

УДК 621.376.9

**ЦЕЛОЧИСЛЕННЫЙ АЛГОРИТМ КОРРЕКЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕДАТОЧНОЙ****ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛА СВЯЗИ OFDM****Позднякова Лидия Васильевна**

аспирант кафедры радиотехники и радиосистем ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

*E-mail:* lida\_pozdnyakova@mail.ru.*Адрес:* 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87.

*Аннотация:* Рассмотрен целочисленный алгоритм коррекции комплексной передаточной характеристики канала связи OFDM, путём применения обратной комплексной передаточной характеристики к спектру принятого сигнала. Коррекция осуществляется в два этапа: по преамбуле и пилот-поднесущим OFDM сигнала. Алгоритм коррекции по преамбуле не использует перевод в полярную систему координат для интерполяции неизвестных значений массива обратных комплексных коэффициентов передачи, необходимых для коррекции канала связи. Для выполнения коррекции применяется преамбула, состоящая из двух OFDM символов, которые содержат весь набор спектральных компонент, необходимый для расчёта обратной комплексной передаточной характеристики, и во временной области не имеют повторяющихся участков. Алгоритм работает с целочисленными значениями, что говорит о возможности его реализации в ПЛИС. При этом целочисленный алгоритм коррекции канала связи функционирует без потери точности по сравнению с вещественным алгоритмом.

*Ключевые слова:* OFDM, преамбула, комплексная передаточная характеристика, целочисленный алгоритм, пилот-поднесущие, канал связи.

**Введение**

В современном мире к каналам связи на основе технологии OFDM проявляется повышенное внимание. На основе данной технологии функционируют следующие стандарты связи: WiFi, WiMAX, LTE. Главным достоинством OFDM является её высокая устойчивость к межсимвольной интерференции за счёт введения циклического префикса [1, 2].

В технологии OFDM большое внимание уделяется обратной комплексной передаточной характеристике (ОКПХ) канала связи. Применение ОКПХ, т.е. коррекция комплексной передаточной характеристики (КПХ) канала связи путём комплексного умножения спектра принятого сигнала на обратную величину – ОКПХ, позволяет скорректировать принятый спектр сигнала, т.е. восстановить его по амплитуде и подстроить фазовые набеги по всем спектральным составляющим, чтобы с наименьшим количеством ошибок демодулировать сигнал [3].

Типовая процедура определения массива обратного комплексного коэффициента передачи (ОККП) канала связи OFDM предполагает передачу в преамбуле известного испытательного

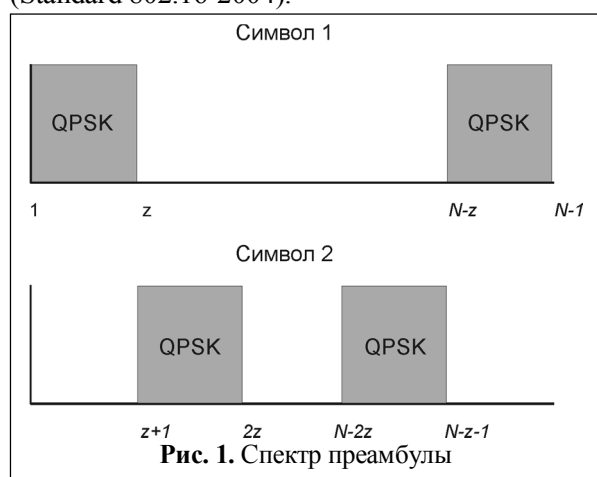
линейчатого спектра, модулированного по схеме QPSK, по искажениям которого осуществляется коррекция КПХ канала связи. Стандартная преамбула WiMAX 802.16 включает каждую вторую компоненту, например, 2-ую, 4-ую, 6-ую и т.д. [4, 5]. При этом все нечетные компоненты неизвестны, и чтобы найти ОККП на этих частотах необходимо будет использовать аппроксимацию. Данный метод предполагает перевод реальной и мнимой частей массива ОККП в полярные координаты для проведения аппроксимации и обратно, что усложняет алгоритм расчета и коррекции [6].

В целях упрощения и усовершенствования методов расчёта и коррекции КПХ, в [7] предложен алгоритм, не использующий перевод в полярную систему координат, основанный на разделении преамбулы на несколько символов. Поскольку амплитудные и фазовые искажения спектра сигнала во многих случаях обусловлены относительно медленными изменениями ОКПХ, то возможна оценка массива ОККП в интервале передачи не одного, а нескольких символов с разделением во времени частот испытательного линейчатого спектра [8]. Однако,

предложенный алгоритм работает с вещественными значениями, что неприемлемо для его реализации в аппаратуре, т.к. при реализации в аппаратуре одной из самых медленных операций является операция деления, и чем большая битность используется в модуле деления, тем большее количество тактов потребуется для выполнения деления. Максимально просто на языке описания аппаратуры реализуется операция целочисленного деления [9, 10], однако её использование без модификации алгоритма недопустимо, т.к. произойдет неприемлемое падение точности. Для реализации алгоритма коррекции с использованием целочисленного деления необходимо найти нормирующие коэффициенты, которые позволят сохранить точность расчета ОКПХ.

### Целочисленный алгоритм коррекции КПХ канала связи OFDM

Разработанный алгоритм коррекции КПХ предполагает использование двух OFDM символов в преамбуле. В первом символе преамбулы передаются компоненты с 1 по 50 и с 206 по 255. Во втором с 51 по 100 и с 156 по 205 (см. рис. 1,  $z=50$ ,  $N=256$ ). [11] Использование в преамбуле всех необходимых для расчёта ОКПХ спектральных компонент позволяет исключить процедуру интерполяции, которая используется в стандартном алгоритме коррекции канала связи (Standard 802.16-2004).



Целочисленный алгоритм коррекции КПХ по преамбуле и пилот-поднесущим, модулированным по схеме QPSK:

1) Получение с АЦП временных массивов (реальной -  $X_{Re}[i]$  и мнимой -  $X_{Im}[i]$  частей) преамбулы в диапазоне оптимальных значений  $\pm 96$  для 8ми битного АЦП,  $\pm 390$  для 10ти битного АЦП и  $\pm 1535$  для 12ти битного АЦП, в середине циклического префикса,  $i$  – целое число,  $i \in Z$ ,  $1 \leq i < N$ ,  $N$  – количество точек в массиве данных преобразования Фурье.

2) Расчёт прямого преобразования Фурье от полученных массивов данных  $X_{Re}[i]$ ,  $X_{Im}[i]$ . Получение реальной -  $S_{Re}[i]$  и мнимой -  $S_{Im}[i]$  частей спектра принятой преамбулы по формуле:

$$\dot{S}[i] = FFT(X_{Re}[i], X_{Im}[i]),$$

где  $\dot{S}[i]$  - комплексное значение спектра принятой преамбулы в точке  $i$ ,  $i \in Z$ ,  $1 \leq i < N$ .

Получение массива спектральных значений  $S_{Re}[i]$ ,  $S_{Im}[i]$  в диапазоне  $\pm 26000$  для 8, 10, 12-ти битного АЦП:

$$S_{Re}[i] = S_{Re}[i] \lll M,$$

$$S_{Im}[i] = S_{Im}[i] \lll M,$$

где операция  $\lll M$  означает сдвиг влево на  $M$  бит,  $M = 4$ , если используется 8ми битный АЦП,  $M = 2$ , если используется 10ти битный АЦП,  $M = 0$ , если используется 12ти битный АЦП,  $i \in Z$ ,  $1 \leq i < N$ .

3) Для каждой спектральной составляющей преамбулы рассчитываются значения ОККП по формуле:

$$K[i] = S_{IN}[i] / \dot{S}[i],$$

где  $K[i]$  - массив ОККП,  $S_{IN}[i]$  – комплексный массив спектральных составляющих преамбулы (эталонная преамбула),  $\dot{S}[i]$  – комплексный массив спектральных составляющих преамбулы, прошедших через канал передачи (принятая преамбула),  $i \in Z$ ,  $1 \leq i < N$ . [12, 13]

Расчет ОККП производится по правилу деления комплексных чисел. Для расчёта знаменателя значения реальной и мнимой частей спектра  $S_{Re}[i]$ ,  $S_{Im}[i]$  сдвигаются вправо на 1 бит ( $\ggg 1$ ) для получения  $S_{Re\_}[i]$ ,  $S_{Im\_}[i]$ :

$$S_{Re\_}[i] = S_{Re}[i] \gg 1,$$

$$S_{Im\_}[i] = S_{Im}[i] \gg 1,$$

где  $i \in Z$ ,  $1 \leq i < N$ .

Расчёт знаменателя ( $z$ ) осуществляется по формуле:

$$z[i] = (S_{Re\_}[i]^2 + S_{Im\_}[i]^2) \gg 15.$$

Получение реальной и мнимой частей ОКПХ  $K_{Re}[i]$  и  $K_{Im}[i]$  в диапазоне значений  $\pm 29000$  для 8, 10, 12-ти битного АЦП по формулам:

$$K_{Re}[i] = (S_{IN\_Re}[i] \cdot S_{Re}[i] + S_{IN\_Im}[i] \cdot S_{Im}[i]) / z[i],$$

$$K_{Im}[i] = (S_{IN\_Im}[i] \cdot S_{Re}[i] - S_{IN\_Re}[i] \cdot S_{Im}[i]) / z[i],$$

где  $S_{IN\_Re}[i]$ ,  $S_{IN\_Im}[i]$  – реальная и мнимая части спектральных составляющих эталонной преамбулы,  $i \in Z$ ,  $1 \leq i < N$ .

4) Далее осуществляется получение временных массивов данных ( $X_{Sig\_Re}[i]$ ,  $X_{Sig\_Im}[i]$ ) модулированного определённым видом модуляции (QPSK, QAM16, QAM64) OFDM символа в середине циклического префикса. Оптимальные значения массивов  $X_{Sig\_Re}[i]$ ,  $X_{Sig\_Im}[i]$  располагаются в диапазоне  $\pm 96$  для 8ми битного АЦП,  $\pm 390$  для 10ти битного АЦП и  $\pm 1535$  для 12ти битного АЦП,  $i \in Z$ ,  $1 \leq i < N$ .

5) Расчёт прямого преобразования Фурье от полученных массивов данных  $X_{Sig\_Re}[i]$ ,  $X_{Sig\_Im}[i]$ . Получение реальной  $S_{Sig\_Re}[i]$  и мнимой  $S_{Sig\_Im}[i]$  частей спектра принятого сигнала по формуле:

$$\dot{S}_{Sig}[i] = FFT(X_{Sig\_Re}[i], X_{Sig\_Im}[i]),$$

где  $\dot{S}_{Sig}[i]$  – комплексное значение спектра принятого сигнала в точке  $i$ ,  $i \in Z$ ,  $1 \leq i < N$ .

Сдвиг реальной и мнимой частей спектра ( $S_{Sig\_Re}[i]$ ,  $S_{Sig\_Im}[i]$ ) влево на 4 бита ( $\ll 4$ ) в случае использования 8ми битного АЦП, на 2 бита ( $\ll 2$ ) в случае использования 10ти битного АЦП и 0 бит ( $\ll 0$ ) в случае использования 12ти битного АЦП для получения значений  $S_{Sig\_Re}[i]$ ,  $S_{Sig\_Im}[i]$  в диапазоне  $\pm 26500$  для 8, 10, 12-ти битного АЦП:

$$S_{Sig\_Re\_}[i] = S_{Sig\_Re}[i] \ll M,$$

$$S_{Sig\_Im\_}[i] = S_{Sig\_Im}[i] \ll M,$$

где  $M = 4$ , если используется 8ми битный АЦП,  $M = 2$ , если используется 10ти битный АЦП,  $M = 0$ , если используется 12ти битный АЦП, операция  $\ll M$  означает сдвиг влево на  $M$  бит,  $i \in Z$ ,  $1 \leq i < N$ .

6) Применение ОКПХ ( $K_{Re}[i]$  и  $K_{Im}[i]$ ) к массивам данных  $S_{Sig\_Re}[i]$  и  $S_{Sig\_Im}[i]$  в комплексном виде для получения скорректированных по преамбуле спектров символа данных и сдвиг их вправо на 15 бит ( $\gg 15$ ) для получения значений скорректированных спектров в диапазоне  $\pm 16000$ :

$$S_{Sig\_Re\_OKKP}[i] = (S_{Sig\_Re}[i] * K_{Re}[i] - S_{Sig\_Im}[i] * K_{Im}[i]) \gg 15,$$

$$S_{Sig\_Im\_OKKP}[i] = (S_{Sig\_Re}[i] * K_{Im}[i] + S_{Sig\_Im}[i] * K_{Re}[i]) \gg 15, i \in Z, 1 \leq i < N.$$

7) Заполнение массивов пилот-поднесущих  $Pilot_{Re}[i]$ ,  $Pilot_{Im}[i]$  (индексы компонент: 2, 34, 66, 98, 158, 190, 222, 254) из массивов скорректированных обратным комплексным коэффициентом передачи спектров данных  $S_{Sig\_Re\_OKKP}[i]$  и  $S_{Sig\_Im\_OKKP}[i]$ .

8) Расчёт значений ОКПХ по пилот-поднесущим осуществляется по формуле:

$$OKKP_{pilot}[i] = Pilot_{IN}[i] / Pilot[i],$$

где  $OKKP_{pilot}[i]$  – массив ОККП, рассчитанный по пилот-поднесущим,  $Pilot_{IN}[i]$  – комплексный массив пилот-поднесущих (эталонные значения пилотов),  $Pilot[i]$  – комплексный массив пилот-поднесущих, прошедших через канал передачи (принятые значения пилотов),  $i=2, 34, 66, 98, 158, 190, 222, 254$ .

Расчет ОККП производится по правилу деления комплексных чисел. Для расчёта знаменателя значения реальной и мнимой частей пилот-поднесущих  $Pilot_{Re}[i]$ ,  $Pilot_{Im}[i]$  сдвигаются вправо на 1 бит ( $\gg 1$ ) для получения  $Pilot_{Re\_}[i]$ ,  $Pilot_{Im\_}[i]$ :

$$Pilot_{Re}[i] = Pilot_{Re}[i] \gg 1,$$

$$Pilot_{Im}[i] = Pilot_{Im}[i] \gg 1,$$

где  $i=2, 34, 66, 98, 158, 190, 222, 254$ .

Расчёт знаменателя ( $z_{Pilot}$ ) осуществляется по формуле:

$$z_{Pilot}[i] = (Pilot_{Re}[i]^2 + Pilot_{Im}[i]^2) \gg 15.$$

Получение реальной и мнимой частей ОКПХ  $OKKP_{Pilot\_Re}[i]$  и  $OKKP_{Pilot\_Im}[i]$  в диапазоне значений  $\pm 33000$  для 8, 10, 12-ти битного АЦП по формулам:

$$OKKP_{Pilot\_Re}[i] = (Pilot_{IN\_Re}[i] \cdot Pilot_{Re}[i] + Pilot_{IN\_Im}[i] \cdot Pilot_{Im}[i]) / z_{Pilot}[i],$$

$$OKKP_{Pilot\_Im}[i] = (Pilot_{IN\_Im}[i] \cdot Pilot_{Re}[i] - Pilot_{IN\_Re}[i] \cdot Pilot_{Im}[i]) / z_{Pilot}[i],$$

где  $Pilot_{IN\_Re}[i]$ ,  $Pilot_{IN\_Im}[i]$  – эталонные значения реальной и мнимой части пилот - поднесущих, где  $i=2, 34, 66, 98, 158, 190, 222, 254$ .

9) Расчет коэффициентов  $k$  и  $b$  для линейной аппроксимации ( $kx+b$ ) ОКПХ, для реальной и мнимой частей:

$$k_{Re}[i] = (OKKP_{Pilot\_Re}[i+32] - OKKP_{Pilot\_Re}[i]) / 32,$$

$$b_{Re}[i] = OKKP_{Pilot\_Re}[i] - k_{Re}[i] * i,$$

$$k_{Im}[i] = (OKKP_{Pilot\_Im}[i+32] - OKKP_{Pilot\_Im}[i]) / 32,$$

$$b_{Im}[i] = OKKP_{Pilot\_Im}[i] - k_{Im}[i] * i.$$

Расчёт коэффициентов осуществляется для значений  $i=2, 34, 66, 158, 190, 222$ .

10) Аппроксимация для получения неизвестных значений реальной и мнимой частей ОКПХ по формуле:

$$OKKP_{Pilot\_Re}[i+j] = k_{Re}[i] * (i+j) + b_{Re}[i],$$

$$OKKP_{Pilot\_Im}[i+j] = k_{Im}[i] * (i+j) + b_{Im}[i].$$

Для аппроксимации шаг изменения  $j$  равен 1,  $i=2, 34, 66, 158, 190, 222, j \in Z, 1 \leq j \leq 31$ .

Для аппроксимации краевых значений, т.е. когда  $i < 2$  и  $i < 158$ , используются коэффициенты  $k[i]$  и  $b[i]$ , рассчитанные для индексов  $i=2$  и  $i=158$ , соответственно, для реальной и мнимой частей:

$$OKKP_{Pilot\_Re}[i+j] = k_{Re}[i] * (i+j) + b_{Re}[i],$$

$$OKKP_{Pilot\_Im}[i+j] = k_{Im}[i] * (i+j) + b_{Im}[i],$$

где  $i=0$  ( $k[2]$  и  $b[2]$ ),  $156$  ( $k[158]$  и  $b[158]$ ),  $j=0, 1$ .

Для аппроксимации краевых значений, т.е. когда  $i > 66$  и  $i > 222$ , используются коэффициен-

ты  $k$  и  $b$ , рассчитанные для индексов  $i=66$  и  $i=222$ , соответственно, для реальной и мнимой частей:

$$OKKP_{Pilot\_Re}[i+j] = k_{Re}[i] * (i+j) + b_{Re}[i],$$

$$OKKP_{Pilot\_Im}[i+j] = k_{Im}[i] * (i+j) + b_{Im}[i],$$

где  $i=99$  ( $k[66]$  и  $b[66]$ ),  $255$  ( $k[158]$  и  $b[158]$ ),  $j=0, 1$  для  $i=99, j=0$  для  $i=255$ .

Массивы  $OKKP_{Pilot\_Re}[i]$  и  $OKKP_{Pilot\_Im}[i]$  равны нулю при  $i \in Z, 101 \leq i \leq 155$ .

11) Комплексное умножение частей ОКПХ, рассчитанных по пилотам,  $OKKP_{Pilot\_Re}[i]$  и  $OKKP_{Pilot\_Im}[i]$  на массивы данных  $S_{Sig\_Re\_OKKP}[i]$  и  $S_{Sig\_Im\_OKKP}[i]$  для коррекции:

$$Signal_{Re}[i] = S_{Sig\_Re\_OKKP}[i] * OKKP_{Pilot\_Re}[i] -$$

$$S_{Sig\_Im\_OKKP}[i] * OKKP_{Pilot\_Im}[i],$$

$$Signal_{Im}[i] = S_{Sig\_Re\_OKKP}[i] * OKKP_{Pilot\_Im}[i] +$$

$$S_{Sig\_Im\_OKKP}[i] * OKKP_{Pilot\_Re}[i].$$

Для избежания переполнения при 32-х битном умножении производится уменьшение значений массивов  $Signal_{Re}[i]$  и  $Signal_{Im}[i]$  путём сдвига их значений вправо на 14 бит:

$$Signal_{Re}[i] = Signal_{Re}[i] \gg 14,$$

$$Signal_{Im}[i] = Signal_{Im}[i] \gg 14.$$

Восстановление исходной амплитуды спектральных компонент по известному отношению амплитуды данных к амплитуде пилот-поднесущих для получения значений реальной и мнимой частей спектра данных в диапазоне  $\pm 2^{26}$  для 8, 10, 12-ти битного АЦП:

$$Signal_{Re}[i] = Signal_{Re}[i] * B,$$

$$Signal_{Im}[i] = Signal_{Im}[i] * B,$$

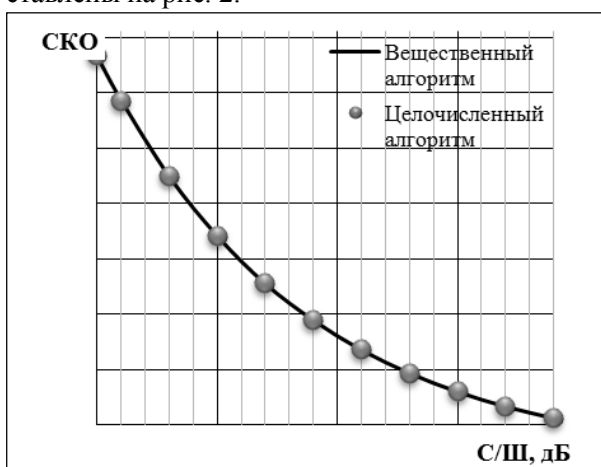
где  $B = 11070$  – нормирующий коэффициент, являющийся отношением  $2^{12}$  к известному отношению амплитуды данных ( $A_D$ ) к амплитуде пилотов ( $A_P$ )  $A_D/A_P=0,37$ , т.е. получаем  $2^{12}/0,37$ ,  $i \in Z, 1 \leq i < N$ .

Операции деления, используемые в алгоритме, являются целочисленными. Алгоритм функционирует в диапазоне минимального входного значения сигнала  $\pm 2^{\text{Битность АЦП}-1}/32$ , максимального входного значения сигнала  $\pm 2^{\text{Битность АЦП}-1}$ .

### Оценка точности целочисленного алгоритма коррекции КПХ по сравнению с вещественным алгоритмом

Для моделирования целочисленного алгоритма коррекции КПХ канала связи была разработана программа на Delphi (см. рис. 3), которая позволила произвести отладку целочисленного алгоритма и убедиться в его работоспособности и точности по сравнению с алгоритмом, работающим с вещественными числами [14, 15].

Данные сравнения СКО уровня поднесущих принятого сигнала от идеального после коррекции КПХ сведены в таблицу 1, а также представлены на рис. 2.



**Рис. 2.** Зависимость СКО уровня поднесущих от идеального значения для различных соотношений сигнал/шум в АБГШ канале связи, АЦП - 10 бит

На основе представленных данных можно сделать вывод, что переход от вещественных чисел к целым прошел практически без потери точности коррекции, это означает, что данный алгоритм может быть достаточно просто реализован на языке описания аппаратуры (например, Verilog) [10].

Программа моделирования предусматривает возможность выбора цифровых видов модуляции - BPSK, QPSK, QAM16, QAM64, изменения размера циклического префикса (4, 8, 16, 32, 64 дискрета), возможность задавать сдвиг от начала символа в пределах длительности циклического префикса (параметр, который определяет момент от начала символа, когда начинается запись принятых данных в массивы).

Программа позволяет генерировать последовательность цифровых данных для разных типов АЦП - 8/10/12 битных.

Программа использует нормальный закон распределения шума, позволяет вводить различные отношения сигнал/шум, а также предусматривает фильтрацию шума. Необходимо отметить, что фильтрация нужна для того, чтобы более корректно провести моделирование, т.е. задать шумы только на используемых частотах: например, в интервалах 0 - 1563 кГц и 2437 - 3985 кГц, т.е. во всем рабочем диапазоне из 200 активных спектральных компонент.

Программа позволяет выводить на графики следующие данные: гистограмму распределения

**Таблица 1.** Зависимость СКО уровня поднесущих от идеального значения для различных соотношений сигнал/шум в АБГШ канале связи

Отношение сигнал/шум, дБ	Среднеквадратическое отклонение (СКО)					
	Целочисленный алгоритм			Вещественный алгоритм		
	Битность АЦП			Битность АЦП		
	8 бит	10 бит	12 бит	8 бит	10 бит	12 бит
17	0,3693	0,3688	0,3683	0,3692	0,3678	0,3671
18	0,3295	0,3286	0,3273	0,3291	0,3282	0,3262
20	0,2614	0,2593	0,2591	0,2612	0,2593	0,2585
22	0,2067	0,2056	0,2051	0,2063	0,2056	0,2047
24	0,1641	0,1627	0,1625	0,1637	0,1624	0,1624
26	0,1301	0,1294	0,1289	0,1300	0,1294	0,1287
28	0,1036	0,1027	0,1023	0,1011	0,1026	0,1021
30	0,0827	0,0817	0,0814	0,0820	0,0816	0,0814
32	0,0664	0,0648	0,0644	0,0660	0,0648	0,0644
34	0,0533	0,0515	0,0513	0,0530	0,0514	0,0513
36	0,0432	0,0409	0,0407	0,0429	0,0409	0,0407



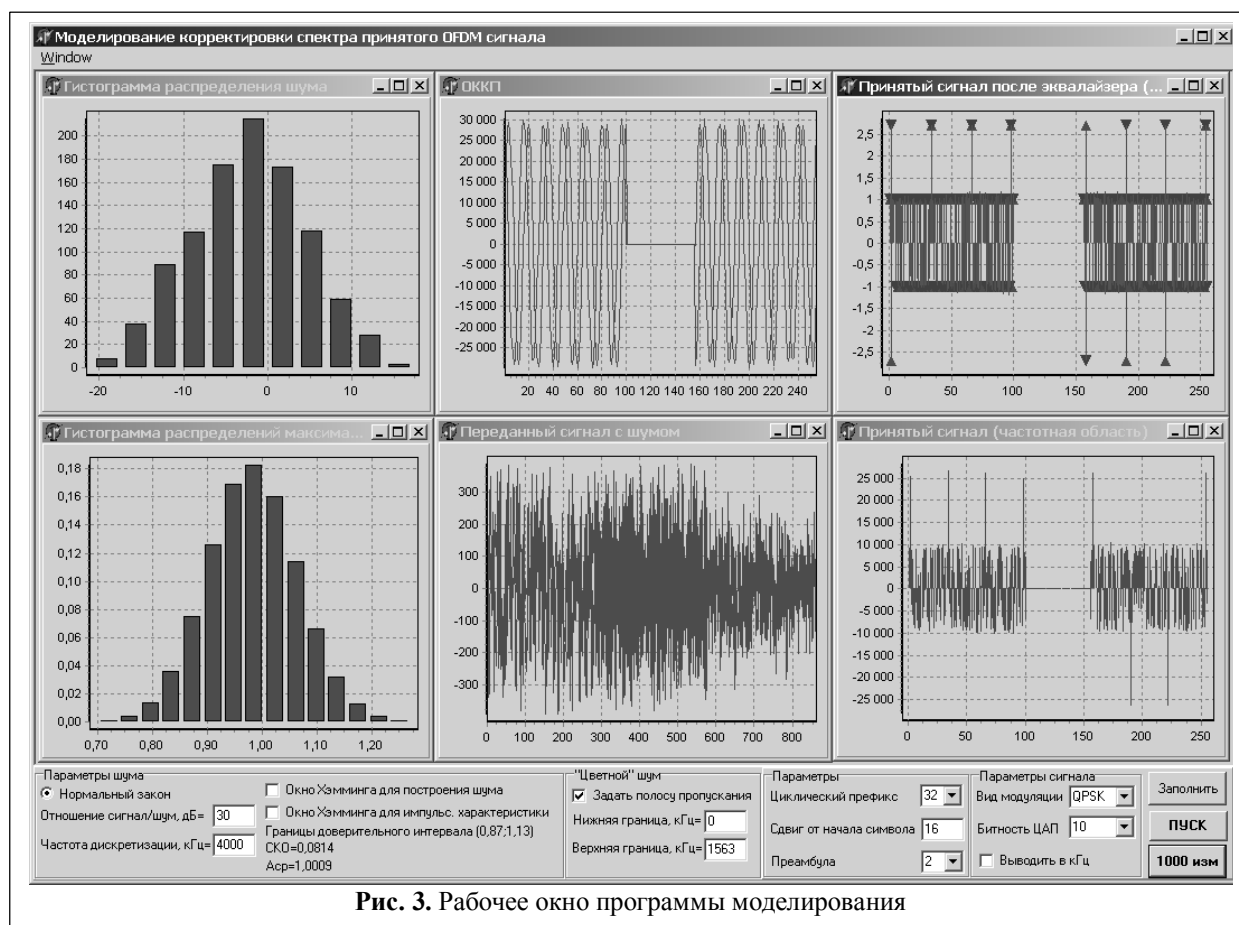


Рис. 3. Рабочее окно программы моделирования

шума, гистограмму распределений максимального уровня принятого сигнала, ОККП, принятый сигнал после эквалайзера (частотная область), принятый сигнал без коррекции (частотная область), переданный сигнал с шумом (временная область). А также определяет значение доверительного интервала для вероятности 90%, значение СКО уровня поднесущих от идеального значения и среднее значение амплитуды.

### Заключение

Моделирование целочисленного алгоритма коррекции КПХ при работе с отношением сигнал/шум до 36 дБ показало отсутствие потери точности в сравнении с вещественным алгоритмом.

В настоящее время разработка алгоритмов расчѐта и коррекции КПХ канала связи OFDM осуществляется при финансировании «Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере».

### Литература

1. Шахнович И. Сети городского масштаба: решение рабочей группы IEEE 802.16 - в жизнь! // ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, - 2003, - №8/ - С. 50.
2. Шахнович И. Стандарт широкополосного доступа IEEE 802.16 для диапазонов ниже 11 ГГц! // ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, - 2005, - №1. - С. 8.
3. Вишневский В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. - М.: Техносфера, 2005. - 592 с.
4. Рашич А.В. Сети беспроводного доступа WiMax. - СПб.: Издательство политехнического университета, 2011 - 180с.
5. Сюваткин В.С. WiMAX — технология беспроводной связи: основы теории, стандарты, применение. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 368 с.
6. IEEE DRAFT Standard for Local and metropolitan area networks P802.16Rev2/D7, Part 16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems. October 2008.
7. Поздняков В.А., Позднякова Л.В. Повышение точности коррекции комплексной передаточной характеристики по преамбуле OFDM сигнала // Проектирование и технология электронных средств. — 2014. - №4.
8. Поздняков В.А., Позднякова Л.В., Карпов И.В., Коробов Д.С. Особенности коррекции комплексной

передаточной характеристики по преамбуле OFDM сигнала // Проектирование и технология электронных средств. – 2013. - №2. – С. 5-8.

9. Бибило П.Н. Основы языка VHDL.- Изд. 3-е, доп. – М.: Издательство ЛКИ, 2007. – 328 с.

10. Поляков А.К. Языки VHDL и Verilog в проектировании цифровой аппаратуры. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 320 с.

11. Поздняков В.А., Позднякова Л.В., Карпов И.В. Определение комплексной передаточной характеристики канала связи OFDM при разделении испытательного линейчатого спектра преамбулы на несколько символов // Радиотехнические и телекомму-

никационные системы. – 2012. - №3. – С. 49-53.

12. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. - М.: Изд. Наука, 1973. - 832 с.

13. Письменный Д.Т. Конспект лекций по высшей математике: полный курс. – 5-е изд. – М.: Айрис-пресс, 2007. – 608с.

14. Возневич Э. Delphi. Освой самостоятельно: Пер. с англ. – М.: Восточная Книжная Компания, 1996. – 736 с.

15. Фленов М.Е. Библия Delphi. – СПб.: БХВ - Петербург, 2004. – 880с.

Поступила 15 января 2015 г.

English

### Integer algorithm of correction of complex transfer characteristic of OFDM communication channel

**Lidiya Vasilyevna Pozdnyakova** – Post-graduate student Radiotechnics and radio systems Department Federal state budgetary educational institution of higher professional education “Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov”.

*E-mail:* lida\_pozdnyakova@mail.ru.

*Address:* 600000, Vladimir, Ulitsa Gorkogo, 87.

*Abstract:* The article deals with the integer algorithm of correction of complex transmitting parameter of OFDM communication channel by application of reverse complex transmitting characteristic to a spectrum of the received signal. Correction is performed in 2 stages: on the preamble and the pilot subcarriers of OFDM signal. At the first correction stage, calculation of the reverse complex transfer characteristic is performed by the preamble consisting of two characters, each of which has no repeated sections and contains all the required set of spectral components. The first character uses half of the active spectral components set, the second character includes the second half of spectral components. Thus, when all indispensable spectral components for calculation of reverse complex transfer characteristic are available there is no need for interpolation with the aim of searching unknown values which is used in standard implementation of WIMAX-OFDM (802.16-2004) production engineering. This allowed to eliminate the routine of recalculation into a polar frame for interpolation. At the second stage correction is performed by calculation of reverse complex transmitting characteristic on the pilot subcarriers and its application to the OFDM character. The algorithm operates over the range the minimum input value of a signal  $\pm 2^{\text{bit count AD Converter}-1}/32$ , the peak input value of a signal  $\pm 2^{\text{bit count AD Converter}}$ . The algorithm operates integer values that testify the possibility of its implementation in PLD. The integer algorithm of communication channel equalization operates without accuracy lost in comparison with material algorithm according to comparing data of RMSD level of subcarriers of the received signal from ideal value after correction of complex transmitting parameter of communication channel.

*Key words:* OFDM, preamble, complex transfer characteristic, integer algorithm, pilot subcarriers, communication channel.

### References

1. Shakhnovich I. Metropolitan networks: solutions of a working group of IEEE 802.16 – to life! - ELECTRONICA: NTB, - 2003, - №8. - P. 50.

2. Shakhnovich I. Standard of broadband access of IEEE 802.16 for ranges lower than 11 GHz! - ELECTRONICA: NTB, - 2005, - №1. - P. 8.

3. Vishnevsky V. M. Broadband wireless networks of information transmission. - М.: Technosphere, 2005. - 592 p.

4. Rashich A.V. Networks of wireless access of WiMax. - SPb.: Publishing house of polytechnic university, 2011 – 180p.

5. Syuvatkin B.S. WIMAX - production engineering of wireless communication: theory, standards, application. - SPb.: BHV-Petersburg, 2005. - 368 p.

6. IEEE DRAFT Standard for Local and metropolitan area networks P802.16Rev2/D7, Part 16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems. October 2008.

7. Pozdnyakov V.A., Pozdnyakova L.V. Increasing correction accuracy of complex transmitting performance on a preamble of OFDM signal. - *Proyektirovaniye i tekhnologiya elektronnyh sredstv.* - 2014. - №4.
8. Pozdnyakov V.A., Pozdnyakova L.V., Karpov I.V., Korobov D.S. Correction singularities of the complex transmitting performance on a preamble of OFDM signal. - *Proyektirovaniye i tekhnologiya elektronnyh sredstv.* - 2013. - №2. - P. 5-8.
9. Bibilo P.N. Basics of VHDL language. Izd. 3rd, dop. - M.: Publishing house LKI, 2007. - 328 p.
10. Polyakov A.K. VHDL and Verilog languages in engineering of digital equipment. - M.: SOLON-Press, 2003. - 320 p.
11. Pozdnyakov V.A., Pozdnyakova L.V., Karpov I.V. Determination' of complex transmitting characteristics of OFDM communication channel when dividing test line spectrum of a preamble into some characters. - *Radiotekhnicheskie i telekommunikatsionnye sistemy.* - 2012. - №3 - P. 49-53.
12. Korn G., Korn T. Reference manual on mathematics for scientists and engineers. - M.: Izd. Nauka, 1973. - 832 p.
13. Pismenny D.T. Lectures on the higher mathematics: complete course. - 5th izd. - M.: Iris press; 2007. – 608 p.
14. Voznevich E. Delphi. Master yourself: transl. from English - M.:Vostochnaya Knizhnaya kompaniya, 1996.- 736 p.
15. Flyonov M.E. Delphi Bible. - SPb.: BHV - Petersburg, 2004. – 880 p.