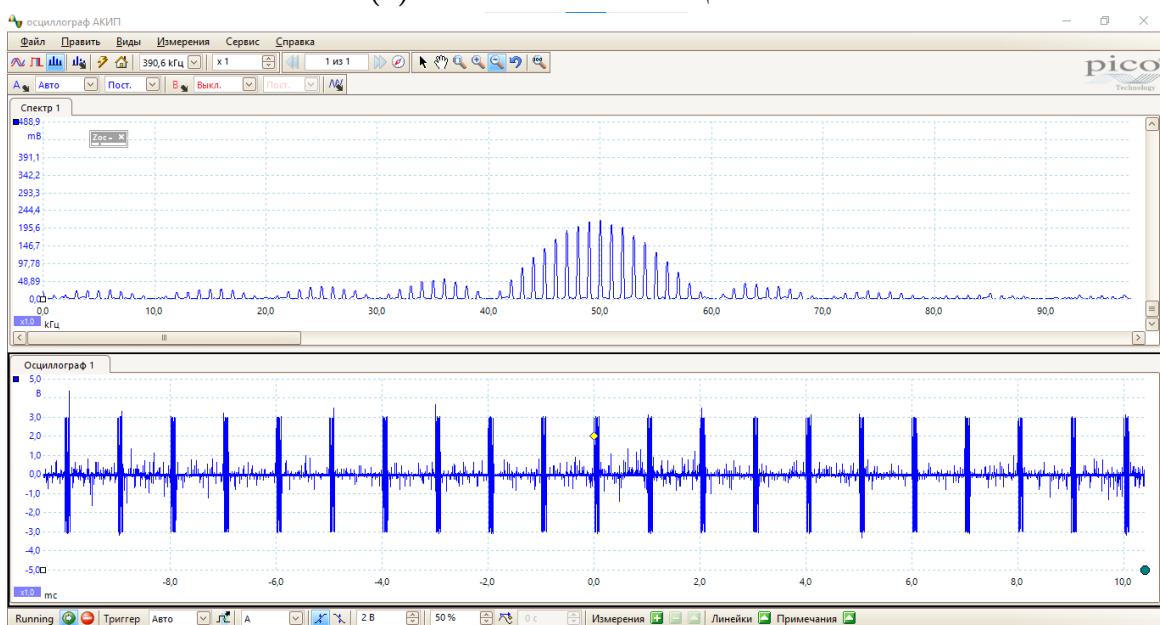
Таблица 2. Проверка теории

m	a_{main}	a_{nr}	$\frac{a_{nr}}{a_{\text{main_эксп}}}$	$\frac{a_{nr}}{a_{\text{main_осн}}}$	$\Delta \frac{a_{nr}}{a_{\text{main}}}$
10	893	44	0,049	0,05	0,000727884
20	878	88	0,1002	0,1	-0,00022779
30	880	132	0,15	0,15	0
40	880	171	0,194	0,2	0,005681818
50	880	220	0,25	0,25	0
60	880	269,9	0,3067	0,3	-0,006704545
70	880	299,3	0,3401	0,35	0,009886364
80	880	353,3	0,4015	0,4	-0,001477273
90	880	402,4	0,4573	0,45	-0,007272727
100	880	436,7	0,49625	0,5	0,00375

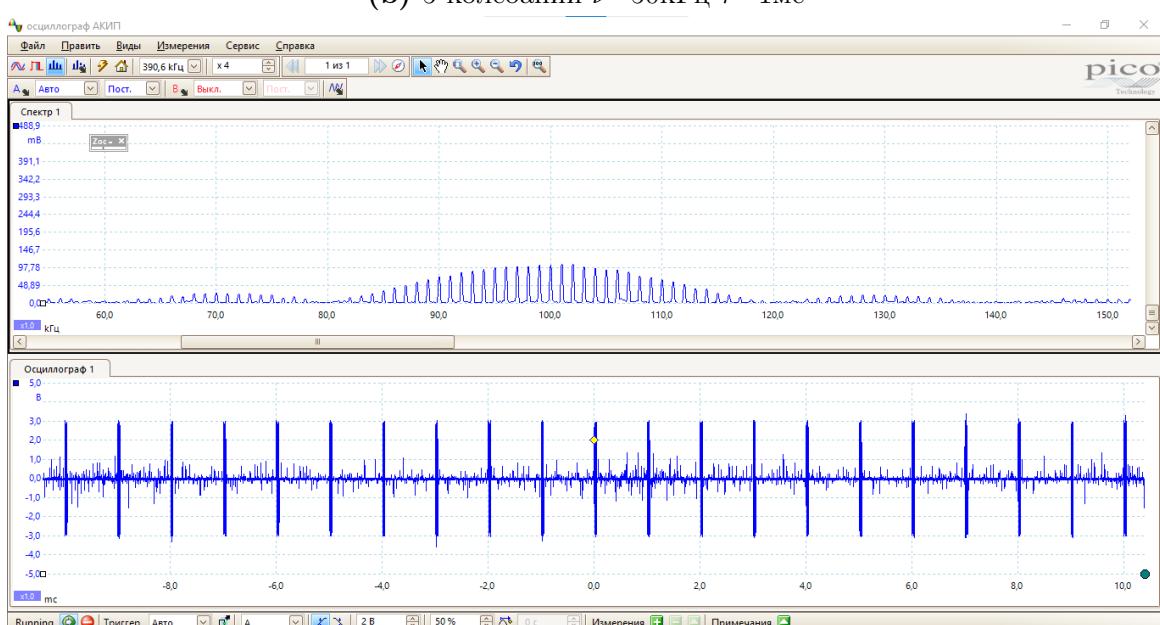
И RC-фильтр



(a) 5 колебаний $\nu=25\text{кГц}$ $\tau=1\text{мс}$

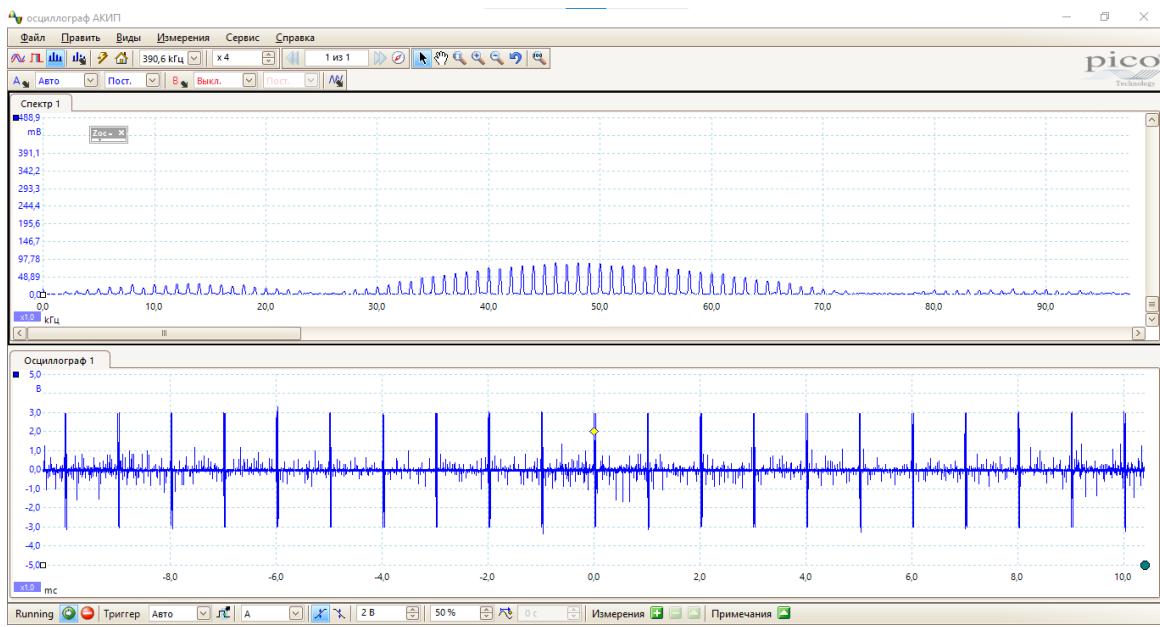


(b) 5 колебаний $\nu=50\text{кГц}$ $\tau=1\text{мс}$

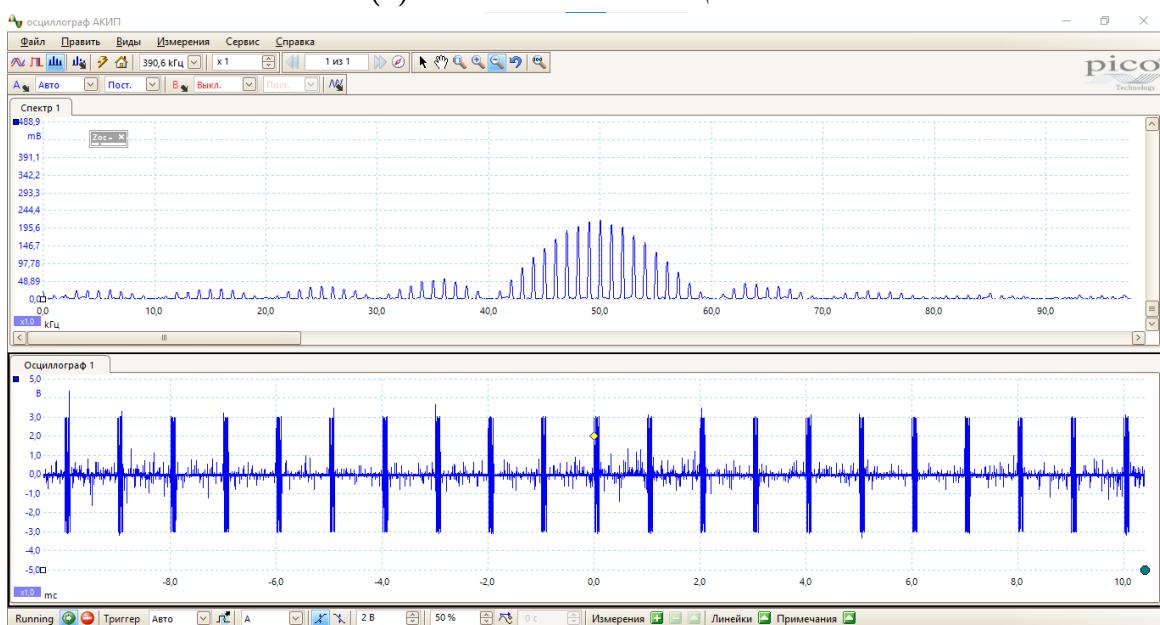


(c) 5 колебаний $\nu=100\text{кГц}$ $\tau=1\text{мс}$

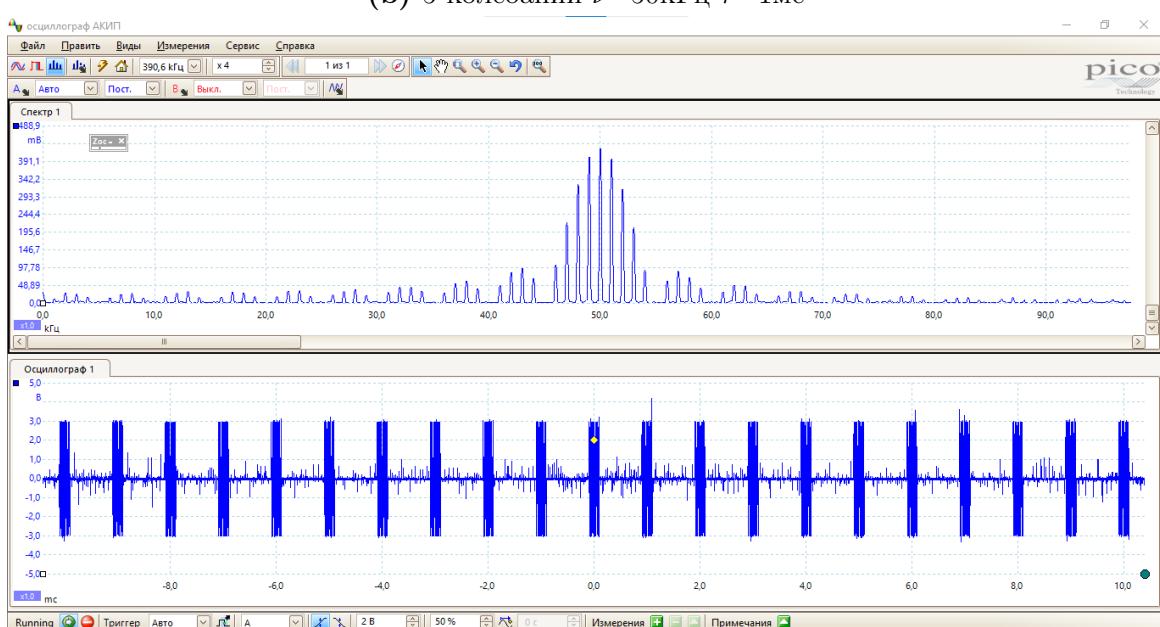
Рис. 5. Изменяя только частоту колебаний



(а) 2 колебания $\nu=50\text{кГц}$ $\tau=1\text{мс}$

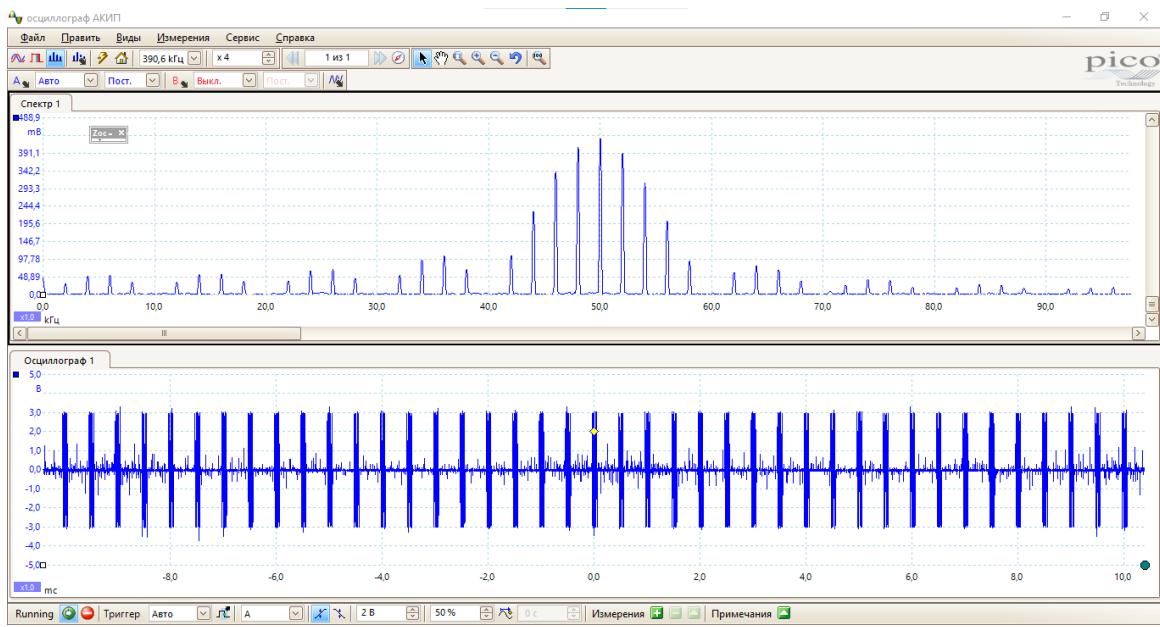


(б) 5 колебаний $\nu=50\text{кГц}$ $\tau=1\text{мс}$

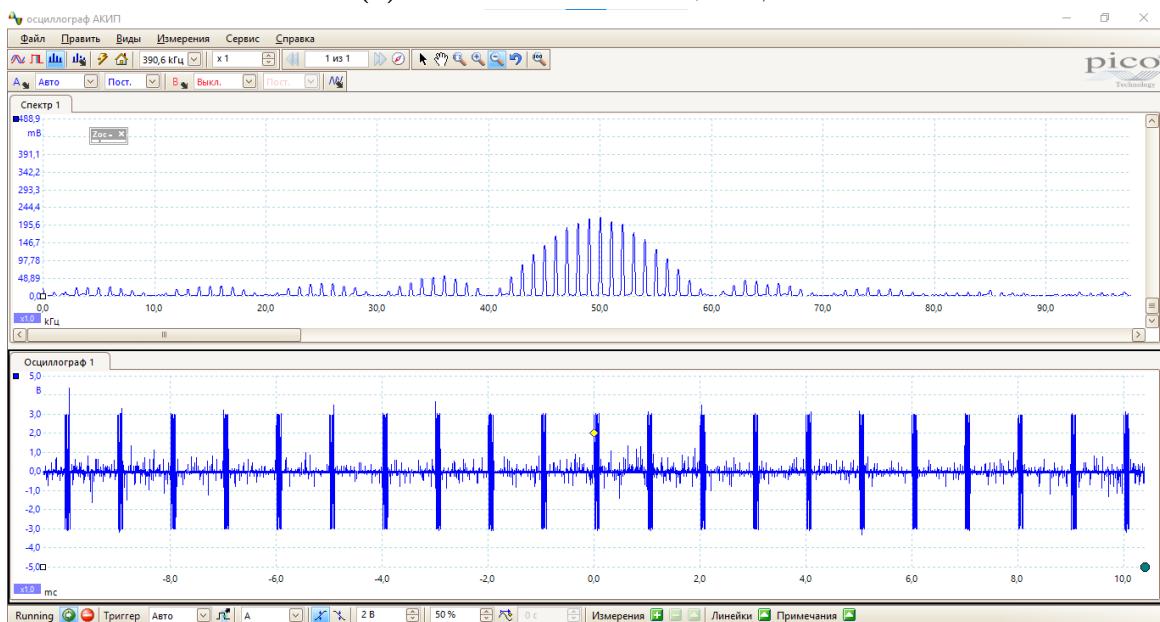


(с) 10 колебаний $\nu=50\text{кГц}$ $\tau=1\text{мс}$

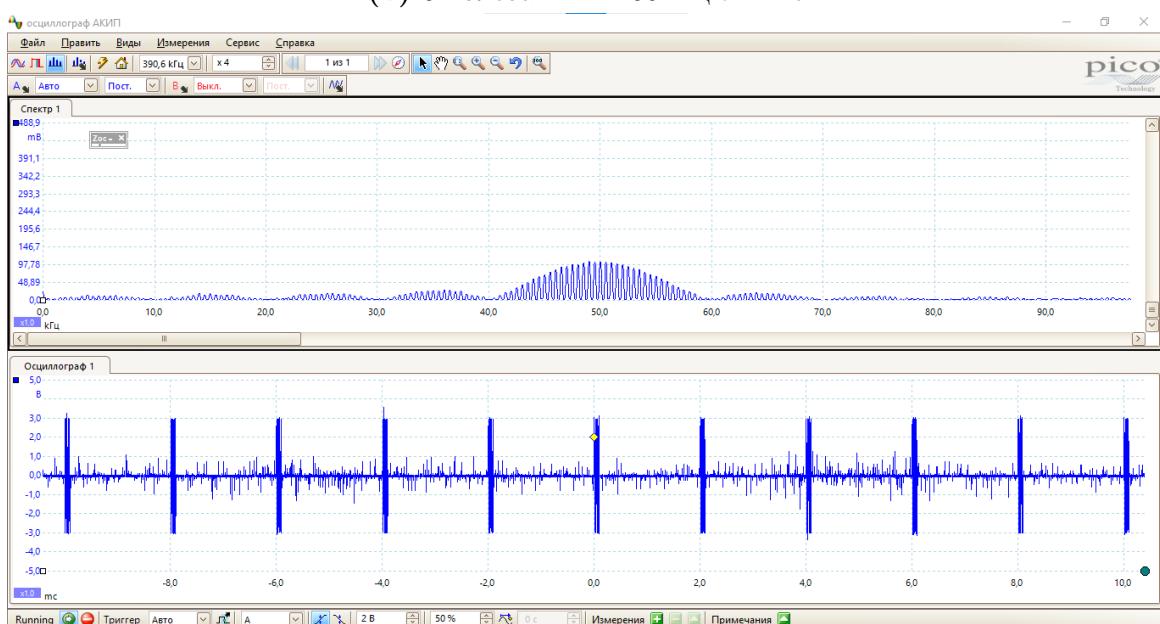
Рис. 6. Изменяя только количество колебаний



(a) 5 колебаний $\nu=50\text{кГц}$ $\tau=0,5\text{мс}$

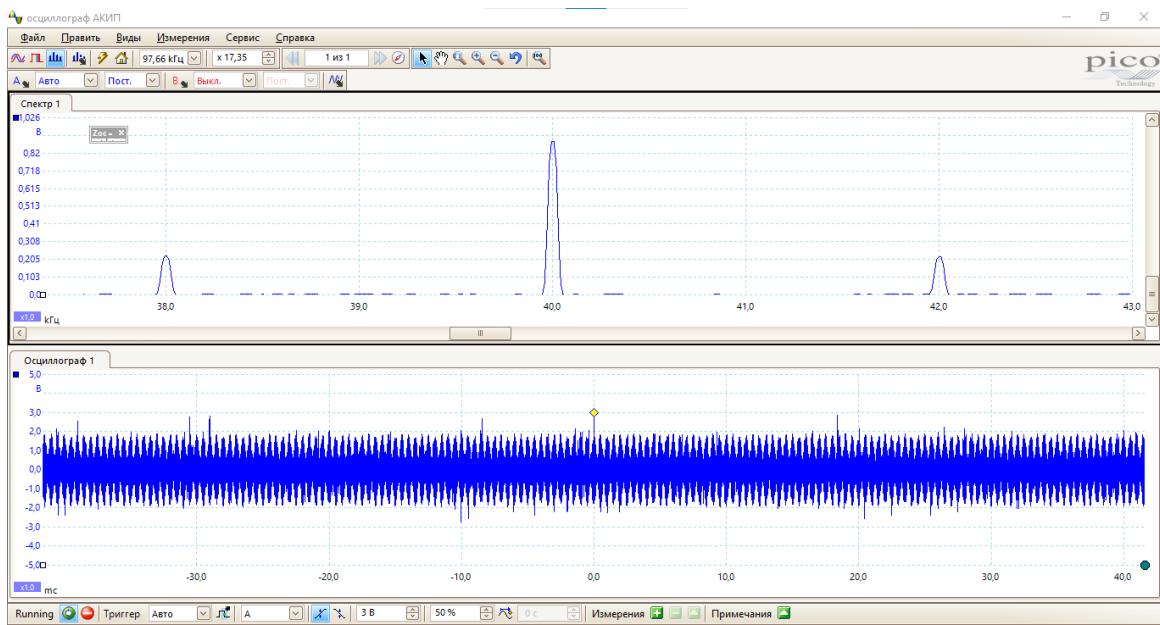


(b) 5 колебаний $\nu=50\text{кГц}$ $\tau=1\text{мс}$

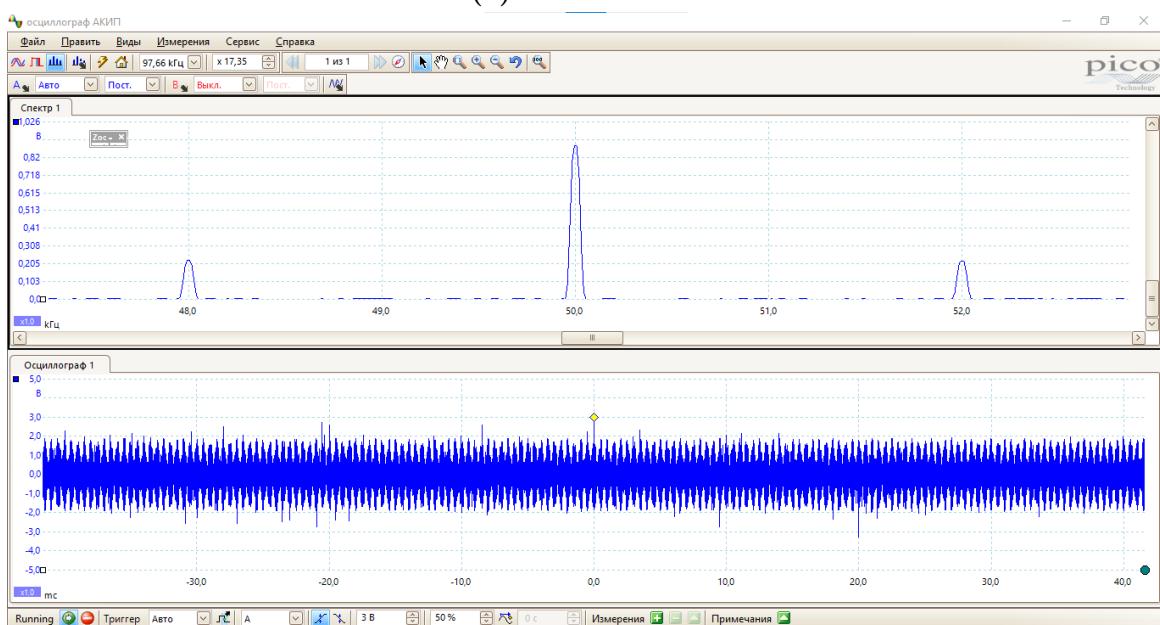


(c) 5 колебаний $\nu=50\text{кГц}$ $\tau=2\text{мс}$

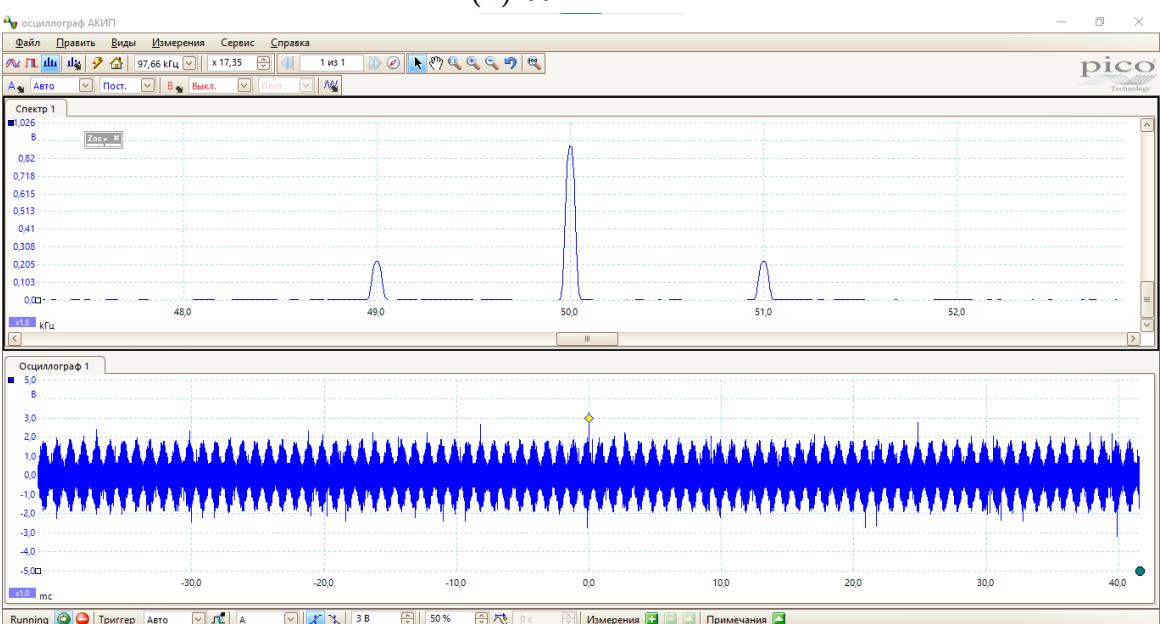
Рис. 7. Изменяя только период повтора сигнала



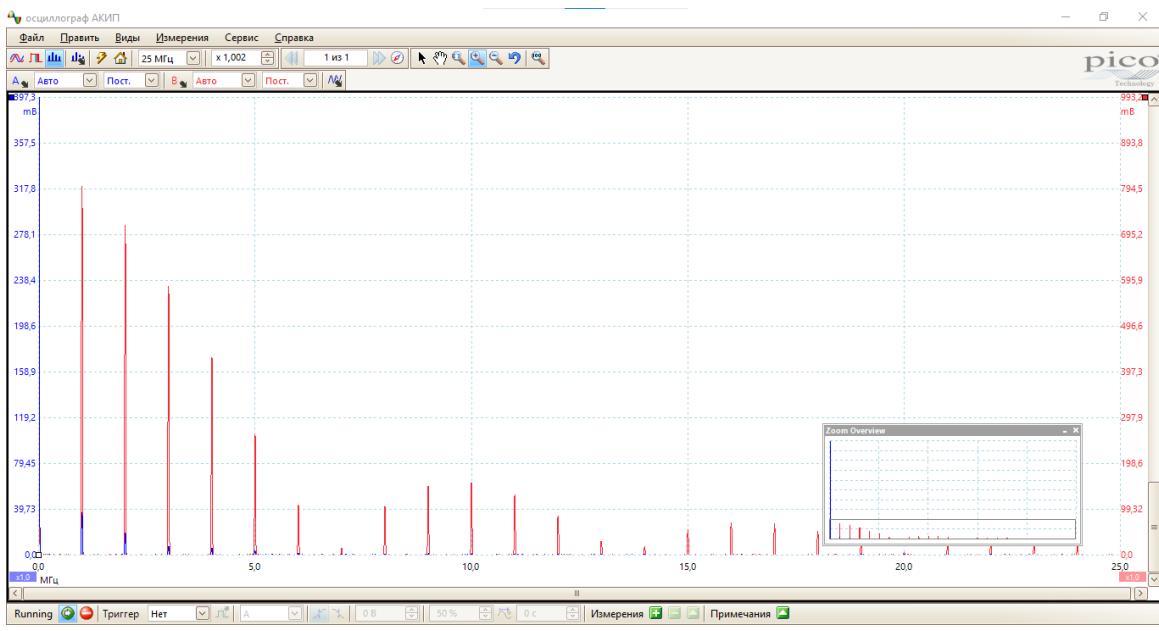
(a) 40kHz и 2kHz



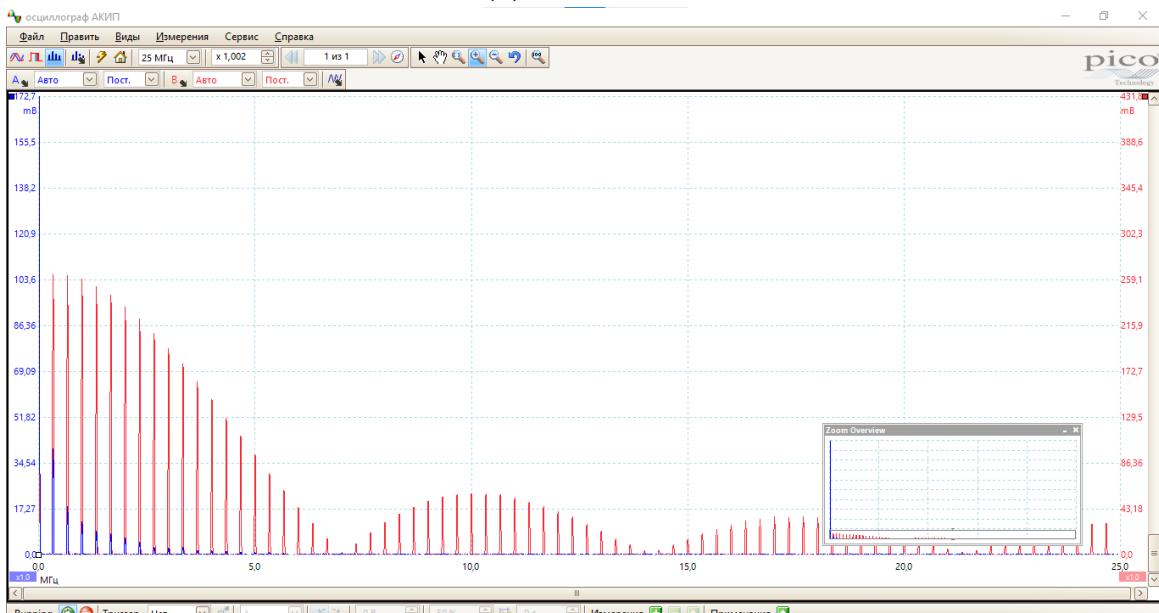
(b) 50kHz и 2kHz



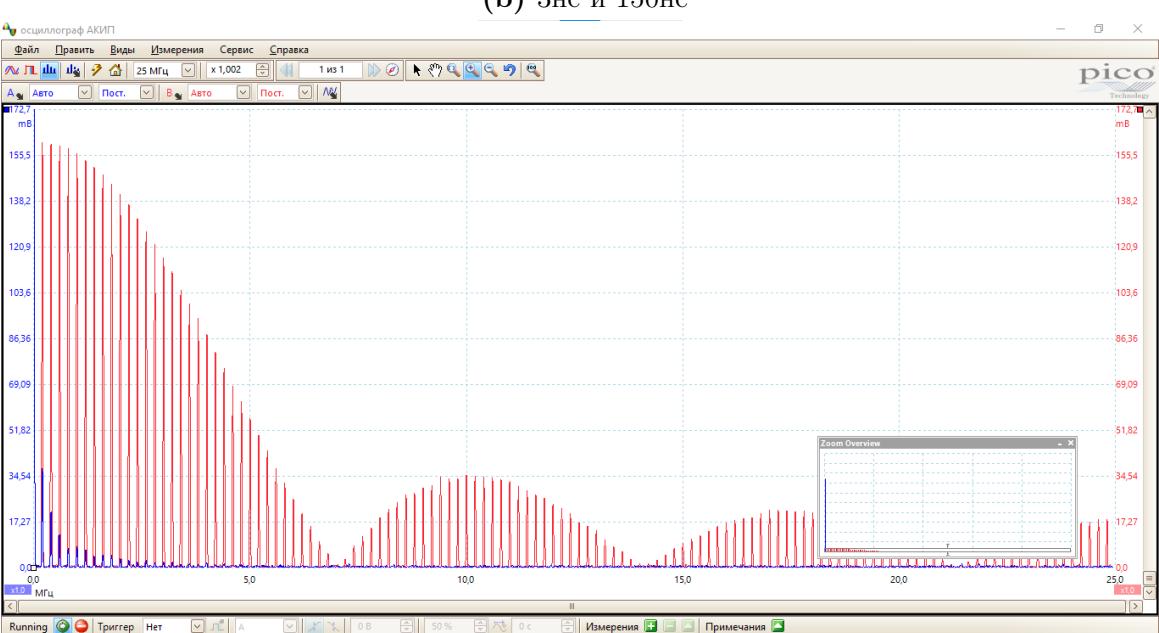
(c) 50kHz и 1kHz



(a) 1нс и 150нс



(b) 3нс и 150нс



(c) 5нс и 150нс

Затухание будет определяться по формуле

$$\frac{U_f}{U_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi\nu RC)^2}} \quad (4)$$

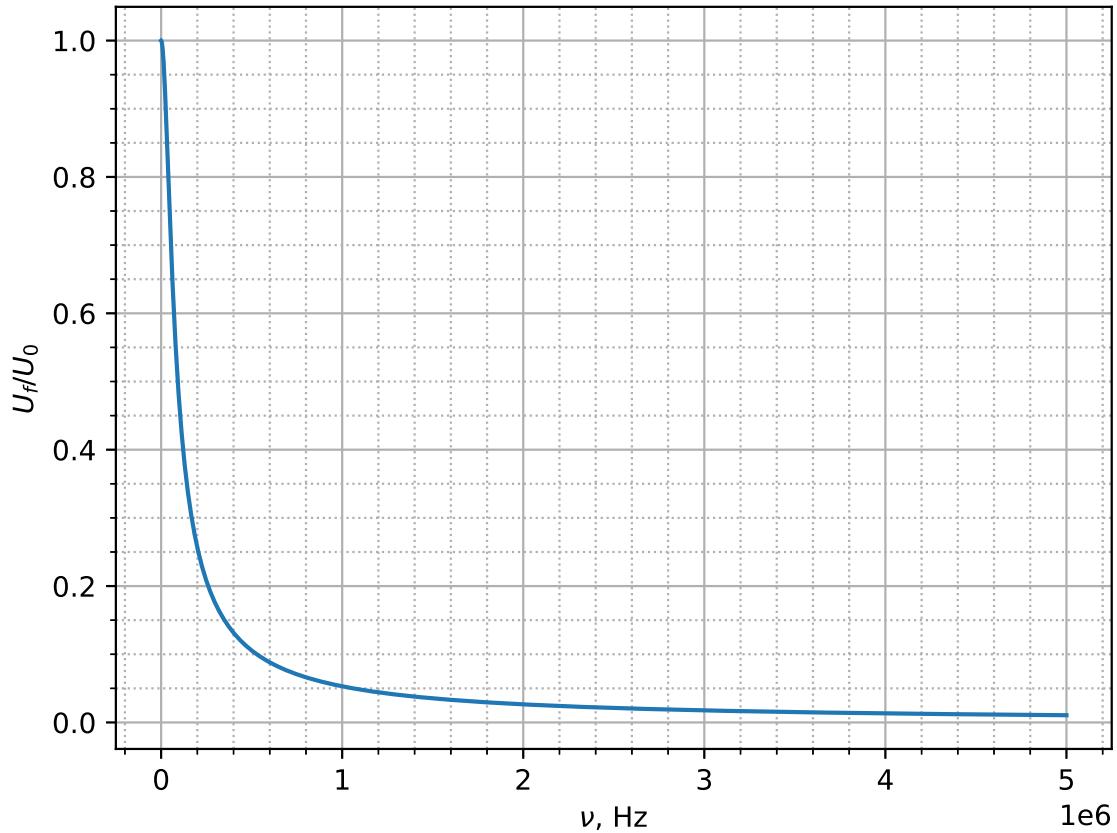


Рис. 10. Затухание сигнала после шифра

5. Обсуждение результатов и выводы

Были рассмотрены различные сигналы и их спектры. А также рассмотрен фильтр высоких частот.