



Министерство образования и науки Украины
Государственный университет телекоммуникаций



- Формирование многопозиционного сигнала технологий 4G и 5G

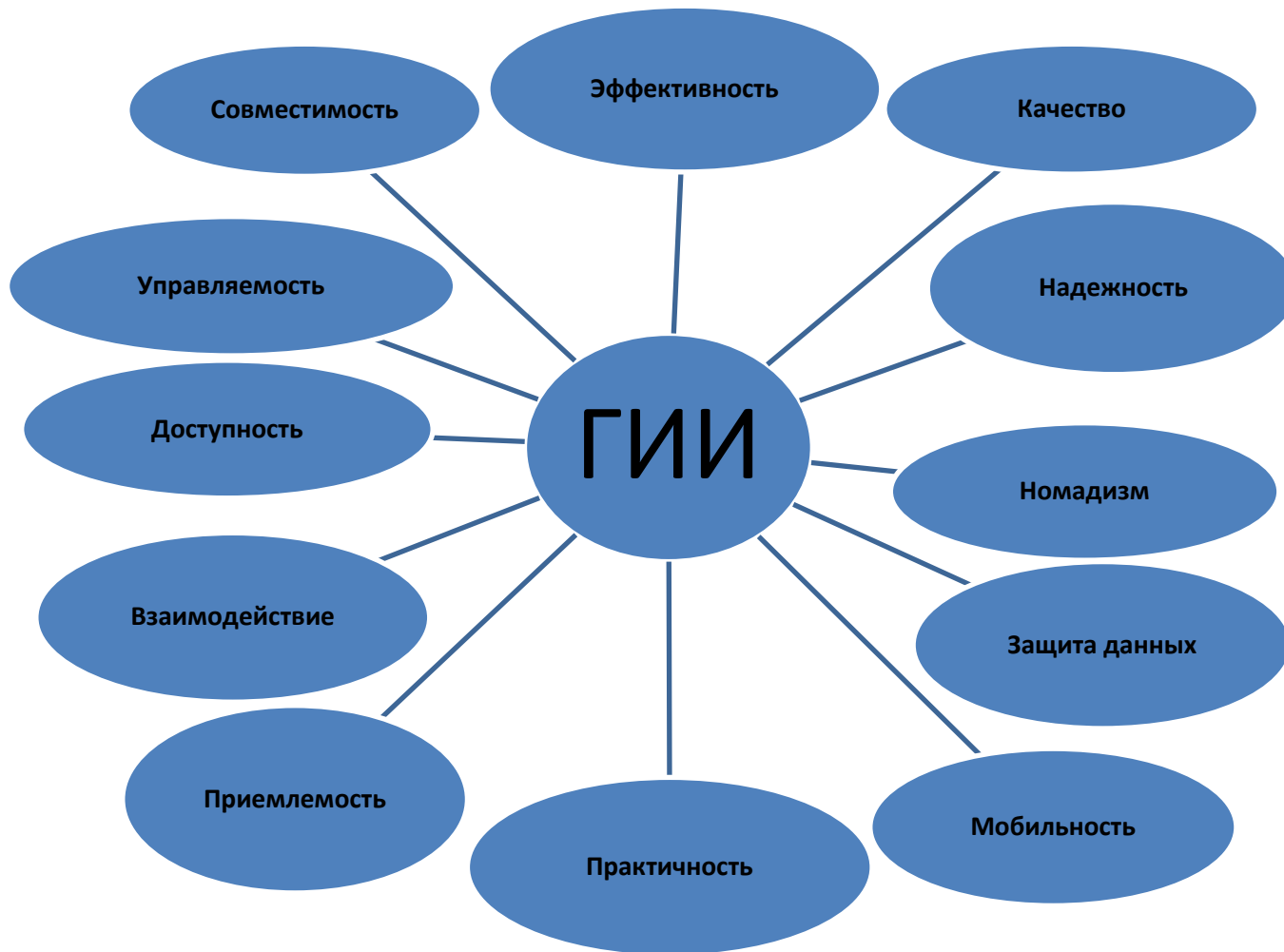
Проректор по научно-педагогической работе

Доктор технических наук, профессор

Беркман Любовь Наумовна

Киев -2016

Глобальная информационная инфраструктура



Цели и задачи сети будущего



Орбитальный элемент сети мобильной связи типа 5G

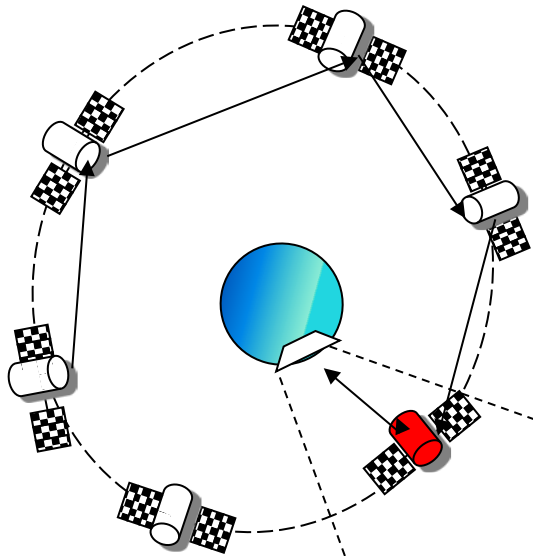


Рис.1. Вариант создания многоспутниковой системы связи для передачи сигналов мобильной связи типа 5G

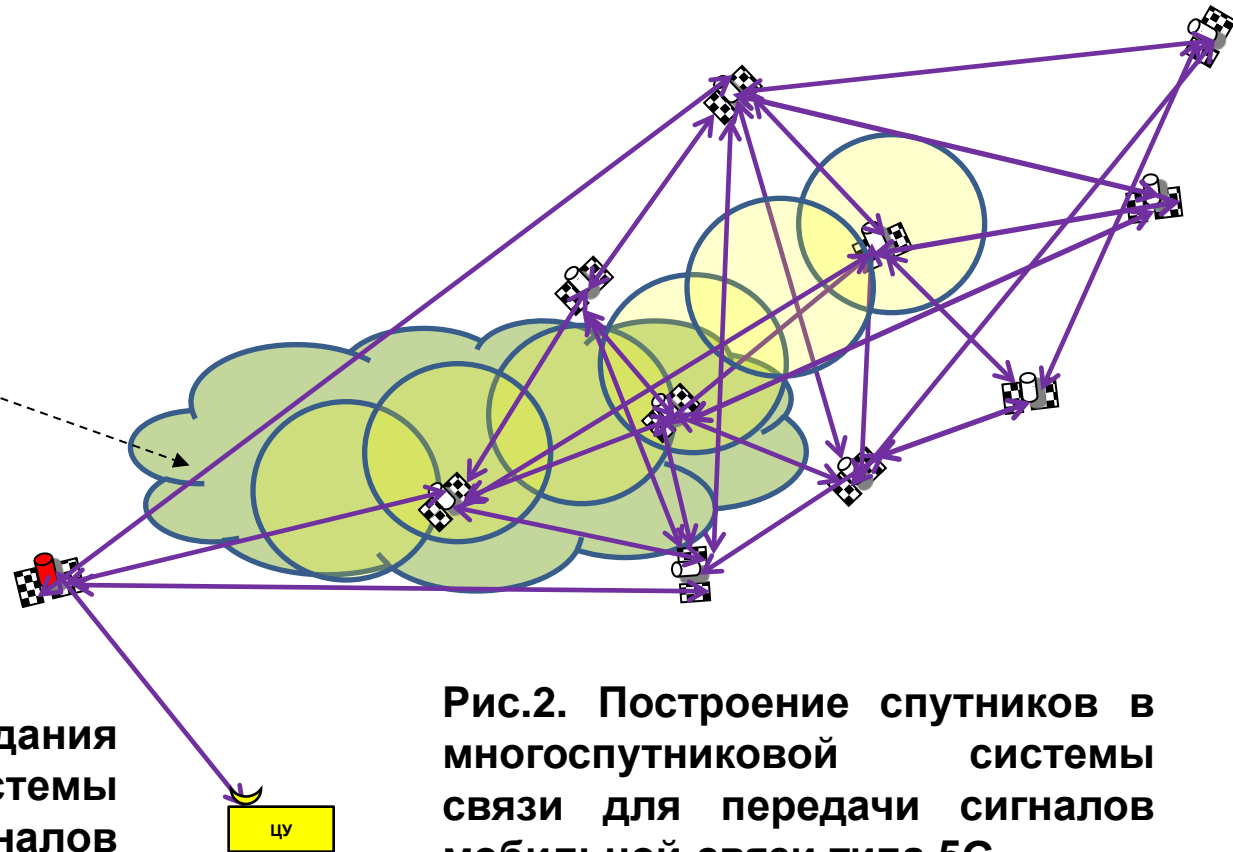
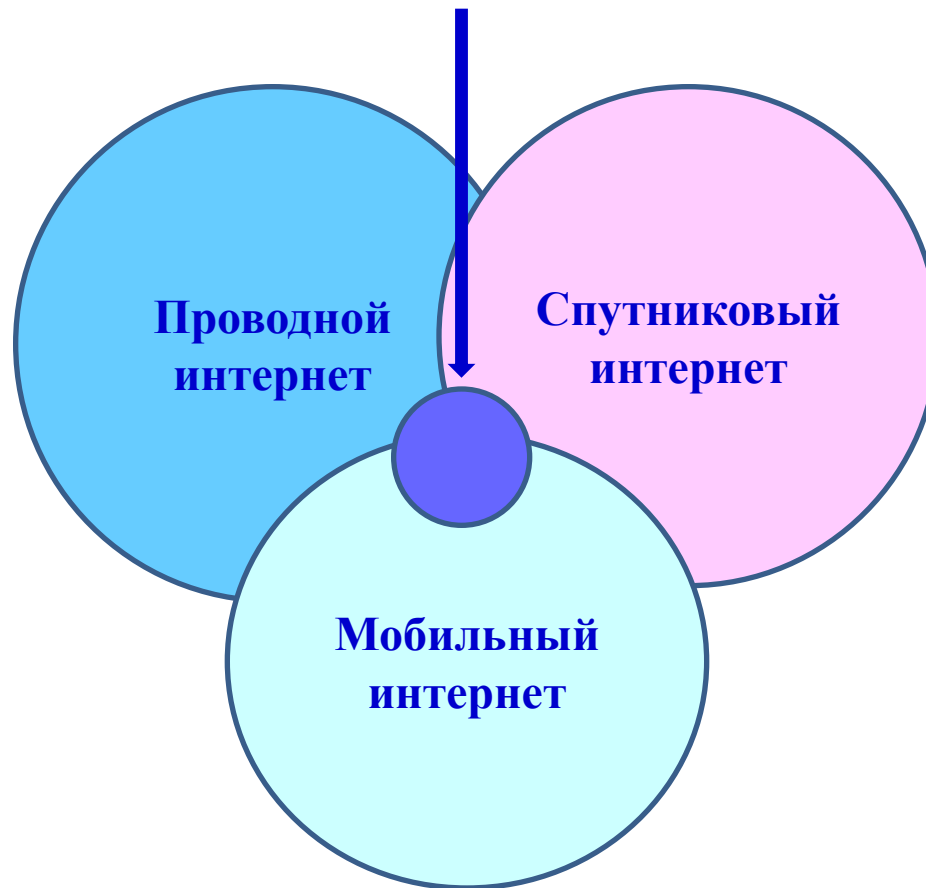
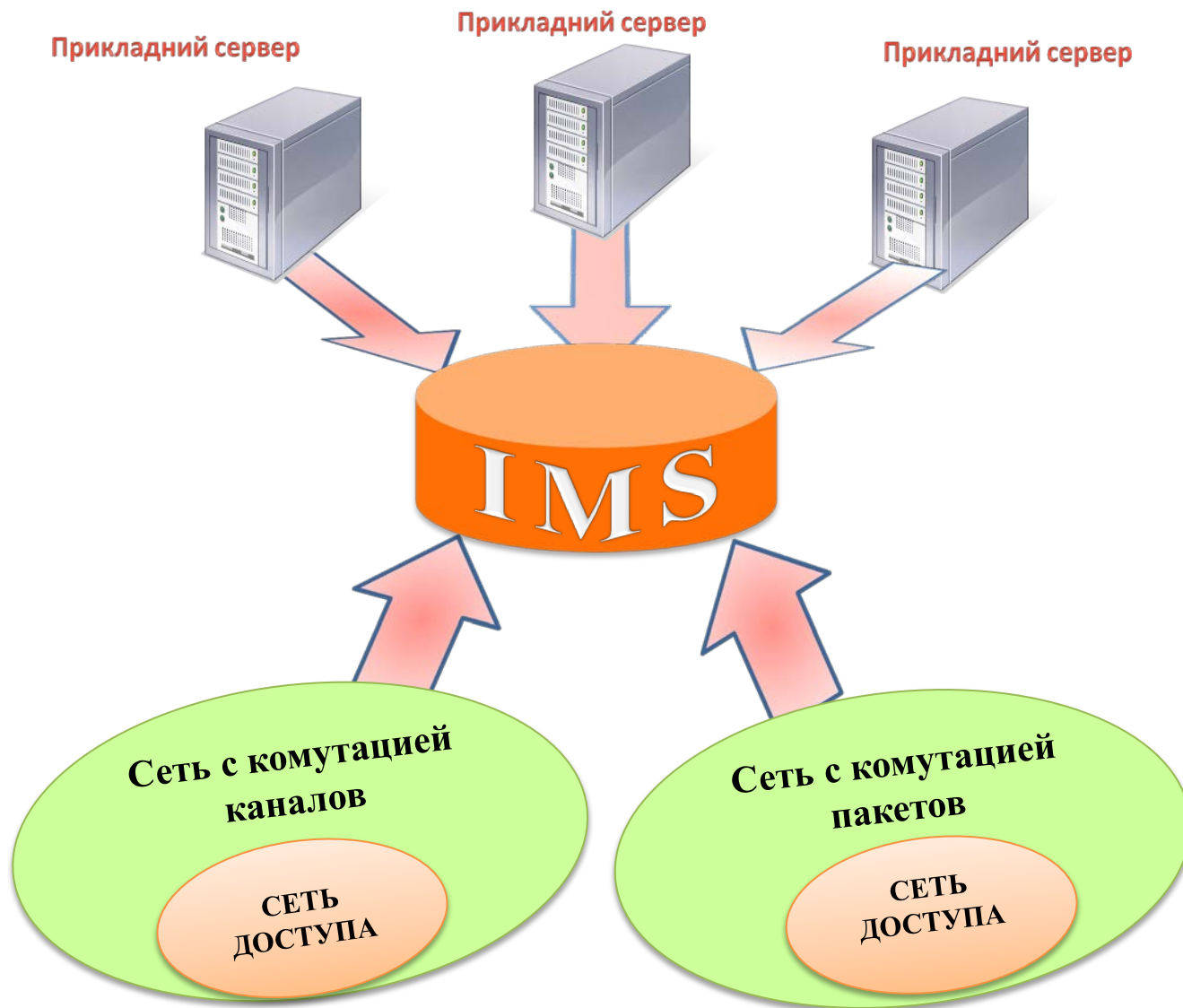


Рис.2. Построение спутников в многоспутниковой системе связи для передачи сигналов мобильной связи типа 5G

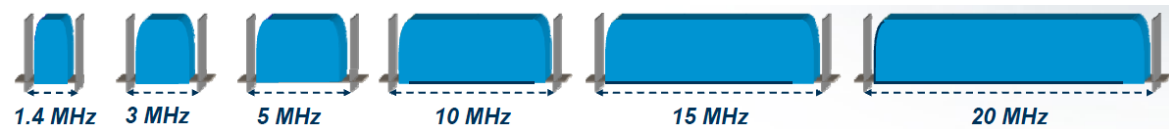
Мобильная спутниковая связь и спутниковый интернет



IP Multimedia Subsystem

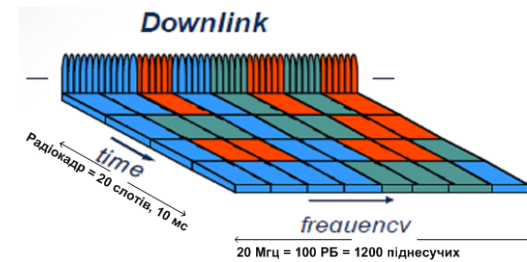
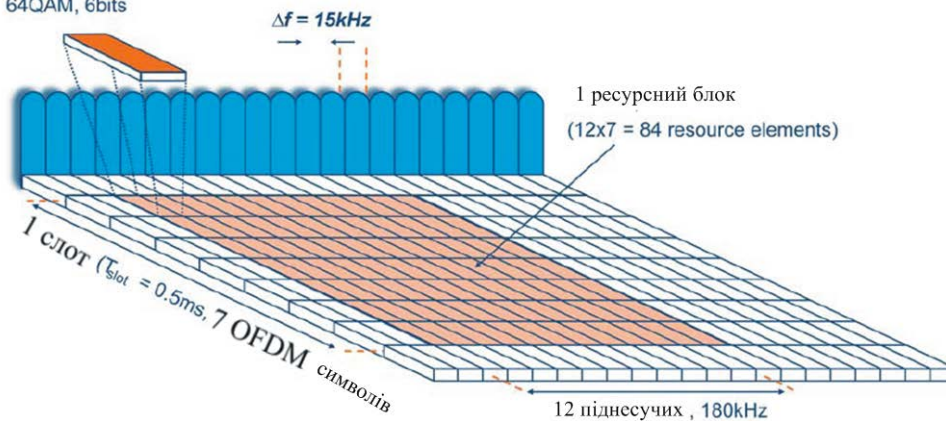


Формирование сигнала OFDM



1 ресурсный элемент

QPSK, 2bits
16QAM, 4bits
64QAM, 6bits



■ User 1
■ User 2
■ User 3

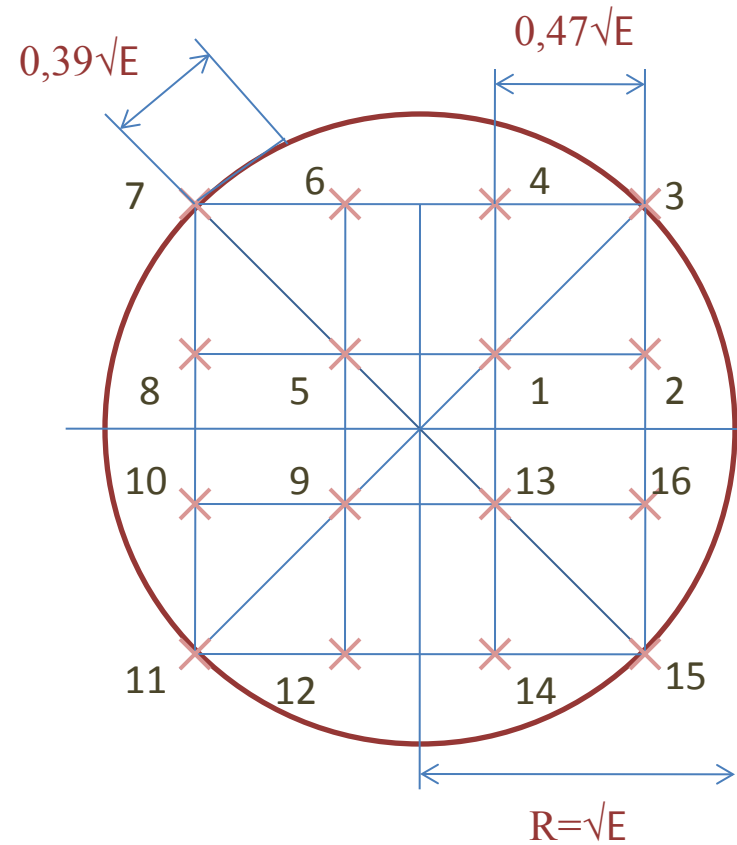
Количество ресурсных блоков в зависимости от полосы пропускания LTE

Ширина канала, МГц	1,4	3	5	10	15	20
Число ресурсных блоков	6	15	25	50	75	100
Число поднесущих	72	180	300	600	900	1200

$$\nu = kN/\tau \quad \tau = T + \Delta t$$

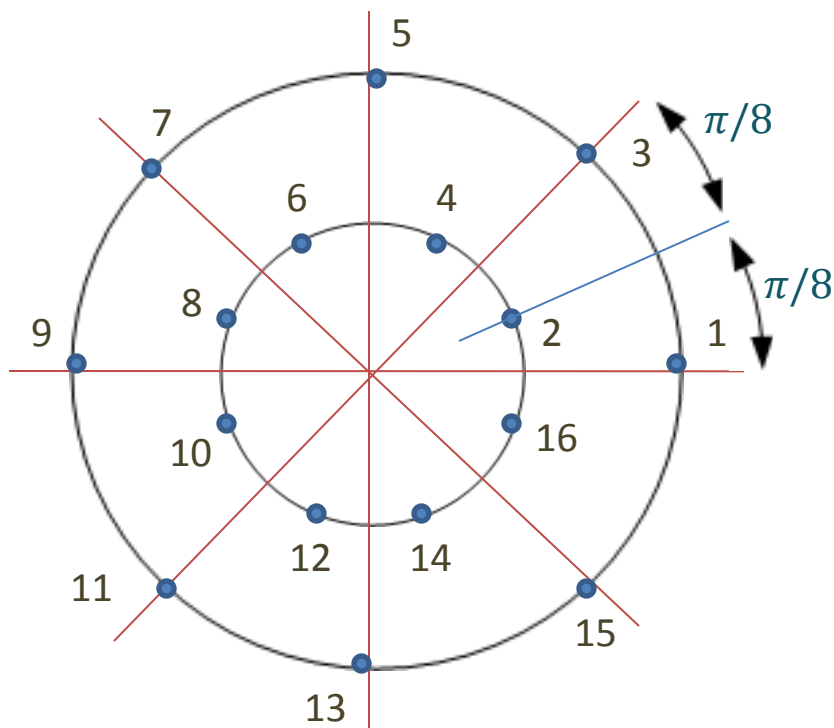
$$f_0 = 1/T \quad f_i = i/T$$

Системы сигналов с квадратурной амплитудной модуляцией для мобильных сетей 4G и 5G



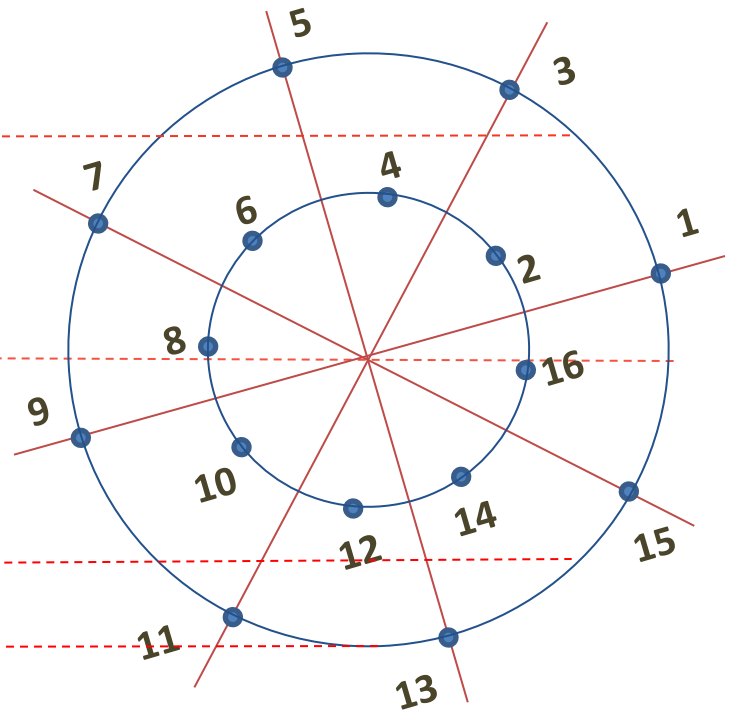
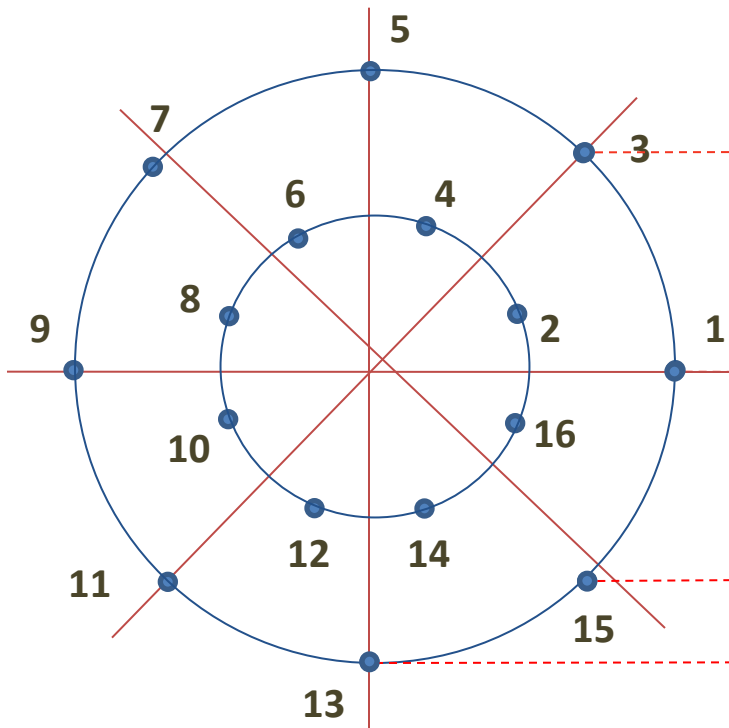
**Шестнадцатипозиционный сигнал с АМ и ФМ
с сигнальными точками в узлах квадратной
сетки с ограниченной максимальной мощностью**

Системы сигналов с амплитудной фазоразностной модуляцией для мобильных сетей 4G и 5G



**Шестнадцатипозиционный сигнал
с амплитудно-фазоразностной
модуляцией**

Оптимальный прием



Оптимальный прием

$$d_n = \sqrt{(X_n - \tilde{X}_j)^2 + (Y_n - \tilde{Y}_j)^2} \quad \text{-Вычисление расстояния между полученным сигналом и вариантом переданного;} \quad (1)$$

$$i = \arg \min_j [(X_n - \tilde{X}_j)^2 + (Y_n - \tilde{Y}_j)^2], \quad j=1, 2, \dots, m, \quad \text{-Определение вектора принимаемого сигнала;} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \tilde{X}_1 &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_n, \\ \tilde{Y}_1 &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N Y_n. \end{aligned} \right\} \quad \text{-Усреднение проекции первого варианта сигнала;} \quad (3)$$

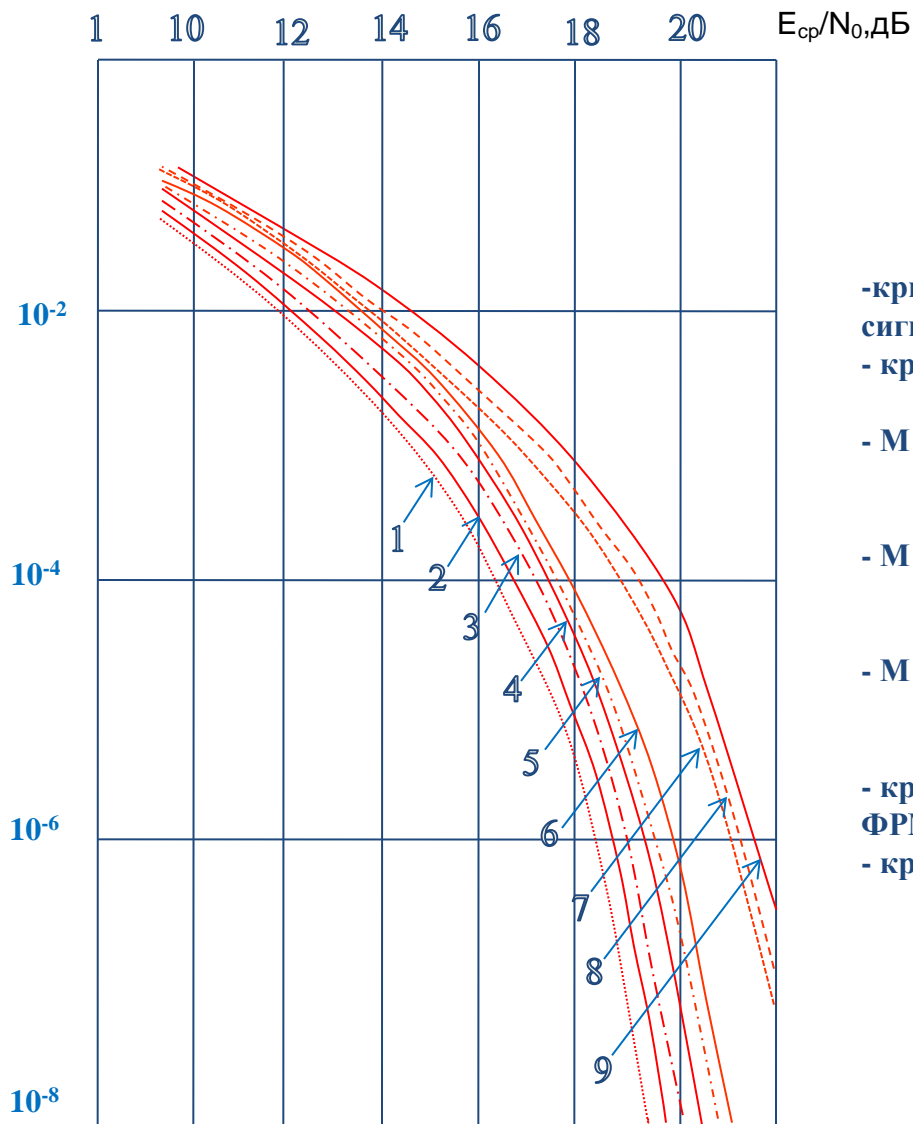
Оптимальный прием

$$\left. \begin{aligned} X_{1n} &= \frac{a_1}{\tilde{a}_n} (\tilde{X}_n \cos \Delta \varphi_n + \tilde{Y}_n \sin \Delta \varphi_n), \\ Y_{1n} &= \frac{a_1}{\tilde{a}_n} (\tilde{Y}_n \cos \Delta \varphi_n - \tilde{X}_n \sin \Delta \varphi_n). \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{- приведение проекций принятого сигнала} \\ \text{к первому варианту сигнала;} \end{array} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \tilde{X}_1 &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{a_1}{\tilde{a}_n} (\tilde{X}_n \cos \Delta \varphi_n + \tilde{Y}_n \sin \Delta \varphi_n), \\ \tilde{Y}_1 &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{a_1}{\tilde{a}_n} (\tilde{Y}_n \cos \Delta \varphi_n - \tilde{X}_n \sin \Delta \varphi_n). \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{- усреднение приведенных проекций с} \\ \text{помощью текущего окна;} \end{array} \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} \tilde{X}_j &= \frac{\tilde{a}_n}{a_1} (\tilde{X}_1 \cos \Delta \varphi_n - \tilde{Y}_1 \sin \Delta \varphi_n), \\ \tilde{Y}_j &= \frac{\tilde{a}_n}{a_1} (\tilde{X}_1 \sin \Delta \varphi_n + \tilde{Y}_1 \cos \Delta \varphi_n). \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{- определение оценки проекций всех} \\ \text{вариантов сигнала;} \end{array} \quad (6)$$

Зависимость вероятности ошибки от отношения сигнал-шум



- кривая 1 – теоретическая помехоустойчивость для системы сигналов при строго когерентном приеме;

- кривая 2 – для точных опорных колебаний;

;
- M = 100 (кривая 3); - M = 20 (кривая 4);

- M = 10 (кривая 5); - M = 5 (кривая 6);

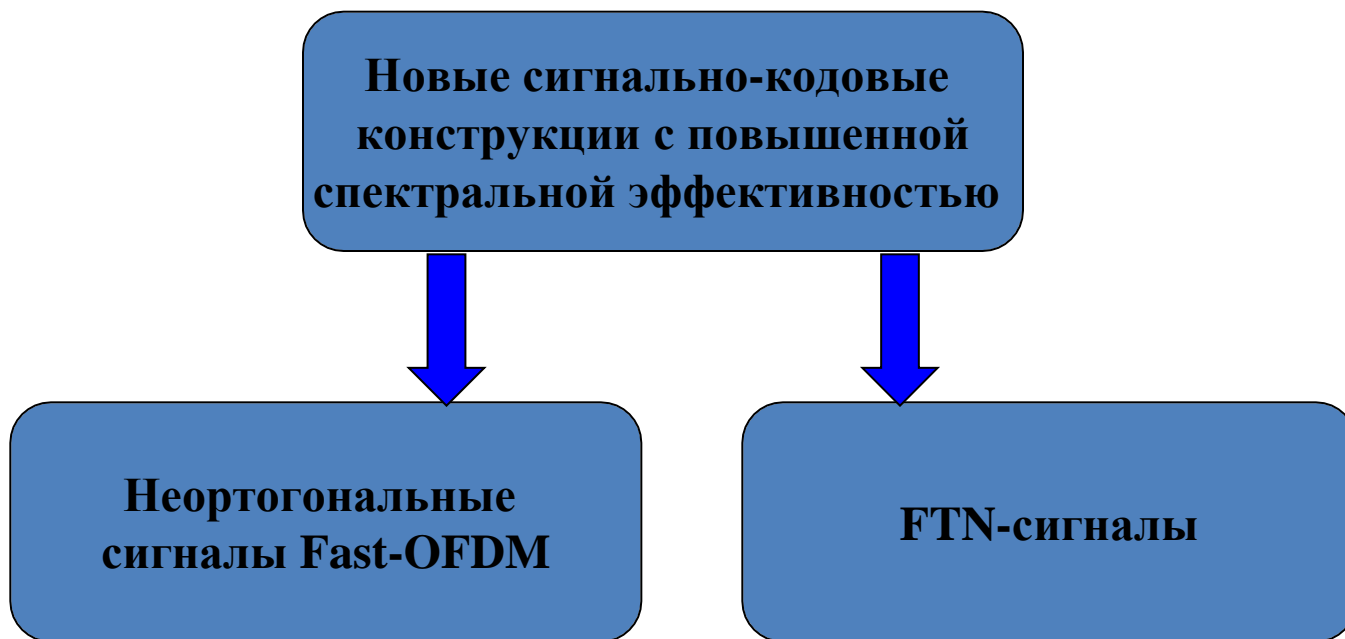
- M = 1 (кривая 7);

- кривая 8 – теоретическая помехоустойчивость для 4-х кратной ФРМ;

- кривая 9 – для оптимального некогерентного приема.

Новые сигнально-кодовые конструкции в сетях 5G

Условия будущего развития 5G – повышение спектральной эффективности передаваемых сигналов за счет применения новых сигнально-кодовых конструкций.



Использование FTN-сигналов в сетях 5G

FTN – сигналы были предложены сотрудником Bell Labs Д.Э. Мазо.

Сигнал Мазо использует более высокую скорость модуляции, тем самым вводится межсимвольная интерференция на стороне передатчика.

Форма базового сигнала:

Сокращение длительности символов $\tau \leq T$

Мин. евклидово расст. сохраняется

Позволяет более высокую скорость передачи данных на Гц полосы (Бит/Гц). Более высокая спектральная эффективность при той же энергии. Новая форма сигнала:

При использовании FTN - сигналов формируемый сигнал передается с периодом повторения T секунд и этот период уменьшается по сравнению с OFDM. Обработка сигнала аналогична OFDM, но поднесущие не являются ортогональными.

Использование Fast OFDM - сигналов в сетях 5G

Выдача патента на изобретение метода OFDM Роберту Ченгу и последующая журнальная публикация идеи OFDM открыла эру OFDM-сигналов.

Fast-OFDM (FOFDM), базирующийся на принципе OFDM и отличающийся использованием частотного разнесения поднесущих, в 2 раза меньшего, чем в случае OFDM.

В основе метода Fast-OFDM лежит тот факт, что действительная часть коэффициента корреляции двух комплексных поднесущих равна нулю, если разнос по частоте между поднесущими кратен целому числу $1/2T$. При этом существенно, что несмотря на двукратное уплотнение по частоте, сигналы по-прежнему остаются ортогональными друг другу.

Формирование многопозиционного сигнала с фазоразностной модуляцией высокой кратности

$$\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_{n-1}, \varphi, \varphi_{n+1}, \dots \quad (1)$$

$$\Delta_1^1 \varphi = \varphi_1 - \varphi_0,$$

$$\Delta_2^1 \varphi = \varphi_2 - \varphi_1,$$

.....

$$\Delta_n^1 \varphi = \varphi_n - \varphi_{n-1},$$

$$\Delta_{n+1}^1 \varphi = \varphi_{n+1} - \varphi_n,$$

.....

$$\Delta_0^1 \varphi, \Delta_1^1 \varphi, \Delta_2^1 \varphi, \dots, \Delta_{n-1}^1 \varphi, \Delta_n^1 \varphi, \Delta_{n+1}^1 \varphi, \dots \quad (2)$$

$$\Delta_1^2 \varphi = \Delta_1^1 \varphi - \Delta_0^1 \varphi,$$

$$\Delta_2^2 \varphi = \Delta_2^1 \varphi - \Delta_1^1 \varphi,$$

.....

$$\Delta_n^2 \varphi = \Delta_n^1 \varphi - \Delta_{n-1}^1 \varphi,$$

$$\Delta_{n+1}^2 \varphi = \Delta_{n+1}^1 \varphi - \Delta_n^1 \varphi,$$

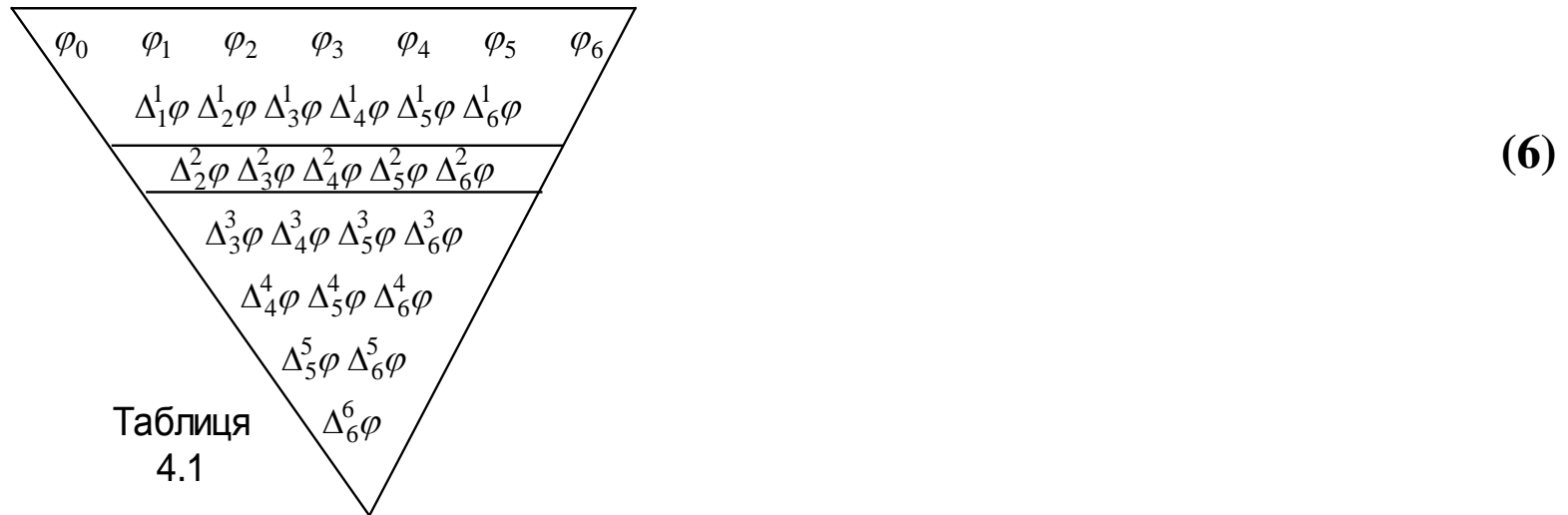
.....

(3)

(4)

Формирование многопозиционного сигнала с фазоразностной модуляцией высокой кратности

$$\Delta_0^2 \varphi, \Delta_1^2 \varphi, \Delta_2^2 \varphi, \dots, \Delta_{n-1}^2 \varphi, \Delta_n^2 \varphi, \Delta_{n+1}^2 \varphi, \dots \quad (5)$$



$$\Delta_n^1 \varphi = \varphi_n - \varphi_{n-1}, \quad (7)$$

$$\varphi_n = \varphi_{n-1} + \Delta_n^1 \varphi \quad (8)$$

$$\Delta_n^2 \varphi = \Delta_n^1 \varphi - \Delta_{n-1}^1 \varphi = (\varphi_n - \varphi_{n-1}) - (\varphi_{n-1} - \varphi_{n-2}) = \varphi_n - 2\varphi_{n-1} + \varphi_{n-2}. \quad (9)$$

$$\varphi_n = \Delta_n^2 \varphi + 2\varphi_{n-1} - \varphi_{n-2}. \quad (10)$$

Формирование многопозиционного сигнала с фазоразностной модуляцией высокой кратности

$$\left. \begin{aligned} \varphi_n &= \varphi_{n-1} + \Delta_n^1 \varphi; \\ \Delta_n^1 \varphi &= \Delta_{n-1}^1 \varphi + \Delta_n^2 \varphi \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$\Delta_n \varphi = (\varphi_n + \varphi_0) - (\varphi_{n-1} + \varphi_0) = \varphi_n - \varphi_{n-1} = in \text{ var } \varphi_0. \quad (12)$$

$$\Delta_{n+1}^1 \varphi = \varphi_{n+1} - \varphi_n + \Delta \omega T; \quad \Delta_n^1 \varphi = \varphi_n - \varphi_{n-1} + \Delta \omega T \quad (13)$$

$$\Delta_{n+1}^2 \varphi = \Delta_{n+1}^1 \varphi - \Delta_n^1 \varphi = \varphi_{n+1} - 2\varphi_n + \varphi_{n-1} = in \text{ var}(\varphi_0, \Delta \omega). \quad (14)$$

$$j_n = \text{sgn} \cos \Delta_n^2 \varphi_\xi = \text{sgn}(\cos \Delta_n^1 \varphi_\xi \cos \Delta_{n-1}^1 \varphi_\xi + \sin \Delta_n^1 \varphi_\xi \sin \Delta_{n-1}^1 \varphi_\xi). \quad (15)$$

$$J'_n = J_n J'_{n-2}. \quad (16)$$



**Благодарю
за
внимание**