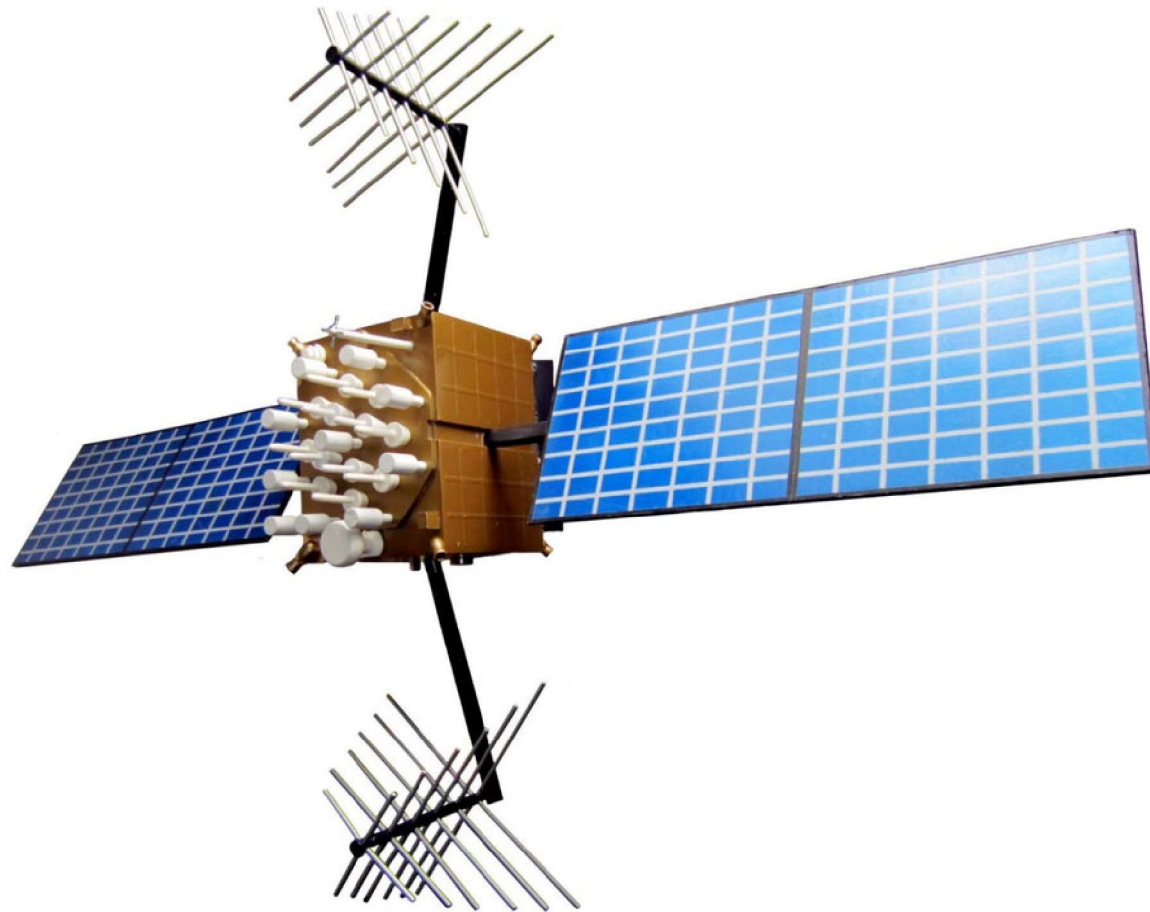


Лекция 10. Сигналы СРНС GPS. Частотные и спектральные характеристики сигналов. Дальномерные коды.



Типы сигналов GPS

- **L1 C/A** – открытые сигналы с модуляцией BPSK(1) в диапазоне L1;
- **L1C** - открытые перспективные сигналы с BOC-модуляцией в диапазоне L1;
- **L2C** – открытые сигналы с модуляцией BPSK(1) в диапазоне L2;
- **L5** - открытые сигналы с модуляцией BPSK(10) в диапазоне L5;
- **P(Y)** – сигналы санкционированного доступа с модуляцией BPSK(10) в диапазонах L1 и L2 (идентичные по структуре);
- **M code** – сигналы санкционированного доступа с BOC-модуляцией в диапазонах L1 и L2.

Частоты GPS

GPS Frequencies

Band	Frequency (MHz)	Phase	Original usage	Modernized usage
L1	1575.42 (10.23×154)	In-phase (I)	Encrypted precision P(Y) code	
		Quadrature-phase (Q)	Coarse/acquisition (C/A) code	C/A, L1 Civilian (L1C), and Military (M) code
L2	1227.60 (10.23×120)	In-phase (I)	Encrypted precision P(Y) code	
		Quadrature-phase (Q)	Unmodulated carrier	L2 Civilian (L2C) code and Military (M) code
L3	1381.05 (10.23×135)		Used by Nuclear Detonation (NUDET) Detection System Payload (NDS); signals nuclear detonations/ high-energy infrared events. Used to enforce nuclear test ban treaties.	
L4	1379.913 (10.23×1214/9)		<i>(No transmission)</i>	Being studied for additional ionospheric correction ^[citation needed]
L5	1176.45 (10.23×115)	In-phase (I)	<i>(No transmission)</i>	Safety-of-Life (SoL) Data signal
		Quadrature-phase (Q)		Safety-of-Life (SoL) Pilot signal

Этапы ввода сигналов

Сигнал Модель НКА	L1 P(Y)	L1 C/A	L2 P(Y)	L2C	L1 M code	L2 M code	L5	L1C
Block I Block II / IIA Block IIR (1978-2004)	●	●	●					
Block IIR-M (2005-2009)	●	●	●	●	●	●		
Block IIF (2010-2014)	●	●	●	●	●	●	●	
Block III (2014-2024)	●	●	●	●	●	●	●	●

Традиционные сигналы L1 C/A, L1 P(Y) и L2 P(Y)

Виды модуляции: C/A - BPSK(1), P(Y) – BPSK(10)

Уплотнение: C/A квадратурно уплотнен с P(Y)

Pilot/Data – только Data

$$S_{\text{GPSL1},k}(t) = A \cdot G_{\text{C/A},k}(t) \cdot G_{\text{HC},k}(t) \cdot \sin(2\pi f_{L1}t + \varphi_{0L1}) + \leftarrow \text{C/A} \\ + A \cdot G_{\text{P},k}(t) \cdot \{G_{\text{W},k}(t)\} \cdot G_{\text{HC},k}(t) \cdot \cos(2\pi f_{L1}t + \varphi_{0L1}) \leftarrow \text{P(Y)}$$

$$S_{\text{GPSL2},k}(t) = A \cdot G_{\text{P},k}(t) \cdot \{G_{\text{W},k}(t)\} \cdot \{G_{\text{HC},k}(t)\} \cdot \cos(2\pi f_{L2}t + \varphi_{0L2}) \leftarrow \text{P(Y)}$$

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

k – номер сигнала;

C/A – гражданский дальномерный код (1 мс);

P – военный дальномерный код (1 неделя);

W – криптостойкая (непредсказуемая) ПСП;

HC – навигационное сообщение.

$$f_{L1} = 1575,42 \text{ МГц}$$

$$f_{L2} = 1227,6 \text{ МГц}$$

Характеристики бинарных модулирующих последовательностей

Бинарная последовательность	$G_{C/A,k}(t)$	$G_{P,k}(t)$	$G_{W,k}(t)$	$G_{НС,k}(t)$
Длительность элементарного символа τ_9	1/1023 мс	1/10230 мс	20/10230 мс	20 мс
Период T	1023 бит 1 мс	6.1871×10^{12} бит 1 неделя	∞	-

k – номер сигнала;

C/A – гражданский дальномерный код (1 мс);

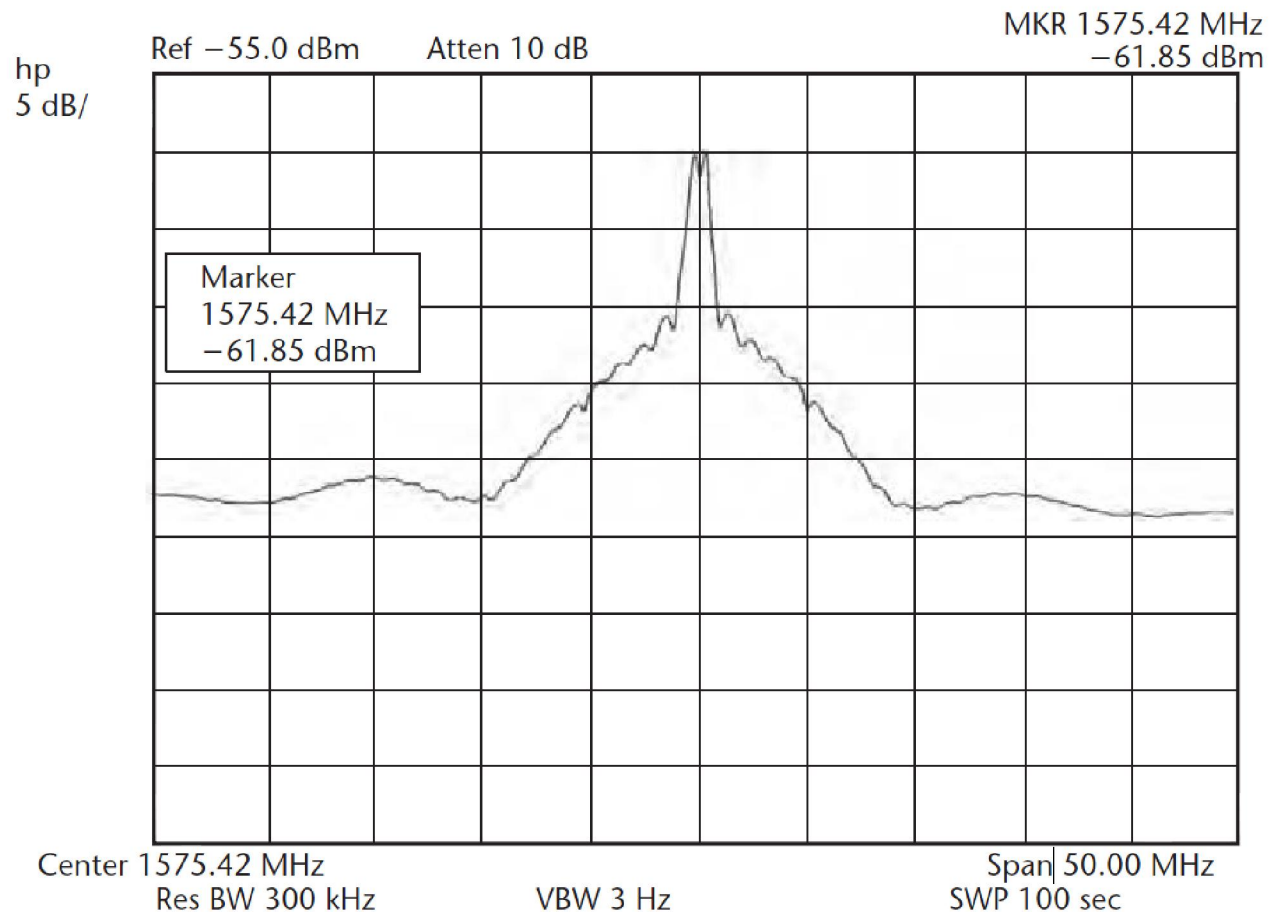
P – военный дальномерный код (1 неделя);

W – криптостойкая (непредсказуемая) ПСП;

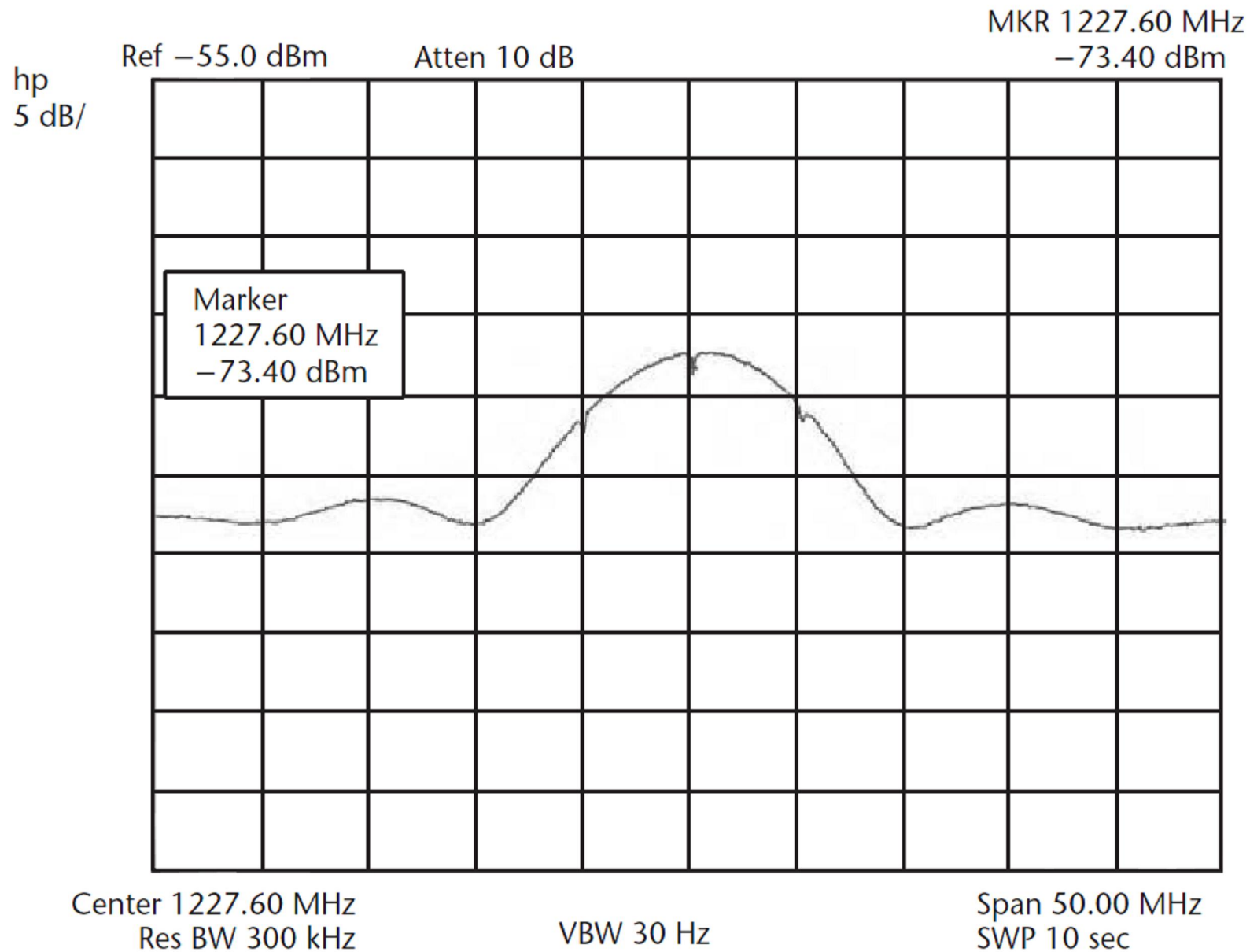
НС – навигационное сообщение.

Спектр сигналов C/A и P(Y) в диапазоне L1

Частотные и спектральные характеристики определяются структурой сигнала



Спектр сигнала P(Y) в диапазоне L2



Дальномерный код С/А

Тип: код Голда

Период: $T = 1$ мс

Длина кодов $L=1023$ бит

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

Оверлейные (вторичные) коды – отсутствуют.

Алгоритм формирования:

$$G_i(t) = M_a(t) \oplus M_b(t + K_i \tau_g), \quad \overline{i = 0, 36}$$

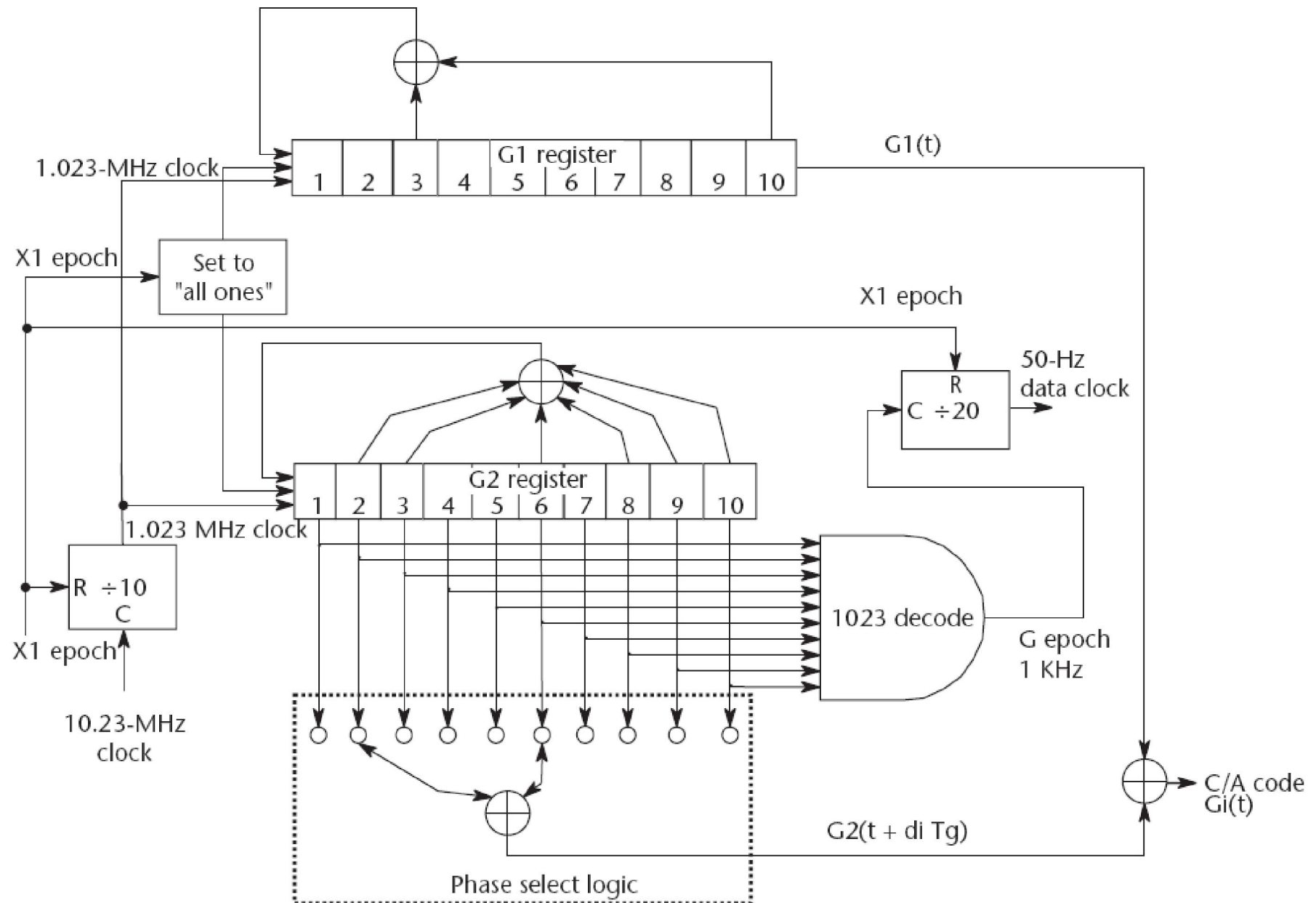
$$M_a(t): \quad PG_1(x) = 1 + x^3 + x^{10}$$

$$M_b(t): \quad PG_2(x) = 1 + x^2 + x^3 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{10}$$

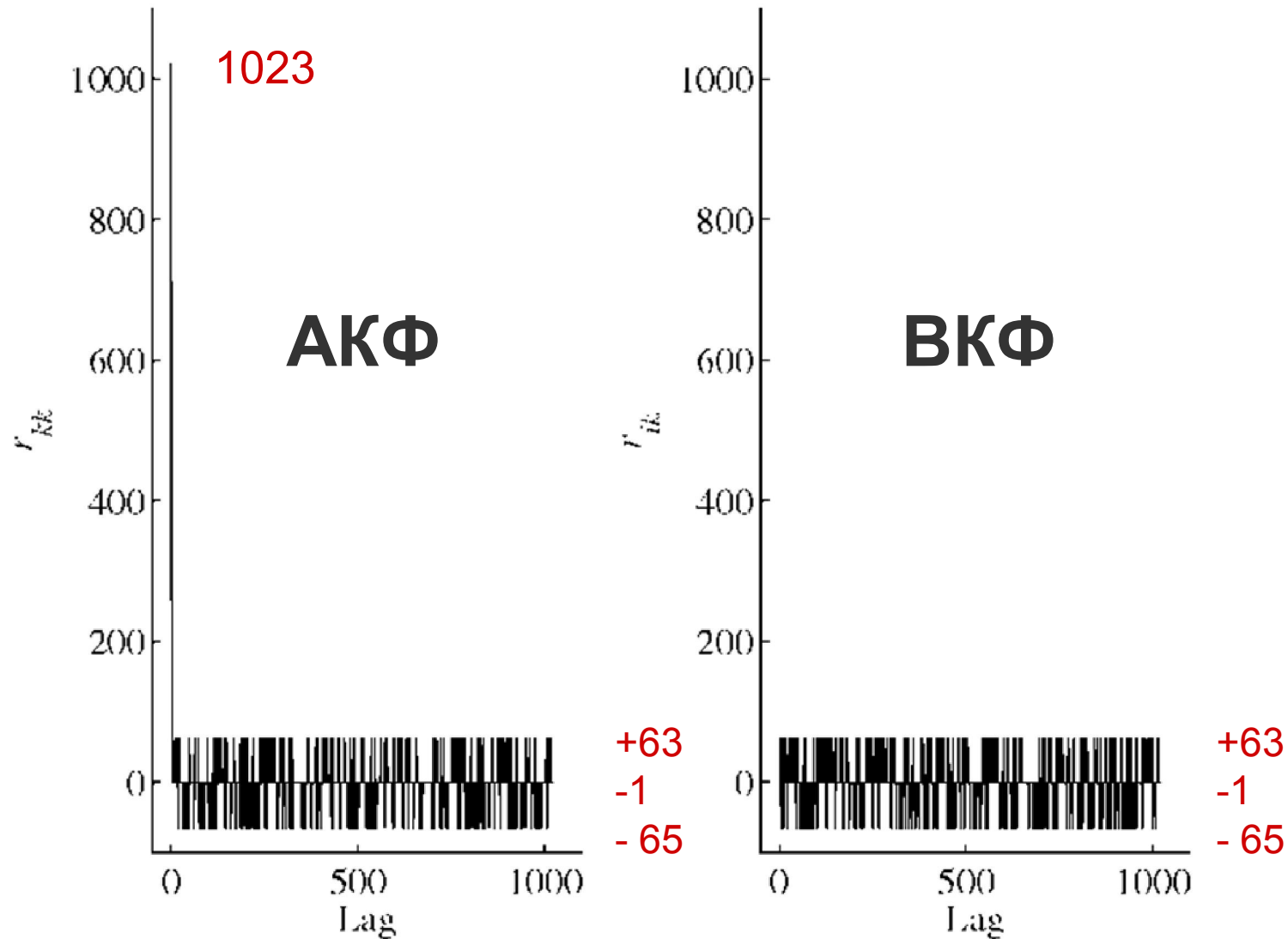
i - номер ПСП (PRN)

K_i - целое число, таблицей заданное в ИКД

Формирование С/А кода



Корреляционные свойства С/А кода (они ужасны)



Дальномерный код $P(Y)$

Первичный код (P)

Тип: квазислучайная последовательность, полученная путем комбинации 4-х M-последовательностей от 12-битных генераторов.

Период: $T = 1$ неделя

Длина P-кода $L=6187104000000$ бит

Частота выборки символов: $F_{тр} = 10,23$ Мбит/с

Вторичный код (W)

Тип: криптостойкая непредсказуемая последовательность

Период: (бесконечность)

Длина W-кода: (бесконечность)

Частота выборки символов: $F_{tw} = F_{тр}/20 = 0,5115$ Мбит/с

Формирование кода $P(Y)$:

$$P(Y)_i(t) = P_i(t) \oplus W_i(t)$$

Формирование Р-кода

Основа - 4 генератора
M-последовательностей,
(каждый – 12 бит)

$$PMX_{1a}(x) = 1 + x^6 + x^8 + x^{11} + x^{12}$$

$$PMX_{1b}(x) = 1 + x + x^2 + x^5 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{12}$$

$$PMX_{2a}(x) = 1 + x + x^3 + x^4 + x^5 + x^7 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{12}$$

$$PMX_{2b}(x) = 1 + x^2 + x^3 + x^4 + x^8 + x^9 + x^{12}$$

$$L\{\overline{MX}_{1a}\} = L\{\overline{MX}_{2a}\} = 4092$$

$$L\{\overline{MX}_{1b}\} = L\{\overline{MX}_{2b}\} = 4093$$

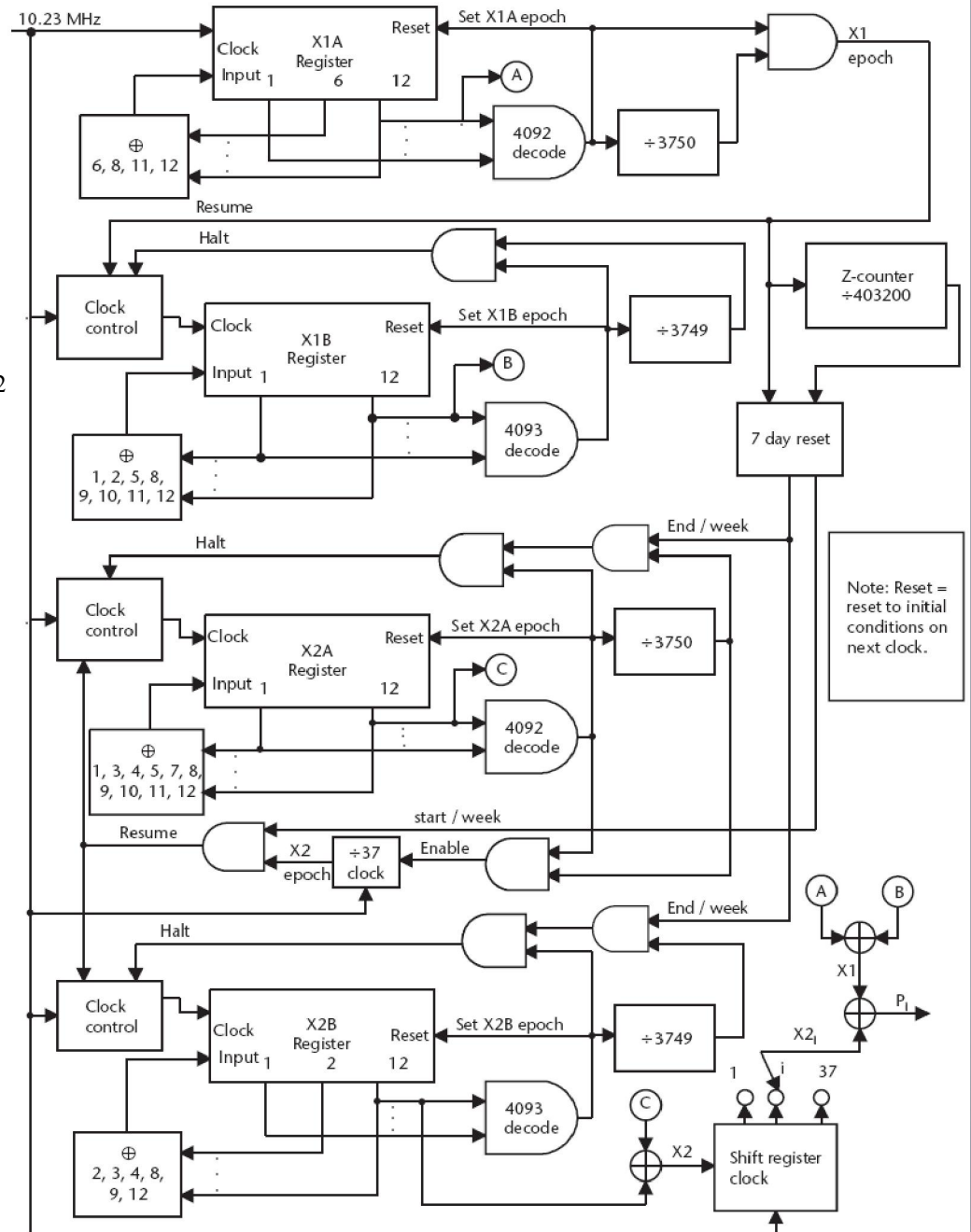
$$X_1(t) = \overline{MX}_{1a} \oplus \overline{MX}_{1b}$$

$$X_2(t) = \overline{MX}_{2a} \oplus \overline{MX}_{2b}$$

$$L\{\overline{X}_1\} = 15345000$$

$$L\{\overline{X}_2\} = 15345037$$

$$P_i(t) = \overline{X}_1(t) \oplus \overline{X}_2(t - K_i \tau_{KP})$$

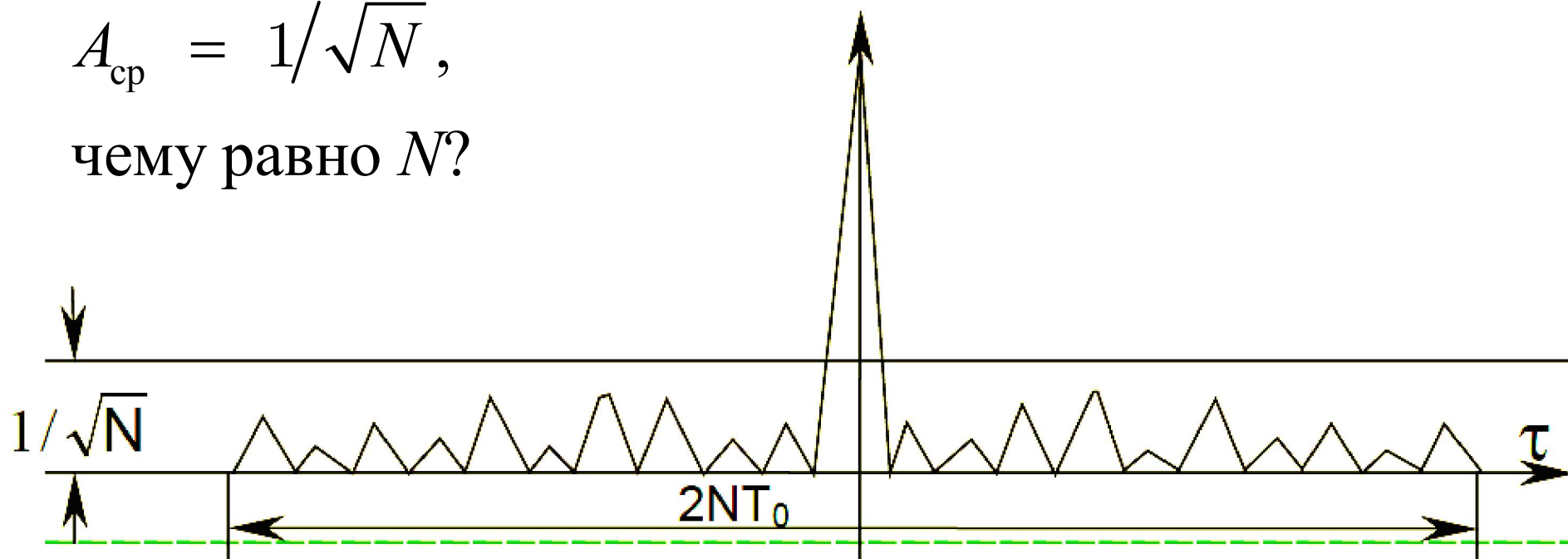


Корреляционные свойства $P(Y)$ кода

Уровень ВКФ и боковых лепестков АКФ:

$$A_{\text{ср}} = 1/\sqrt{N},$$

чему равно N ?



N определяется разумным временем накопления в корреляторе T . Для сравнения с С/А кодом зададим

$T = 1$ мс: $N=10230 \Rightarrow A_{\text{ср}} \approx 1/100 = -20$ дБ от пика АКФ

Навигационное сообщение в сигналах C/A и P(Y)

Информационная скорость: 50 бит/с

Устранение инверсного приема: код Хэмминга

Символьная синхронизация: нет → преамбула

Длина слова: 30 бит (24 + 6 КХ)

Контроль ошибок: код Хэмминга (6 бит в кажд. слове)

Длина строки (subframe): 6 с = 10 слов = 300 бит

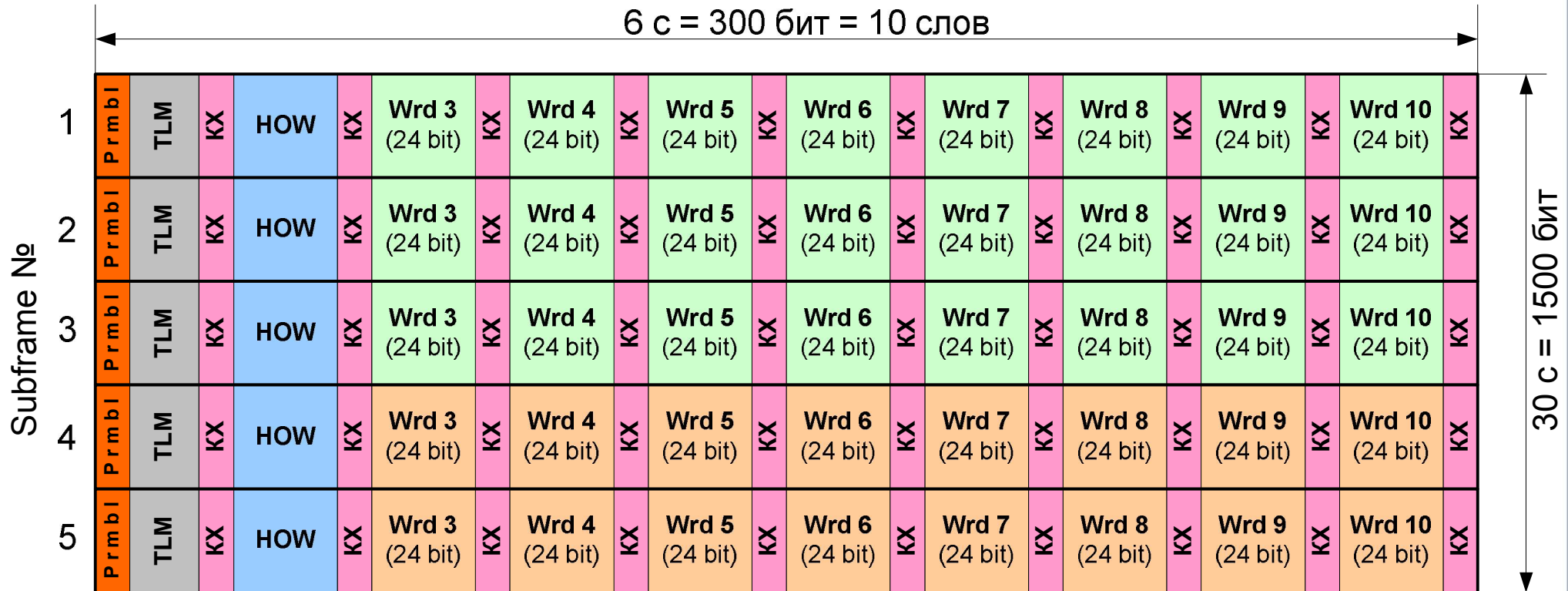
Строковая синхр-ция: преамбула 8 бит (0x8B)

Длина кадра (frame): 30 с = 5 строк (5 subframes)

Длина суперкадра: 12,5 мин = 25 кадров

Структура НС в сигналах С/А и Р(У)

6 с = 300 бит = 10 слов



← Препамбула 8 бит

← Код Хэмминга 6 бит

- Оперативная информация (+эффемериды)

- Неоперативная информация (+альманах)

Формат строк 1..3 фиксирован, а 4,5 – меняется внутри суперкадра.

Пример - структура 1-й строки в НС С/А и Р(У)

