

# Лекция 11. Сигналы СРНС GPS. Частотные и спектральные характеристики сигналов. Дальномерные коды.



# Сигналы L2C: IS-GPS-200

Количество компонент – 2 (Data/Pilot)

Уплотнение компонент – временное

Вид модуляции: BPSK(1) (суммарный сигнал)

$$s_{L2C,k}(t) = A \cdot \left| \begin{array}{c} G_{CM,k}(t) \cdot G_{HC,k}(t) \\ G_{CL,k}(t) \end{array} \right| \cdot \sin(2\pi f_{L2}t + \varphi_{0L2})$$

Временное уплотнение компонент

$$G_{xxx}(t) = \{\pm 1\}$$

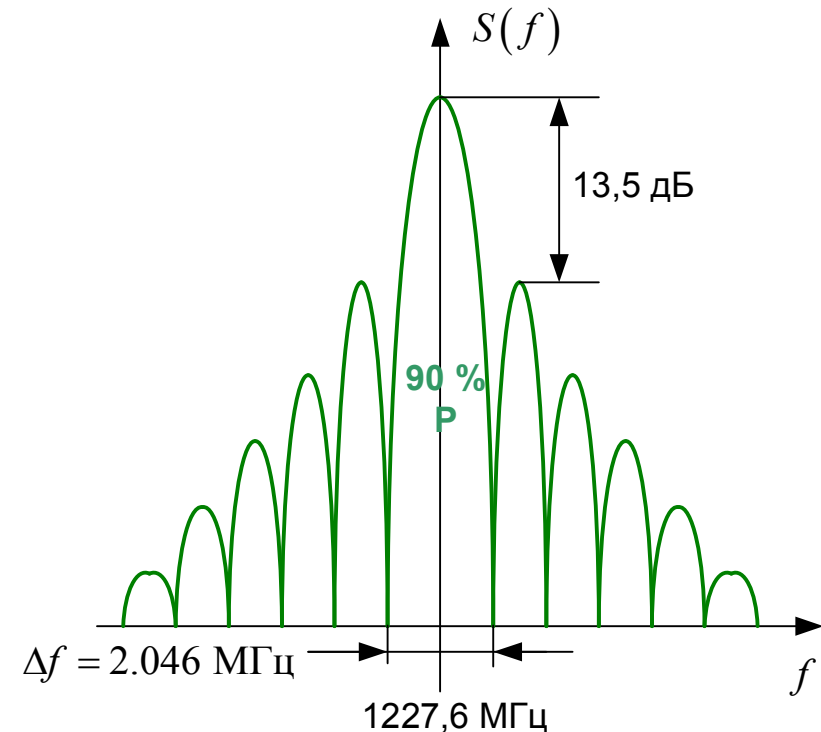
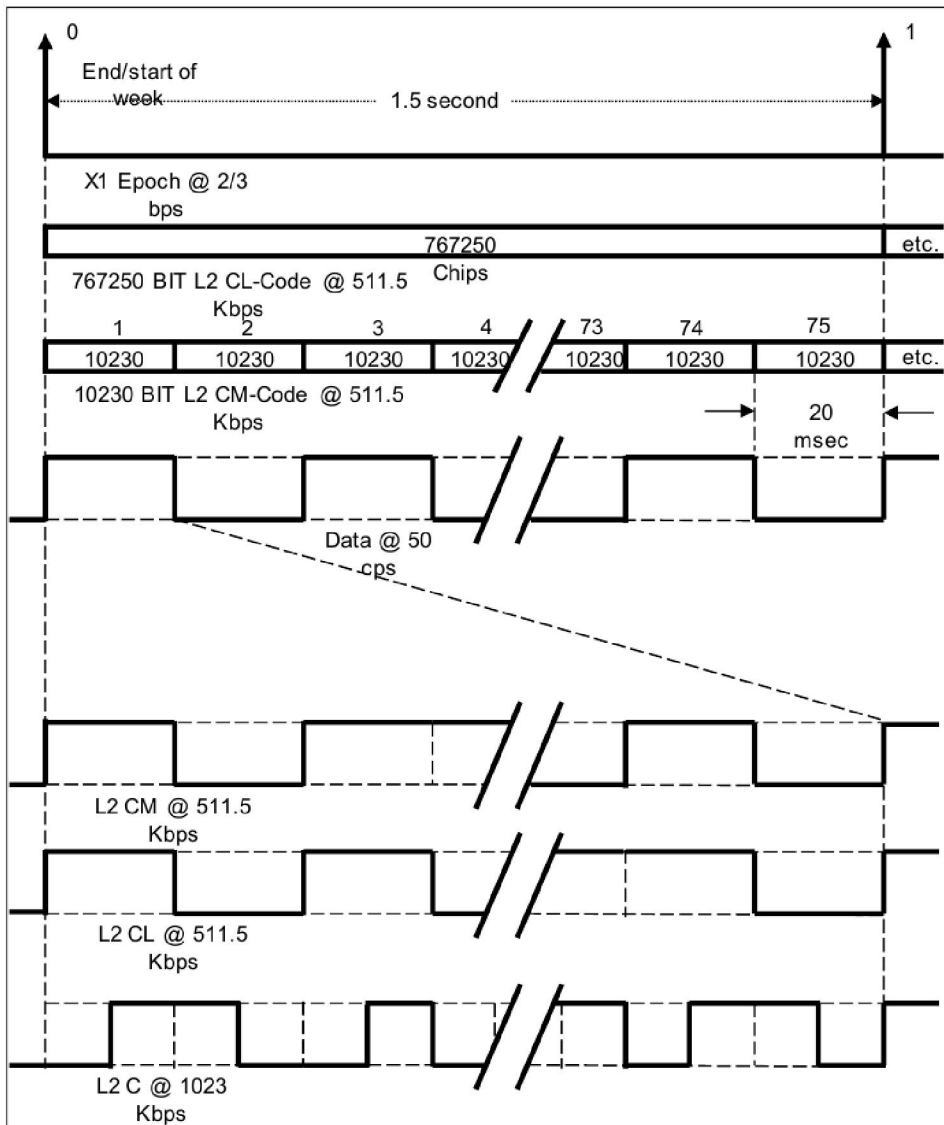
CL – Code Long (длинный код);

CM – Code Moderate (код средней длительности);

Бинарная последовательность	$G_{CM,k}(t)$	$G_{CL,k}(t)$	$G_{HC,k}(t)$
Длительность элементарного символа $\tau_s$	1/511,5 мс	1/511,5 мс	20 мс
Период $T$	20 мс	1,5 с	-

# Временное уплотнение компонент сигнала L2C. Спектр сигнала L2C.

Спектр сигнала L2C соответствует BPSK(1)



# Дальномерные коды сигнала L2C

## СМ-код “Civil moderate” (информационная компонента )

Тип: укороченная M-последовательность

Период:  $T_{cm} = 20$  мс

Длина кода  $L=10230$  бит

Частота выборки символов:  $F_T = 0,5115$  Мбит/с

## СL-код “Civil long” (пилотная компонента)

Тип: укороченная M-последовательность

Период:  $T_{cl} = 75 \times T_{cm} = 1,5$  с

Длина кода:  $L=767250$  бит

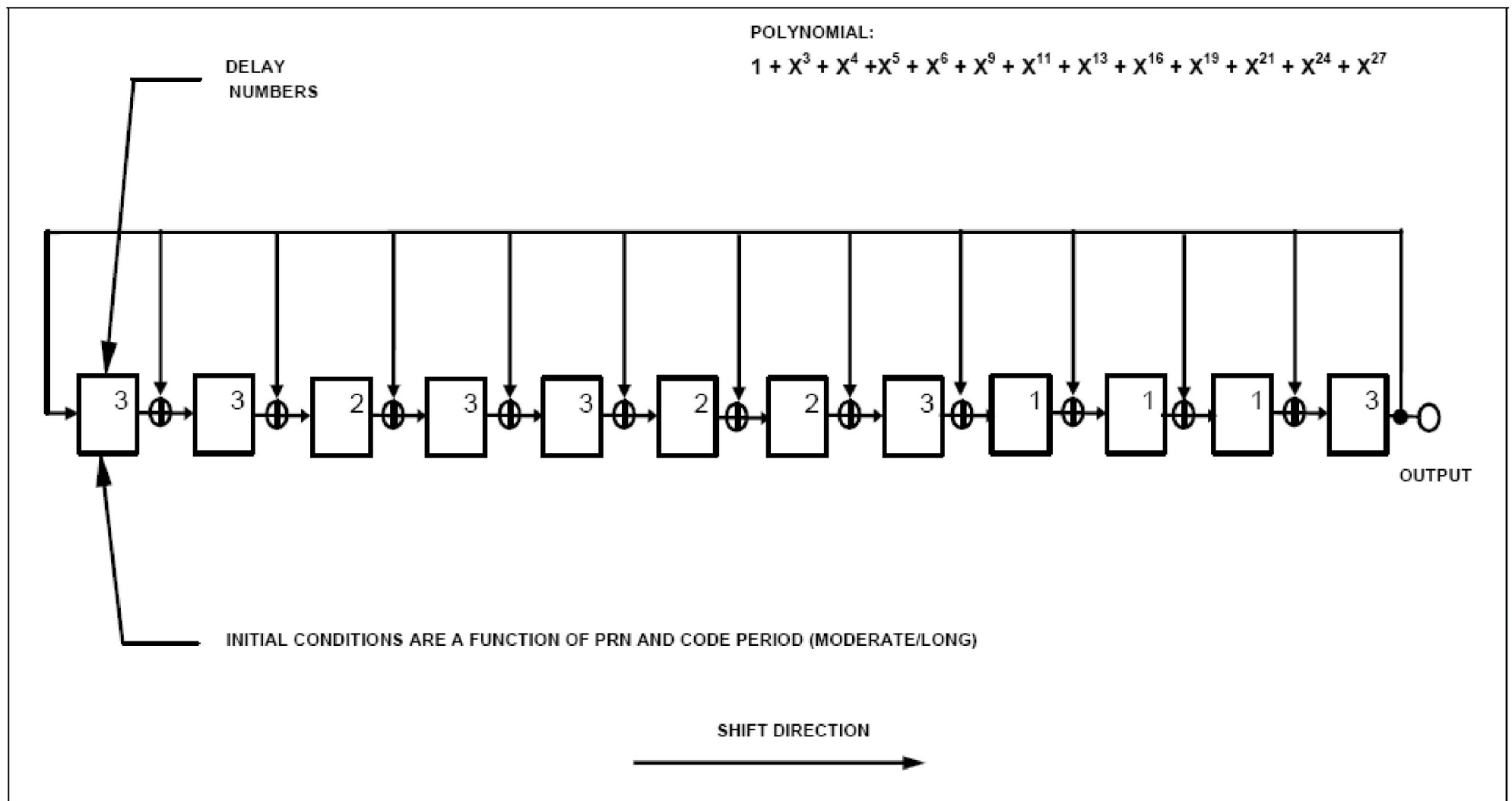
Частота выборки символов:  $F_T = 0,5115$  Мбит/с

Суммарная огибающая сигнала формируется временным уплотнением СL-кода и СМ-кода с наложенными данными:

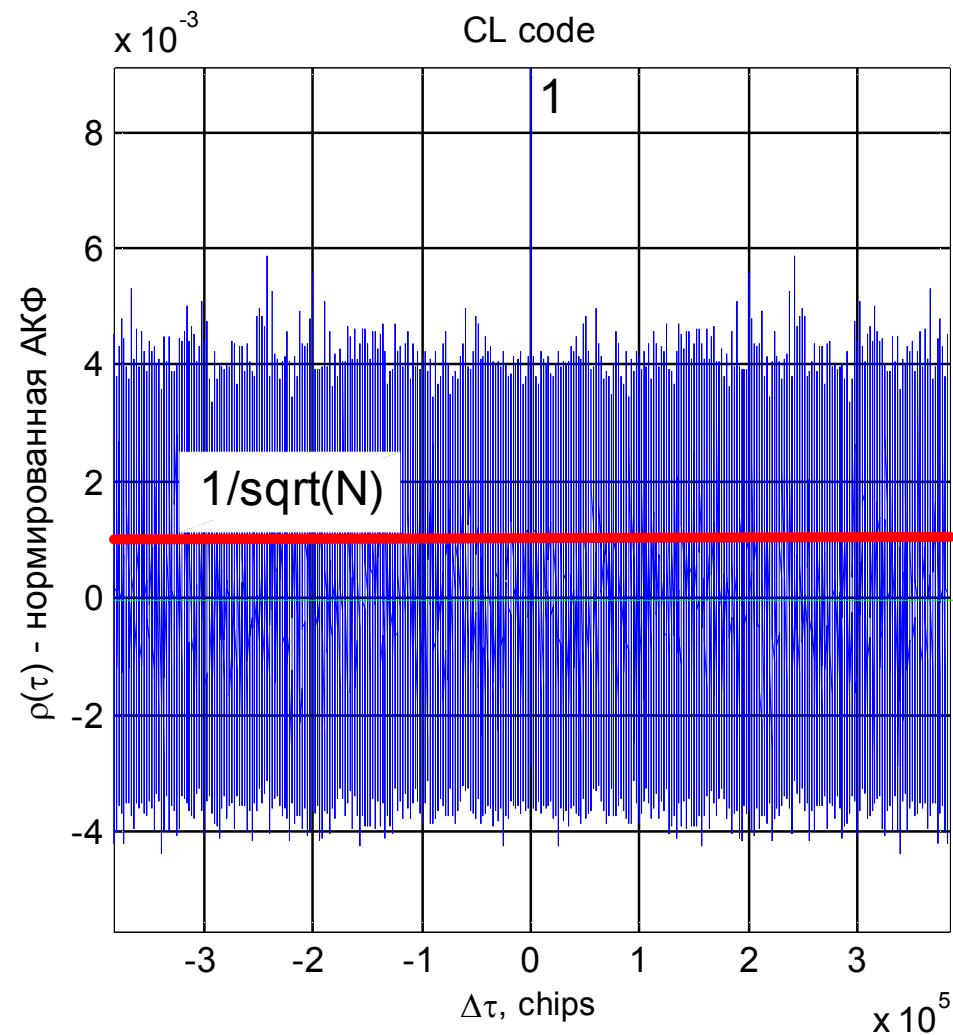
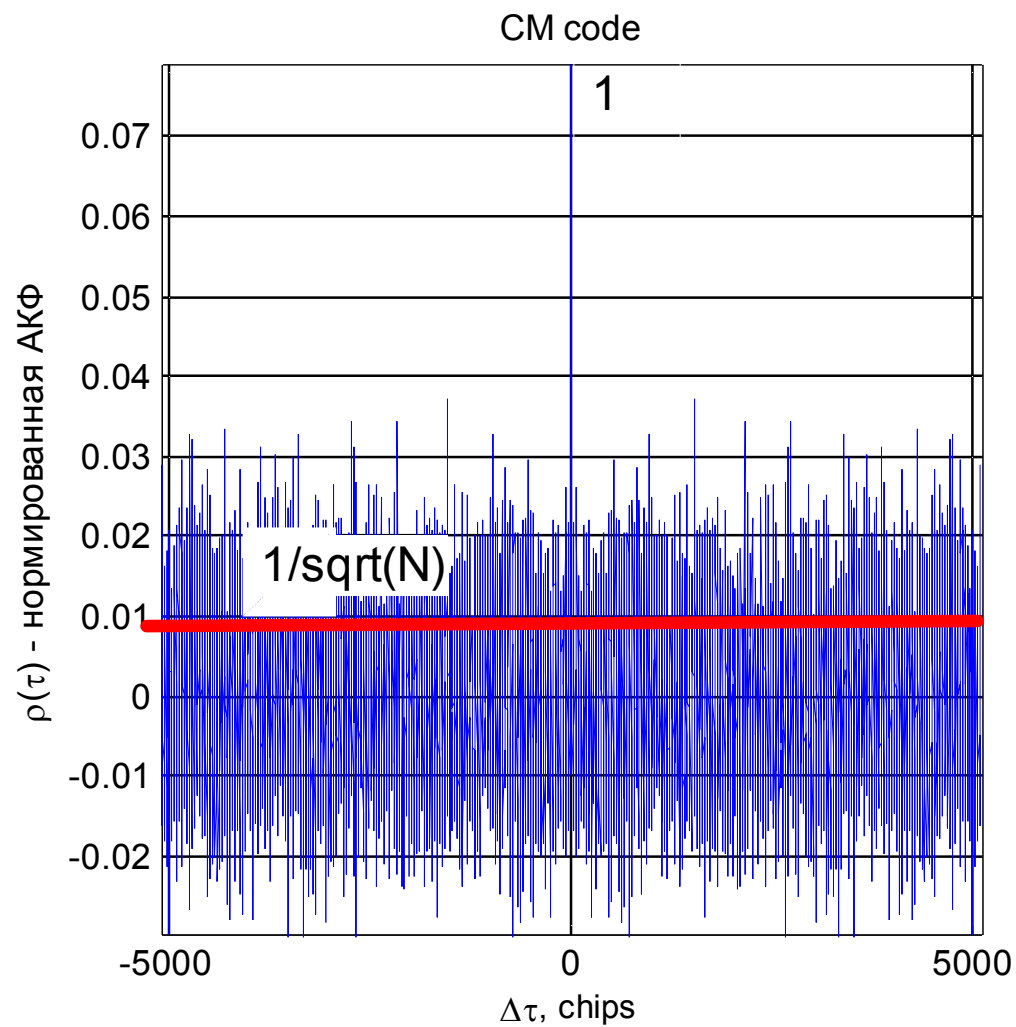
| СМxD | СL | СМxD | СL | СМxD | СL | СМxD | СL | СМxD | СL |....

# Формирование кодов СЛ и СМ

$$B_{CT}(x) = 1 + x^3 + x^6 + x^8 + x^{11} + x^{14} + x^{16} + x^{18} + x^{21} + x^{22} + x^{23} + x^{24} + x^{27}$$



# Корреляционные свойства кодов СЛ и СМ



# Навигационное сообщение в сигнале L2C

Информационная скорость: 25 бит/с

Помехоустойчивое кодирование и устранение инверсного приема:  
FEC(133,171) => кодовая скорость 50 бит/с

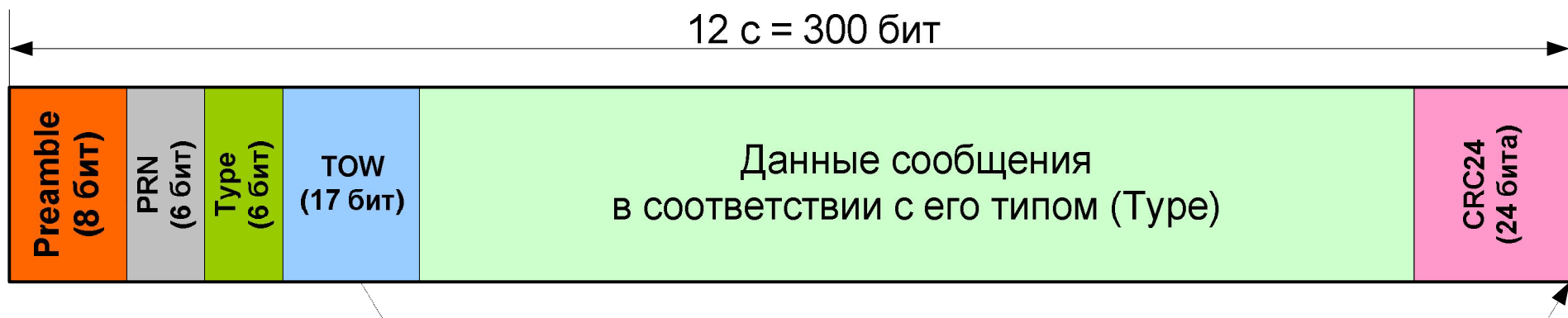
Символьная синхронизация: нет → FEC

Длина строки (message): 12 с = 300 бит

Контроль ошибок: CRC24 (24 бит на строку)

Строковая синхр-ция: преамбула 8 бит (0x8B)

Порядок передачи строк: не фиксирован





# Интервалы передачи строк в НС L2C

Table 30-XII. Message Broadcast Intervals		
Message Data	Message Type Number	Maximum Broadcast Intervals <sup>†</sup>
Ephemeris	10 & 11	48 sec
Clock	Type 30's	48 sec
ISC, IONO	30*	288 sec
Reduced Almanac	31* or 12	20 min**,*****
Midi Almanac	37*	120 min**,*****
EOP	32*	30 min*****
UTC	33*	288 sec
Diff Correction	34* or 13 & 14	30 min***,*****
GGTO	35*	288 sec*****
Text	36* or 15	As needed*****



# Сигналы L5: IS\_GPS\_705

Вид модуляции: QPSK(10)

Количество компонент: 2 (pilot/data)

Уплотнение компонент: квадратурное

$$S_{GPSL5,k}(t) = A \cdot G_{I5,k}(t) \cdot G_{NHI}(t) \cdot G_{HC,k}(t) \cdot \cos(2\pi f_{L5}t + \varphi_{0L5}) + \quad (I5)$$

$$+ A \cdot G_{Q5,k}(t) \cdot G_{NHQ}(t) \cdot \sin(2\pi f_{L5}t + \varphi_{0L5}) \quad (Q5)$$

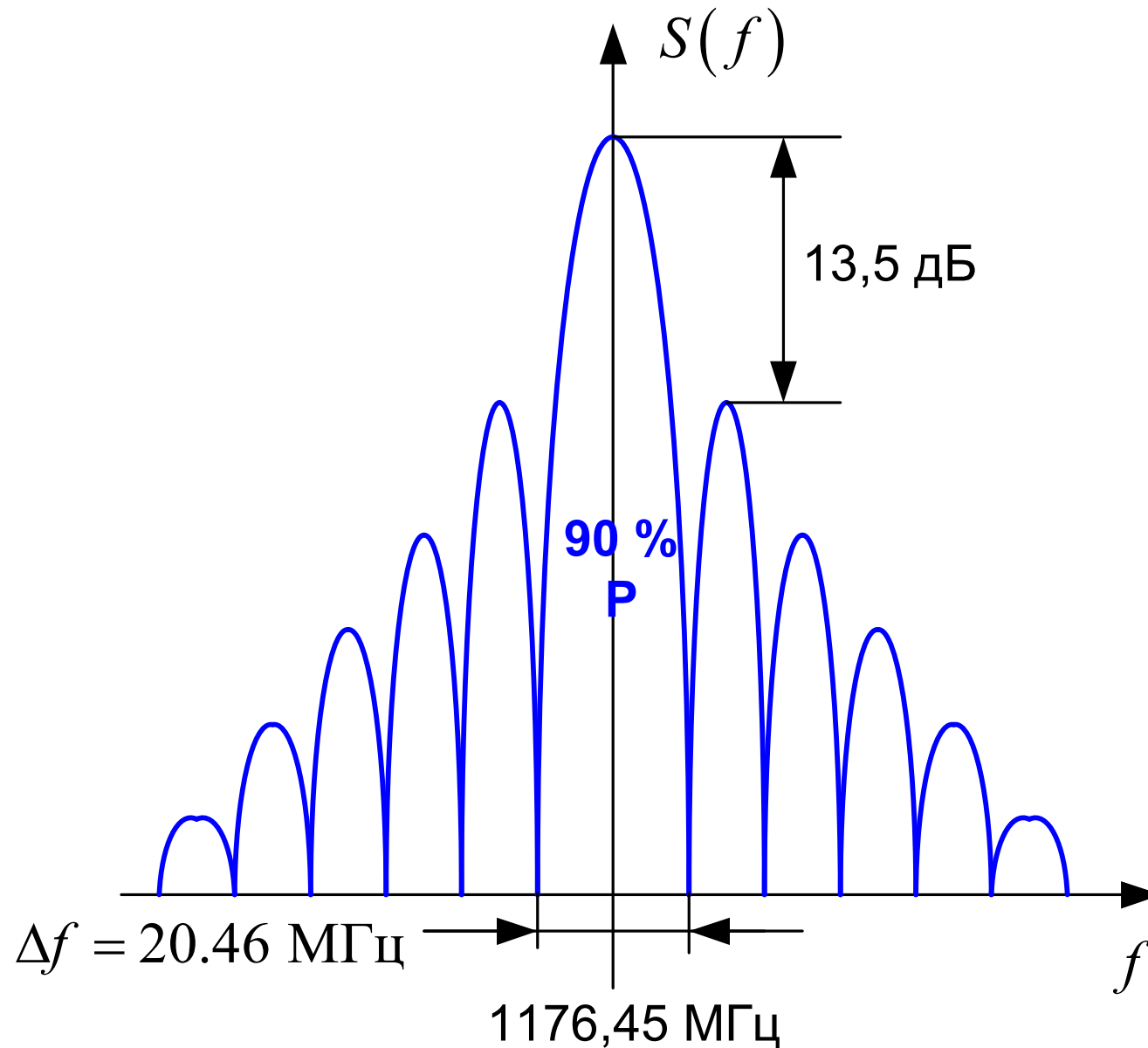
$$f_{L5} = 1176,45 \text{ МГц}$$

$$G_{xxx}(t) = \{\pm 1\}$$

I5, Q5 – дальномерные коды (Q5-pilot, I5-data);  
 NHI, NHQ - коды Неймана-Хоффмана;  
 HC – навигационное сообщение;

Бинарная последовательность	$G_{I5,k}(t),$ $G_{Q5,k}(t)$	$G_{NHI}(t)$	$G_{NHQ}(t)$	$G_{HC}(t)$
Длительность элементарного символа $\tau_s$	1/10230 мс	1 мс	1 мс	10 мс
Период $T$	1 мс	10 мс	20 мс	-

# Спектр сигнала L5 – QPSK(10)



# Дальномерные коды L5

## Дальномерные коды XI, XQ

Тип: квазислучайные последовательности

Период первичных кодов XI, XQ:  $T_p = 1$  мс

Длина первичных кодов  $L=10230$  бит

Частота выборки символов I5/Q5 :  $F_T = 10,23$  Мбит/с

## **Оверлейный код информационного сигнала - NH:**

Тип: код Неймана-Хоффмана NH = 0000110101

Период  $T_{nh} = 10$  мс

Длина  $L = 10$  бит

Частота выборки символов  $F_{nh} = 1$  Кбит/с

## **Оверлейный код пилотного сигнала - NHQ:**

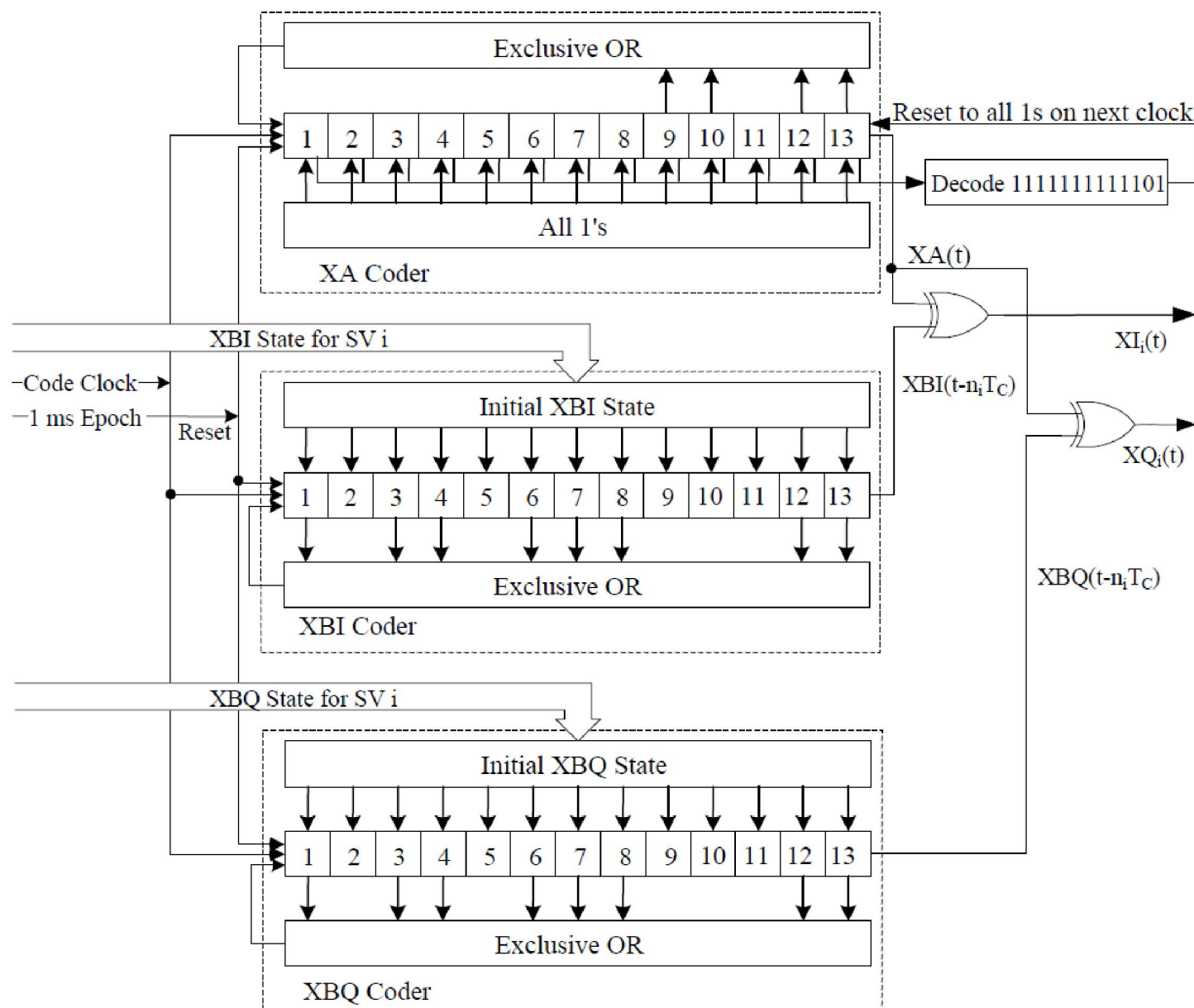
Тип: код Неймана-Хоффмана NHQ = 00000100110101001110

Период  $T_{nhq} = 20$  мс

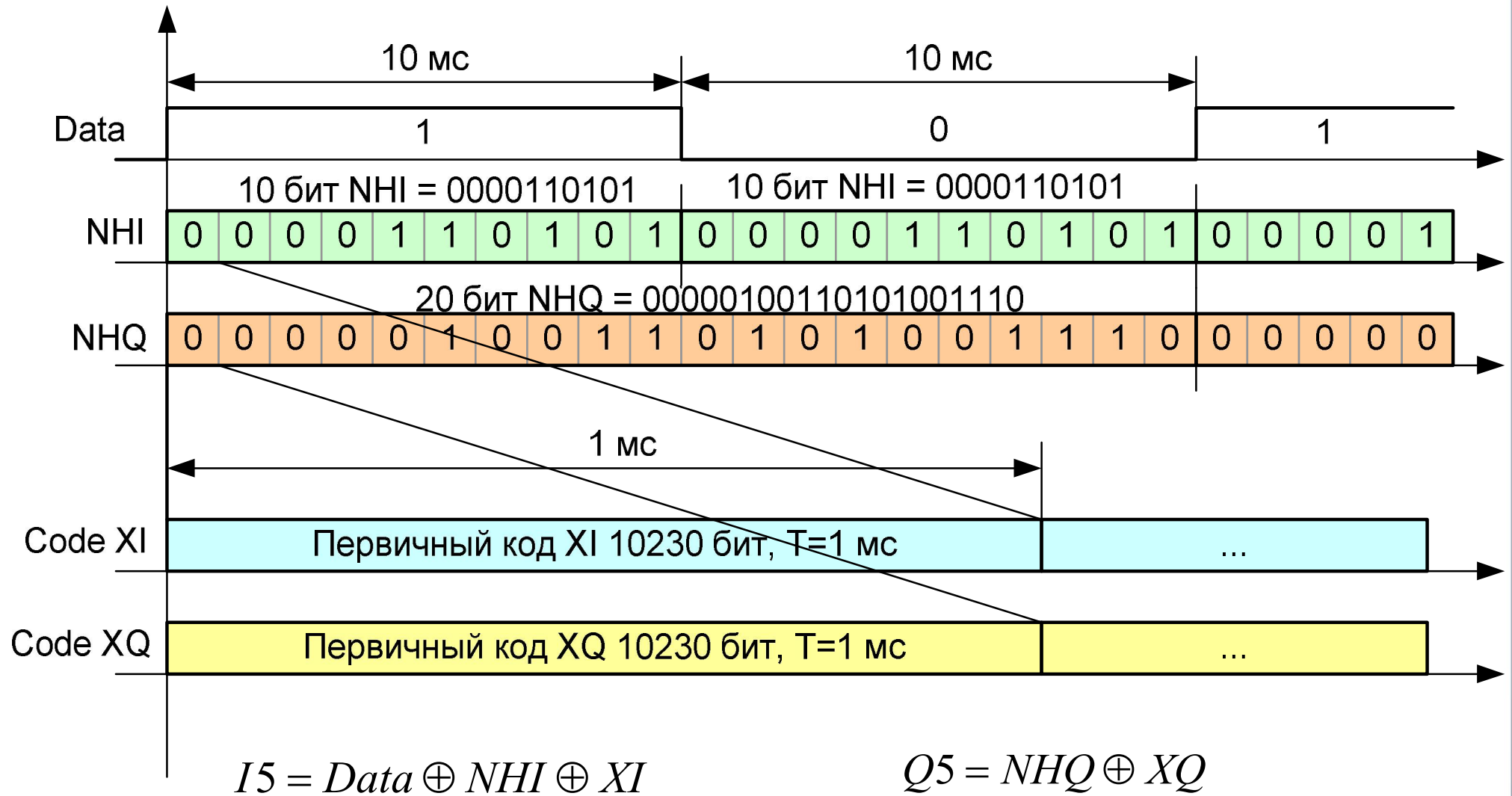
Длина  $L = 20$  бит

Частота выборки символов  $F_{nhq} = 1$  Кбит/с

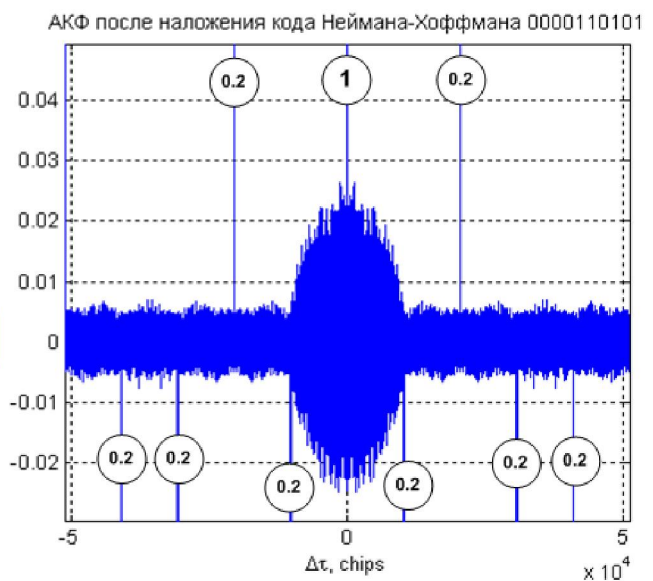
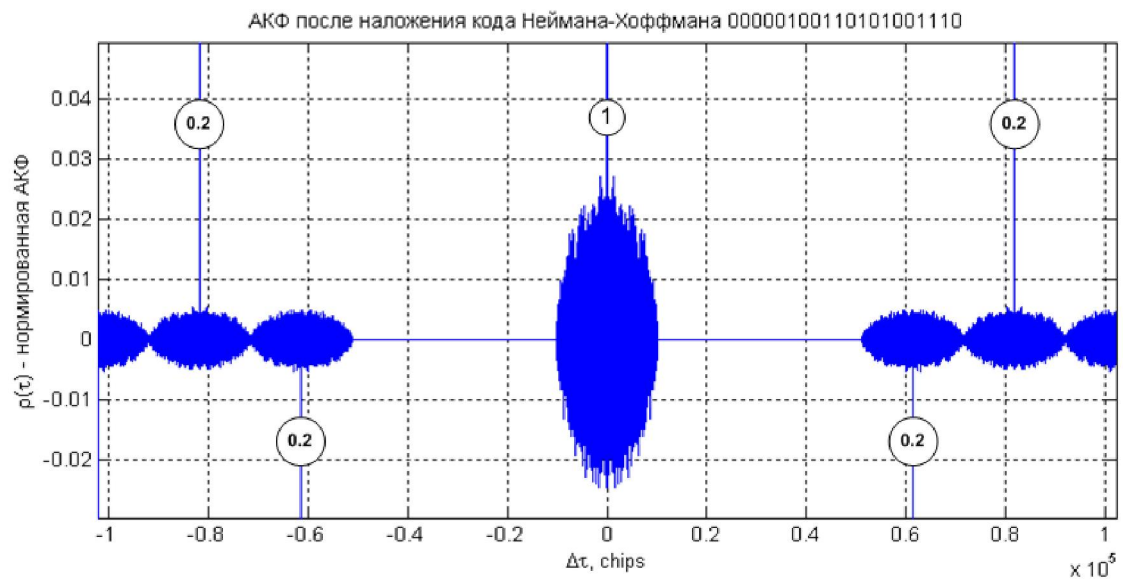
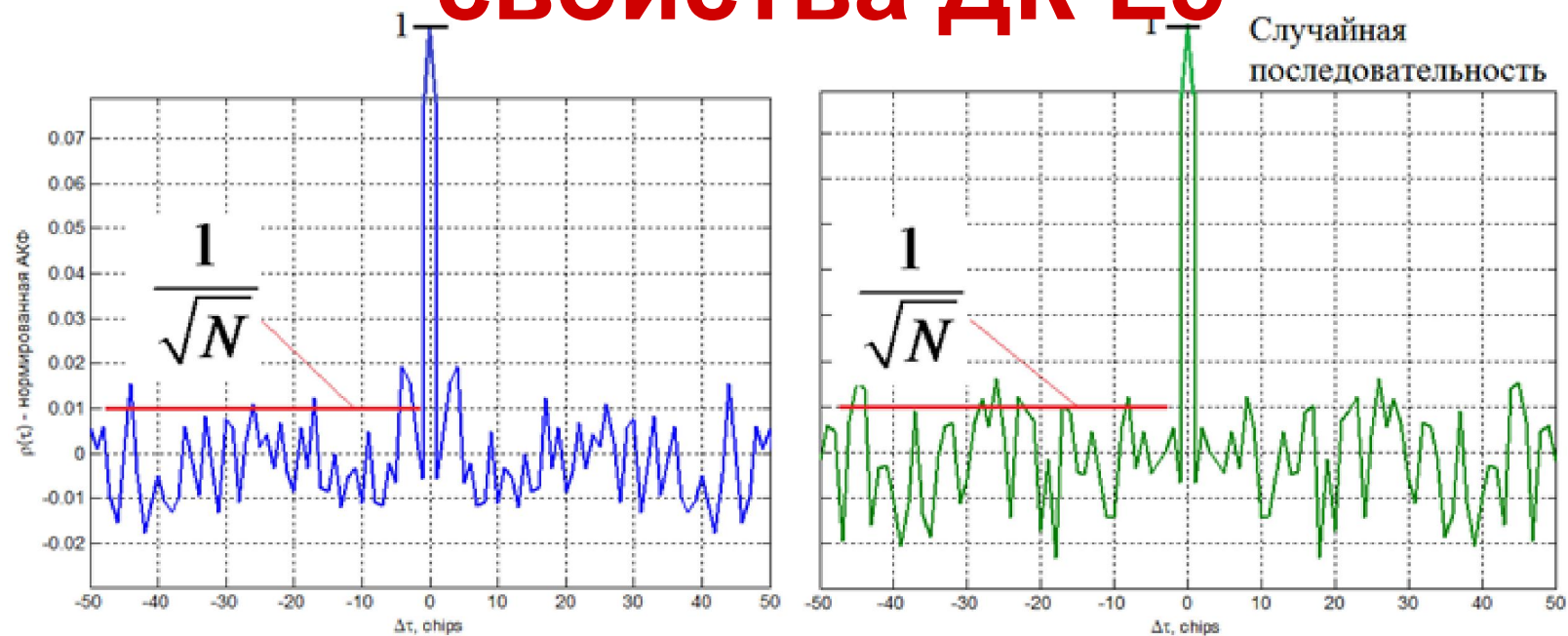
# Формирование первичных дальномерных кодов XI, XQ



# Дальномерные коды L5 – синхронизация кодов и ЦИ

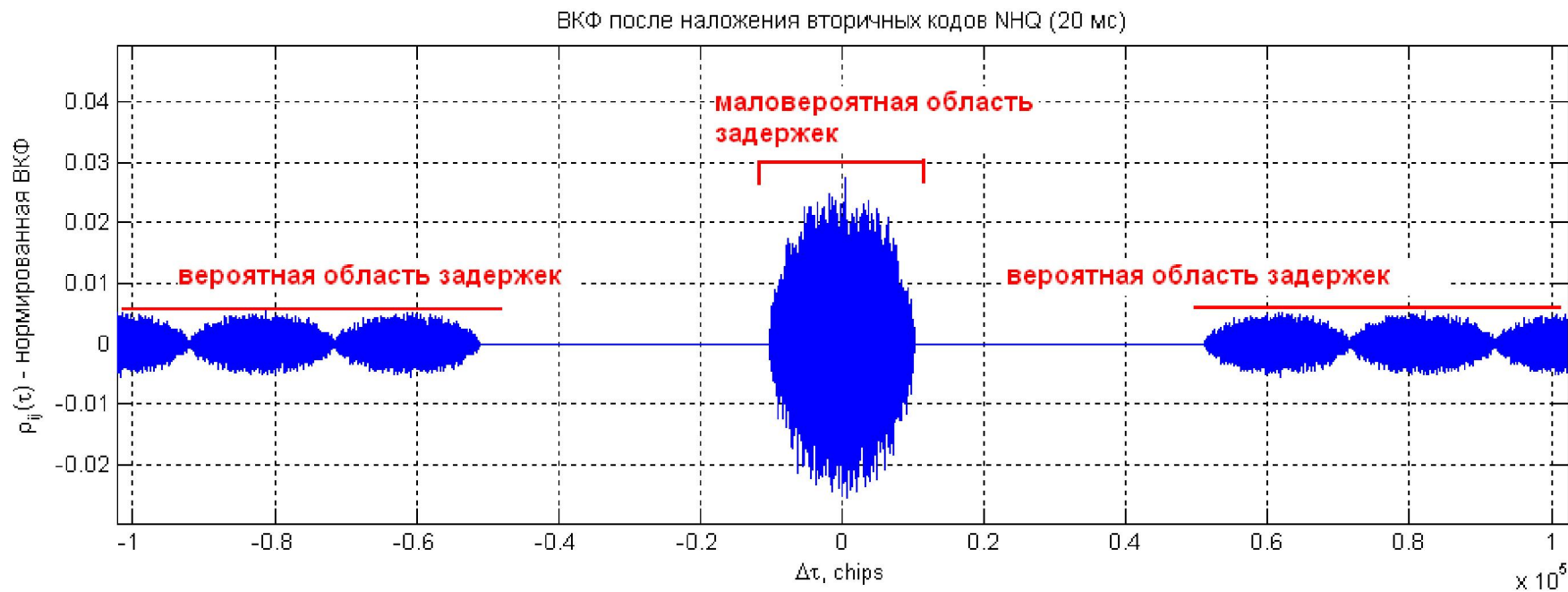


# Корреляционные свойства ДК L5



# Корреляционные свойства сигналов L5 – ВКФ

Из-за кодового разделения сигналов рассматриваем только ВКФ сигналов по коду. Уровень ВКФ = уровню АКФ при больших отстройках





# Навигационное сообщение в сигнале L5 (аналогично L2C)

Информационная скорость: 50 бит/с (в 2 раза быстрее L2C)

Помехоустойчивое кодирование и устранение инверсного приема:  
FEC(133,171) => кодовая скорость 100 бит/с

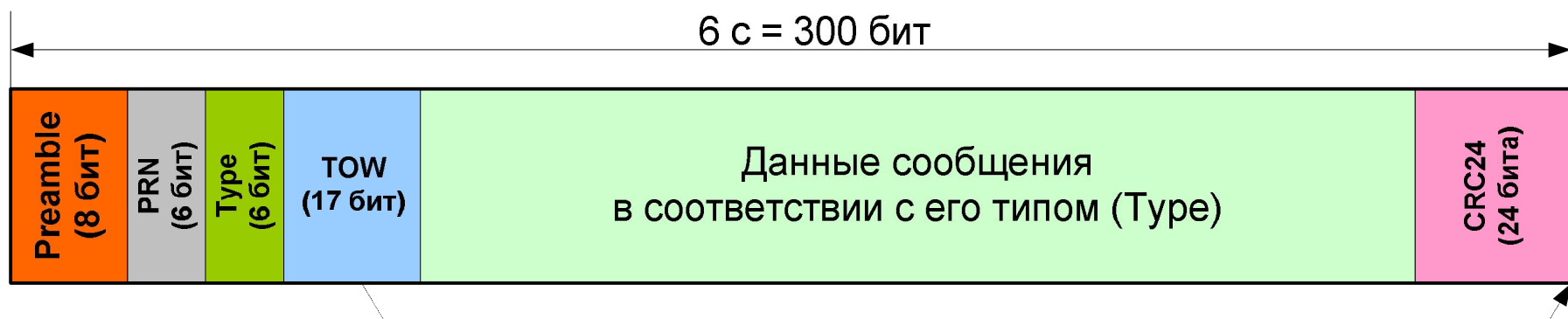
Символьная синхронизация: нет → FEC

Длина строки (message): 6 с = 300 бит

Контроль ошибок: CRC24 (24 бит на строку)

Строковая синхронизация: преамбула 8 бит (0x8B)

Порядок передачи строк: не фиксирован



# Сигналы L1C: IS-GPS-800

Количество компонент – 2 (L1Cd – Data, L1Cp - Pilot)

Уплотнение компонент [L1Cd+L1Cp] – простая сумма

Вид модуляции L1Cd: BOC(1,1)

Вид модуляции L1Cp: TМВОС(6,1,4/33) (\*См Лк. 6 «Модуляция TМВОС»)

$$s_{L1C,k}(t) = A \cdot \left( \begin{array}{l} G_{D,k}(t) \cdot G_{HC,k}(t) \cdot sc_{(1,1)}(t) + \\ + G_{P,k}(t) \cdot G_{O,k}(t) \cdot sc_{TМВОС}(t) \end{array} \right) \cdot \cos(2\pi f_{L1}t + \varphi_{0L1})$$

$$G_{xxx}(t) = \{\pm 1\}$$

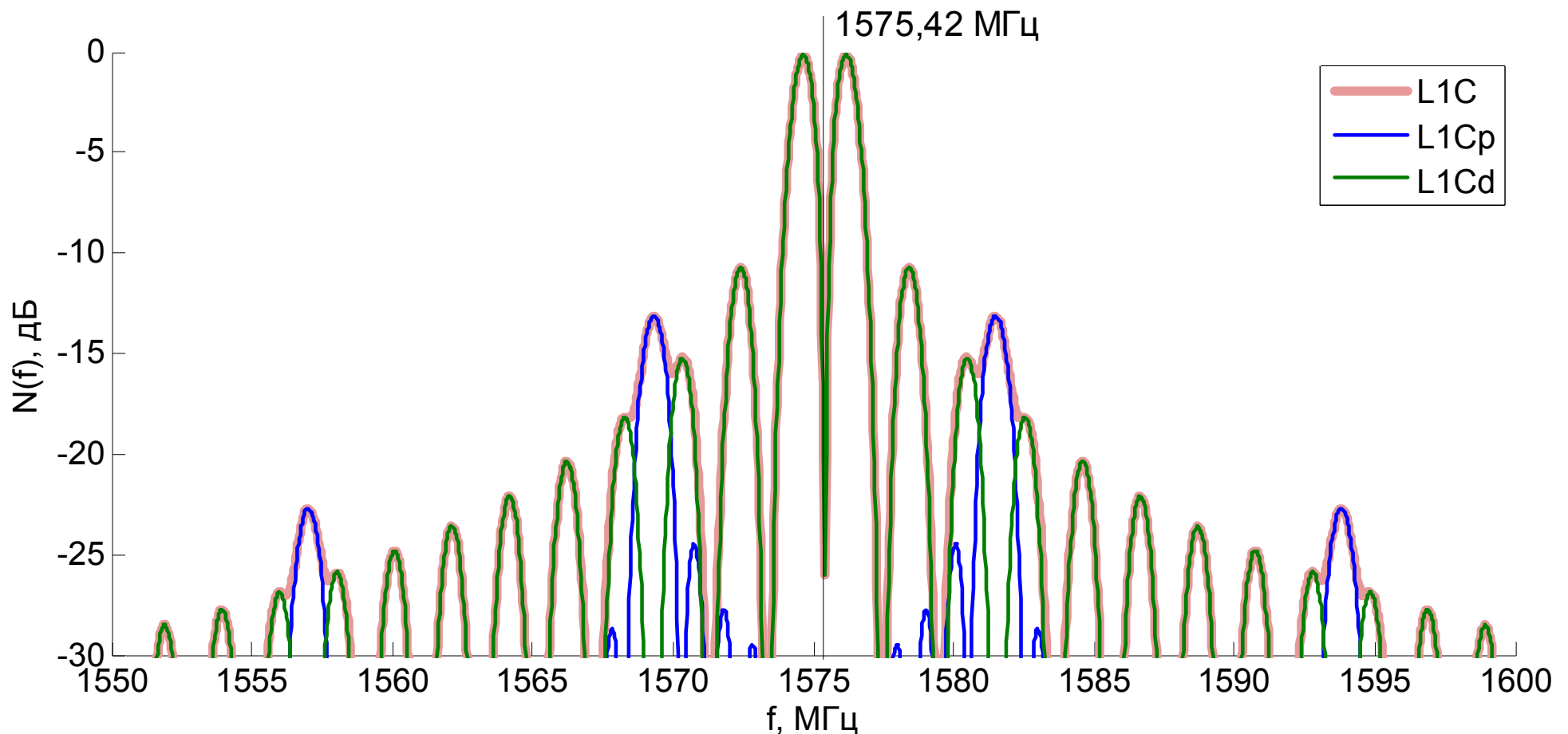
D,P – Дальномерные коды, O – Оверлейный код,  
HC – Навигационное сообщение

Бинарная последовательность	$sc_{(1,1)}(t)$	$sc_{TМВОС}(t)$	$G_{P,k}(t),$ $G_{D,k}(t)$	$G_{O,k}(t)$	$G_{HC,k}(t)$
Длительность элементарного символа $\tau_s$	1/2046 мс	1/2046 мс 1/12276 мс	1/1023 мс	10 мс	10 мс
Период $T$	1/1023 мс	33/1023 мс	10230 бит 10 мс	1800 бит 18 с	-

# Спектр сигнала L1C.

Спектр сигнала L1C равен сумме спектров в соответствии с видами модуляции:

ВОС(1,1) – с весом (62/33) и  
ВОС(6,1) – с весом (4/33)



# Дальномерные коды сигнала L1C

## Первичные дальномерные коды

Тип: Коды Вейла

Период:  $T = 10$  мс

Длина кода  $L=10230$  бит

Частота выборки символов:  $F_T = 1,023$  Мбит/с

## Оверлейный код

Тип: укороченный код Голда

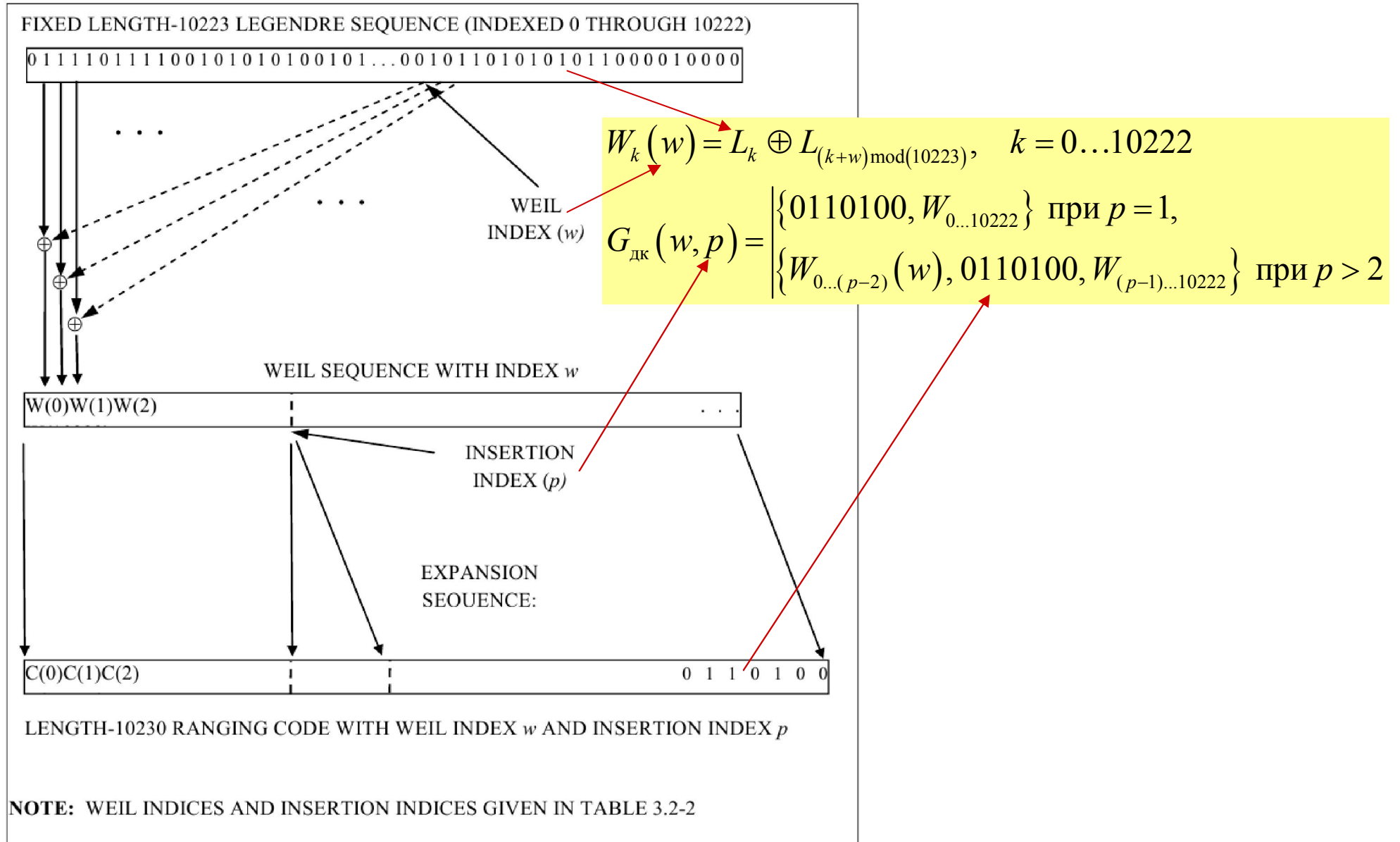
Период:  $T_{cl} = 18$  с

Длина кода:  $L=1800$  бит

Частота выборки символов:  $F_T = 100$  бит/с

# Формирование ДК L1C

## См: Лк. 5 – «Коды Вейла»



# Навигационное сообщение в сигнале L1C

Информационная скорость:  $883/18 = 49.05(5)$  бит/с

Помехоустойчивое кодирование и устранение инверсного приема:  
LDPC + BCH + перемежение

Кодовая скорость: 100 бит/с

Символьная синхронизация: нет

Длина кадра (message): 18 с  $\Leftrightarrow$  883 бит

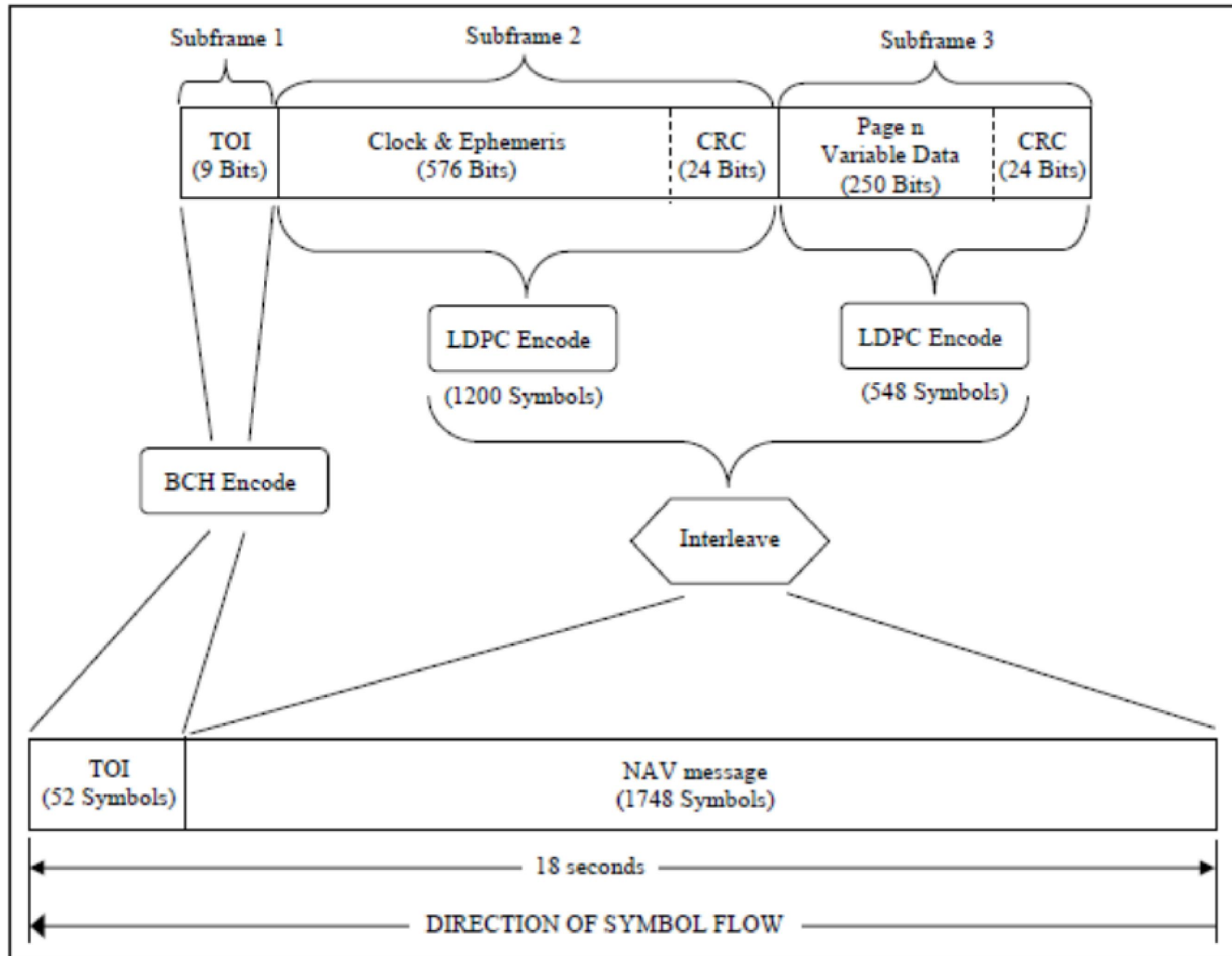
Кол-во строк в кадре (subframes): 3 (9, 600 и 264 бит)

Контроль ошибок: CRC24 (24 бита в строках 2 и 3)

Строковая синхронизация: обесп. помехоуст. кодированием.

Структура строк 1 и 2 фиксирована, 3 – нет.

# Структура кадра в L1C

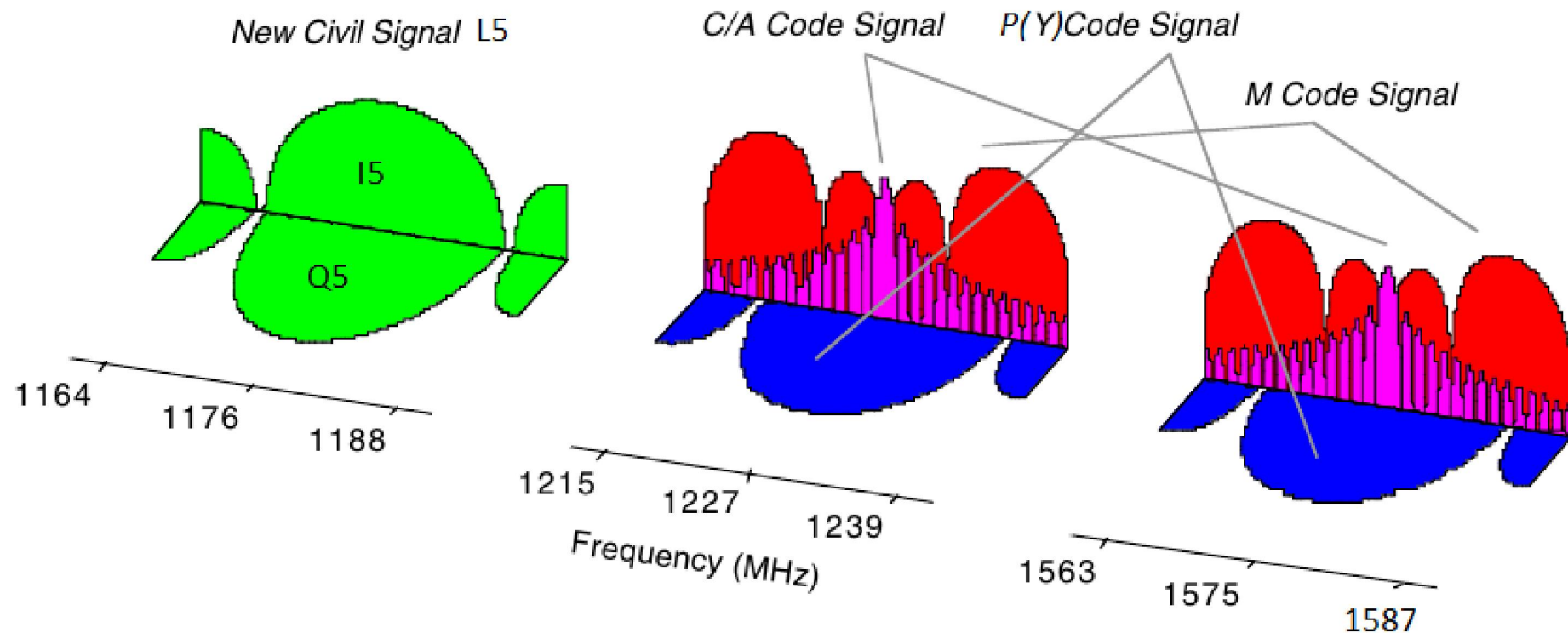




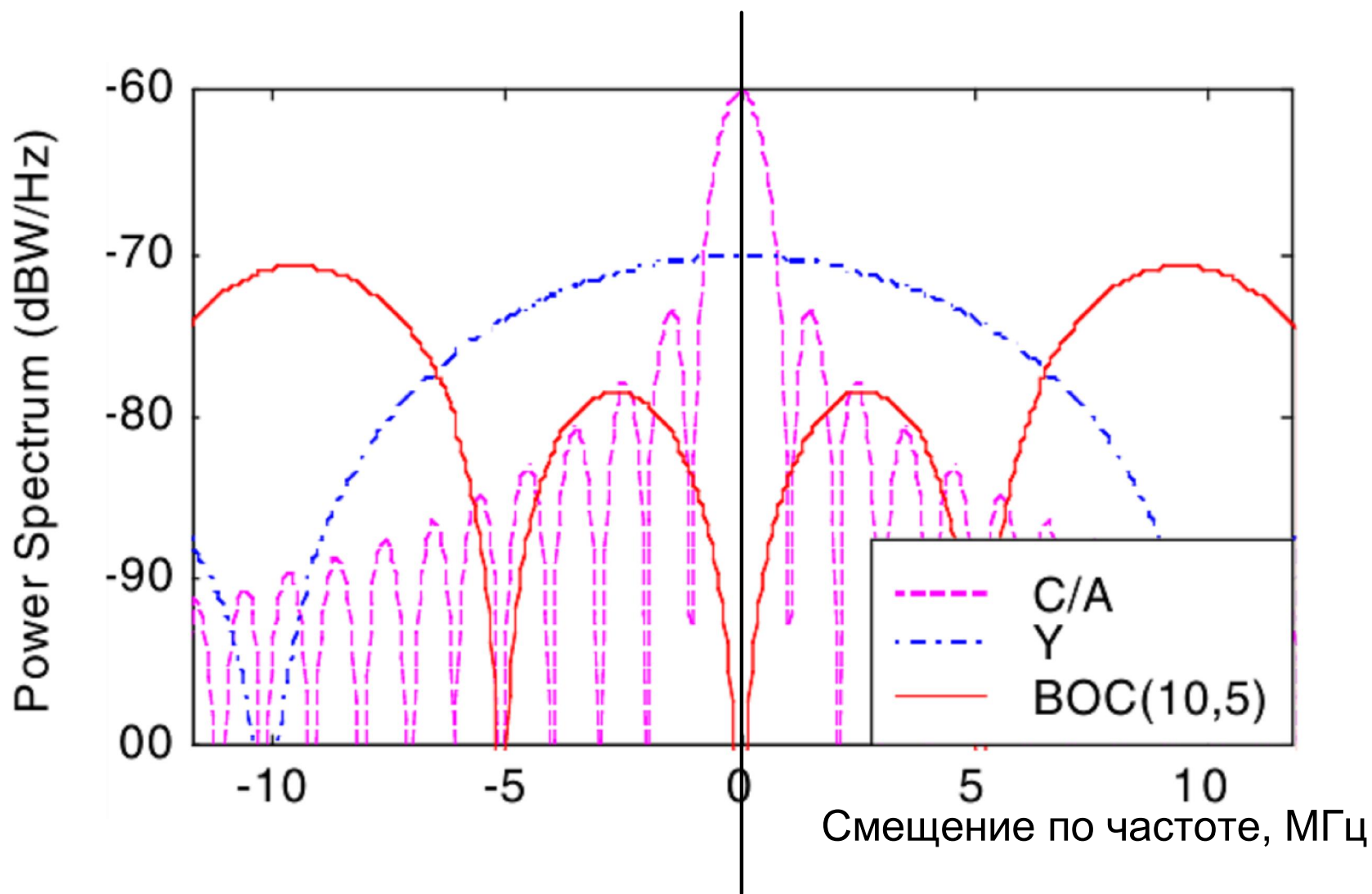
# Сигнал с М-кодом в диапазонах L1/L2

Google: "Overview of the GPS M Code Signal"  
*Brian C. Barker, John W. Betz, ...*

Вид модуляции: BOC(10,5)



# Спектр сигналов с М-кодом



$$f_{L1} = 1575,42 \text{ МГц}$$

$$f_{L2} = 1227,6 \text{ МГц}$$