

# УМЕНЬШЕНИЕ ПИК-ФАКТОРА СИГНАЛА С OFDM МЕТОДОМ КЛИППИРОВАНИЯ

## Антипин В.В.

*Антипин Вячеслав Владимирович – студент магистратуры,  
кафедра средств связи и информационной безопасности,  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
Омский государственный технический университет, г. Омск*

**Аннотация:** в данной статье рассматриваются методы снижения пик-фактора сигнала с OFDM модуляцией. Приведено сравнение системы с использованием метода клиппирования.  
**Ключевые слова:** OFDM, пик-фактор, клиппирование.

Пик-фактор сигнала определяется как отношение максимальной (пиковой) мгновенной мощности сигнала к его средней мощности.

В общем случае, выражение для PAPR выглядит следующим образом:

$$\text{PAPR} = \frac{\text{MAX}(S_k^2)}{\sum S_k^2}, \quad (1)$$

где  $\text{MAX}(S_k^2)$  – максимум по отсчетам дискретизированного сигнала,  
 $S_k$  –  $k$ -ый отсчет сигнала

Для сигнала OFDM вида (1) средняя мощность сигнала будет иметь вид:

$$P_{cp} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T \sum_{n=\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} \sum_{m=\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} y_n y_m e^{j(\omega_n - \omega_m)t} = \sum_{n=0}^{N-1} |y_n|^2 \quad (2)$$

Мгновенная мощность сигнала с OFDM равна:

$$|s(t)|^2 = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{N-1} y_n y_m e^{j(\omega_n - \omega_m)t}, \quad t \in [0; T]. \quad (3)$$

Пик-фактор сигнала с OFDM определяется следующим выражением:

$$\text{PAPR} = \frac{\text{MAX}_{t \in [0; T]} |s(t)|^2}{P_{cp}} = \frac{\text{MAX}_{t \in [0; T]} \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} \sum_{m=0}^{\frac{N}{2}-1} y_n y_m e^{j(\omega_n - \omega_m)t}}{\sum_{n=0}^{N-1} |y_n|^2} \quad (4)$$

Для QAM модуляции при большом значении  $N$  средняя мощность сигнала примерно постоянна. Таким образом

$$P_{cp} = \sum_{n=0}^{N-1} |y_n|^2 \cong \text{const} \quad (5)$$

Одним из способов уменьшить ПФ является метод амплитудного ограничения (клиппирование). Данный метод считается самым простым, так как им можно воспользоваться еще на этапе моделирования систем с OFDM, причем можно добиться хорошего выигрыша и значительно уменьшить ПФ сигнала [1]. Данное действие осуществляется строго в модуляторе. При ограничении пиков в модуляторе будут появляться нелинейные искажения. На рисунке 1а изображен график с выделением максимальной и средней мощности сигнала, а на рисунке 1б изображен тот же сигнал, но с использованием метода клиппирования.

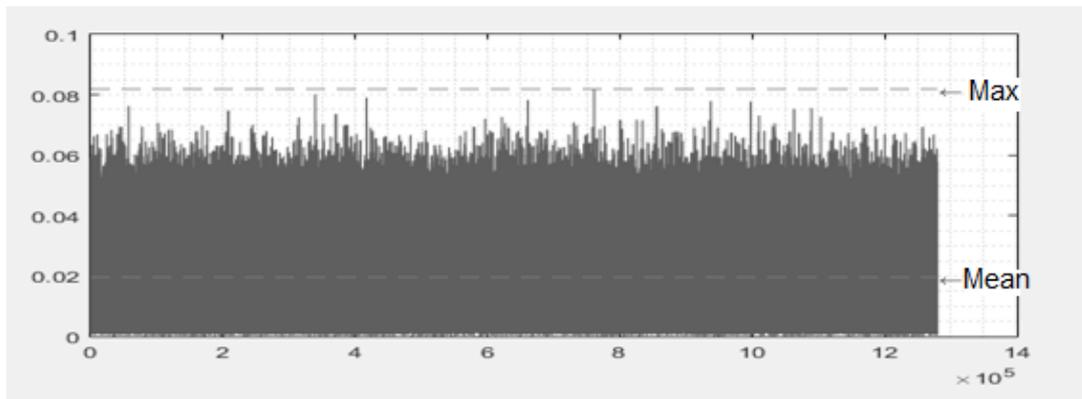


Рис. 1а. Максимальная и средняя мощность чистого сигнала с OFDM с 16-QAM модуляцией

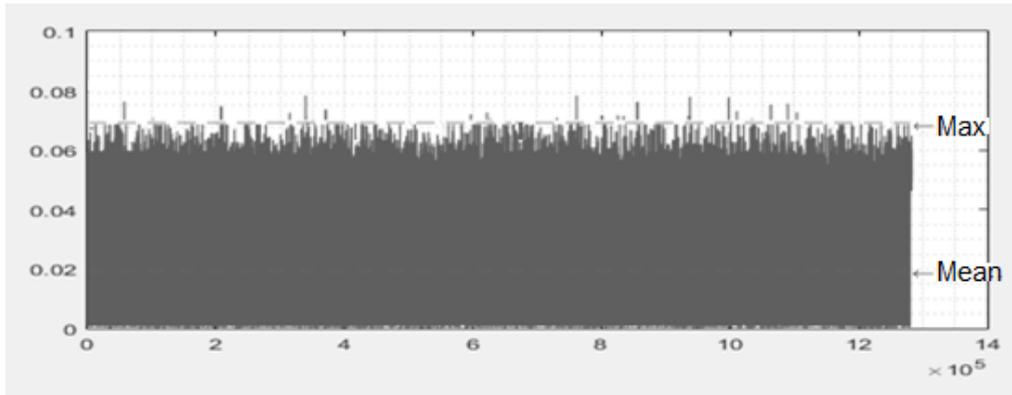


Рис. 16. Максимальная и средняя мощность чистого сигнала с OFDM с 16-QAM модуляцией методом клиппирования

За пределами ОБП все части нелинейности будут срезаться фильтром передатчика. Нелинейности, возникающие в модуляторе, не так опасны, т.к. отношение сигнал/помеха не меняется при распространении по каналу. При клиппировании стоит использовать интегральные функции распределения гауссовского процесса при заданном пороге [2]. На рисунке 3 изображен спектр OFDM чистого сигнала с 16-QAM.

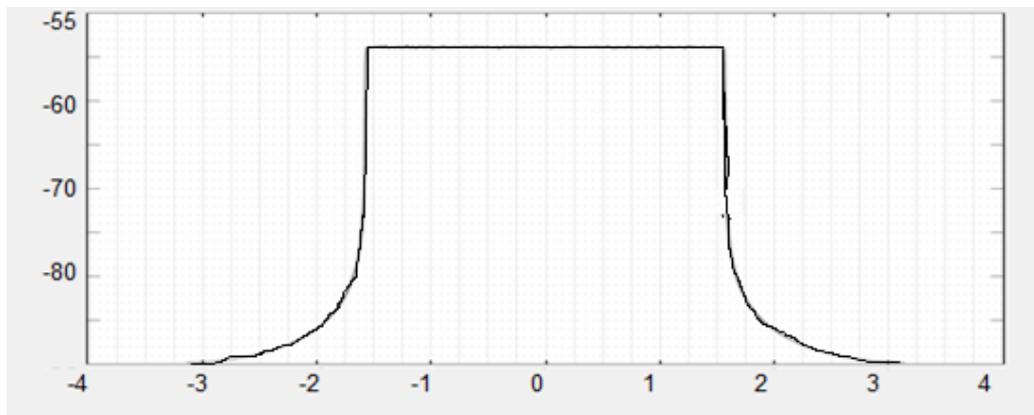


Рис. 3. Спектр чистого сигнала с OFDM с 16-QAM

Моделирование показало, что методом клиппирования можно добиться выигрыша до 6 дБ, при этом коэффициент битовых ошибок остается допустимым. При дальнейшем ограничении сигнал начинает искажаться и часть данных теряется, что непозволительно в системах с OFDM.

Снижение пик-фактора OFDM позволит более широко использовать технологию OFDM в новейших системах связи, поможет упростить процесс взаимодействия с другими системами связи.

*Научно исследовательская работа выполнена в рамках выполнения магистерской диссертации, научный руководитель - Майстренко В.А.*

#### **Список литературы**

1. *Шинаков Ю.С.* Пик-фактор сигналов OFDM и нелинейные искажения в радиооборудовании систем беспроводного доступа. // Цифровая обработка сигналов, 2012. № 4.
2. *Chen Y., Lin Y.-W. and Lee C.-Y.* "A block scaling FFT/IFFT processor for WiMAX applications," in Proc. IEEE Asian Solid-State CircuitsConf., Nov. 2006. Pp. 127-138.