

5. ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ И СОДЕРЖАНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ ДАННЫХ, ПЕРЕДАВАЕМЫХ СО СПУТНИКОВ GPS

5.1. Общая характеристика формата сообщения

Основное сообщение, передаваемое с каждого навигационного спутника GPS, формируется в виде кадра. Поток навигационных данных передается со скоростью 50 бит/сек. Длительность информационного символа «0» или «1» равна 20 мсек.

Кадр состоит из пяти подкадров. Подкадры с 1 по 3 содержат по 300 информационных символа. Триста информационных символа разделяются на 10 слов по 30 символов в слове.

Подкадры 4 и 5 содержат по 25 страниц. Каждая страница состоит из 300 информационных символов (или разрядов), которые также разделены на 10 слов по 30 символов в слове.

Таким образом, сформированный кадр всегда содержит 1, 2, 3 подкадры, одну страницу из подкадра 4 и одну страницу из подкадра 5.

Поскольку каждая строка или страница имеет объем 300 символов, длительность символа 20 мсек, то время передачи кадра из пяти подкадров составляет 30 сек, время передачи строки (страницы)- 6 сек, время передачи всего сообщения (25 кадров)- 12.5 мин. Период повторения подкадров 1-3 составляет 30 сек, периоды повторения страниц из подкадров 4 и 5 большее время, что обусловлено значимостью передаваемой информации.

Формат сообщений подкадров 1-3 и строк (страниц) подкадров 4, 5 изображен на рис.5. 1.

Всего 300 бит (старшие разряды слева, младшие справа)																			
Слово 1		Слово 2		Слово 3		Слово 4		Слово 5		Слово 6		Слово 7		Слово 8		Слово 9		Слово 10	
TLM	P	HOW	P		P		P		P		P		P		P		P		P
1-24	6	1-24	6	1-24	6	1-24	6	1-24	6	1-24	6	1-24	6	1-24	6	1-24	6	1-24	6
Разряды		Разряды		Разряды		Разряды		Разряды		Разряды		Разряды		Разряды		Разряды		Разряды	

Рис. 5.1.

Расположение информации, передаваемой с навигационного спутника GPS приведено на рис. 5.2.

Содержание кадра	Содержание подкадра		
	Подкадр 1	Слово TLM	Слово HOW
Подкадр 2	Слово TLM	Слово HOW	Информация об эфемеридах спутника
Подкадр 3	Слово TLM	Слово HOW	Информация об эфемеридах спутника
Подкадр 4 (25 страниц)	Слово TLM	Слово HOW	Альманах и состояние спутников с номерами 25-32, конфигурация спутников, признаки, данные ионосферы и всемирной шкалы времени (UTC), специальные сообщения, резервные разряды
Подкадр 5 (25 страниц)	Слово TLM	Слово HOW	Альманах и состояние спутников с номерами 1-24, опорное время, номер недели альманаха, резервные разряды

Рис. 5.2

В формате рис. 5.1 после каждого слова имеется 6 проверочных битов, занимающих разряды 25-30 каждого слова. Информация передается старшими разрядами вперед.

Слово. Каждое слово строки (страницы) подкадров 1-5 содержит 30 символов (разрядов). Шесть младших разрядов каждого слова имеют проверочные символы для контроля и проверки правильности передаваемой информации.

Строка (страница). Каждая строка (страница) подкадров 1-5 начинается со слов TLM (первое слово), HOW (второе слово).

Первое слово телеметрии (TLM) включает преамбулу (8 старших разрядов), телеметрическое сообщение для санкционированных потребителей, два резервных разряда и 6 младших разрядов для проверочных символов.

Второе слово передачи (ключ, HOW) содержит 19 младших разрядов 29-разрядного Z-отсчета (см. отдельный параграф), три разряда (20, 21, 22) для идентификатора (ID) подкадра, два разряда (23, 24) резервных и 6 разрядов проверочных символов.

Идентификатор (ID) для подкадров 1, 2, 3, 4, 5 принимает соответственно значения: 001, 010, 011, 100, 101.

5.2. Z-отсчет

Каждый навигационный спутник формирует 1.5- секундную эпоху (момент времени) для точного отсчета и привязки времени. Отсчет времени, установленный таким образом, называется Z- отсчетом.

Z- отсчет предоставляется потребителю в виде 29-разрядного двоичного числа. Десять старших разрядов (MSB) Z- отсчета являются двоичным представлением последовательного

номера текущей недели. Отсчет недель лежит в пределах от 0 до 1023. Нулевое состояние соответствует той неделе, которая начинается с 1.5-секундной эпохи в нулевой (приблизительно) временной точке всемирного времени (UTC). По окончании GPS- недели с номером 1023 номер недели сбрасывается в ноль (0). При этом потребитель при переходе от системного времени GPS к календарной дате предыдущие 1024 недели учитывает (прибавляет).

Неделя- это самая большая единица измерения времени в системе GPS. Неделя определена как 604800 секунд. Т.е. неделя= 7суток*24часа*60минут*60 секунд=604800секунд.

Нулевой отсчет времени GPS определен в полночь с 5 на 6 января 1980 года.

Девятнадцать следующих разрядов Z-отсчета, расположенных в слове 2 (HOW), определяются как количество 1.5-секундных интервалов отсчитанных от момента перехода «конец/начало» любой недели. Отсчет лежит в пределах от 0 до 403199. Число 403199 есть количество 1.5- секундных интервалов в неделе (в 604800 секундах).

В таблице на конкретных данных приводится объяснение Z-счета.

В течение недели передаваемая в 17 старших разрядах слова 2 информация в десятичном эквиваленте изменяется в диапазоне от 0 до 100799 с шагом 1, что соответствует 6 секундам т. е. продолжительности передачи информации 1 подкадра. Можно отметить, что за неделю каждый навигационный спутник транслирует потребителям 100800 подкадров (строк).

Начало каждого подкадра соответствует отсчету, указанному в 17 старших разрядах слова 2 переданных в предыдущем подкадре.

Таблица. Объяснение Z счета

Десятичный эквивалент Z-счета 1 шаг=1.5 сек	19 двоичных разрядов Z-счета (курсивом выделены 17 совпадающих старших разрядов)	17 старших двоичных разрядов Z-счета (передаются в подкадре I-1)	Десятичный эквивалент 17 старших разрядов Z-счета 1 шаг=6 сек	Подкадр
403160	<i>1100010011011011000</i>	<i>11000100110110110</i>	100790	I
403161	1100010011011011001			
403162	1100010011011011010			
403163	1100010011011011011			

Десятичный эквивалент Z-счета 1 шаг=1.5 сек	19 двоичных разрядов Z-счета (курсивом выделены 17 совпадающих старших разрядов)	17 старших двоичных разрядов Z-счета (передаются в подкадре I-1)	Десятичный эквивалент 17 старших разрядов Z-счета 1 шаг=6 сек	Подкадр
403164	<i>1100010011011011100</i>	<i>11000100110110111</i>	100791	I+1
403165	1100010011011011101			
403166	1100010011011011110			
403167	1100010011011011111			
403168	<i>1100010011011100000</i>	<i>11000100110111000</i>	100792	I+2
403169	1100010011011100001			
403170	1100010011011100010			
403171	1100010011011100011			
403172	<i>1100010011011100100</i>	<i>11000100110111001</i>	100793	I+3
403173	1100010011011100101			
403174	1100010011011100110			
403175	1100010011011100111			
403176	<i>1100010011011101000</i>	<i>11000100110111010</i>	100794	I+4
403177	1100010011011101001			
403178	1100010011011101010			
403179	1100010011011101011			
403180	<i>1100010011011101100</i>	<i>11000100110111011</i>	100795	I+5
403181	1100010011011101101			
403182	1100010011011101110			
403183	1100010011011101111			
403184	<i>1100010011011110000</i>	<i>11000100110111100</i>	100796	I+6
403185	1100010011011110001			
403186	1100010011011110010			
403187	1100010011011110011			
403188	<i>1100010011011110100</i>	<i>11000100110111101</i>	100797	I+7
403189	1100010011011110101			
403190	1100010011011110110			
403191	1100010011011110111			

Десятичный эквивалент Z-счета 1 шаг=1.5 сек	19 двоичных разрядов Z-счета (курсивом выделены 17 совпадающих старших разрядов)	17 старших двоичных разрядов Z-счета (передаются в подкадре I-1)	Десятичный эквивалент 17 старших разрядов Z-счета 1 шаг=6 сек	Подкадр
403192	<i>1100010011011111000</i>	<i>11000100110111110</i>	100798	I+8
403193	1100010011011111001			
403194	1100010011011111010			
403195	1100010011011111011			
403196	<i>1100010011011111100</i>	<i>11000100110111111</i>	100799	I+9

5.3. Содержание и расположение данных навигационных спутников

Содержание и расположение данных подкадра 1 приведено в таблице 5.1.

Таблица 5.1. . Информация подкадра 1

№	Расположение информации: слово, разряды	Символьное обозначение	Содержание информации
1	Слово 3 разряды: 1-10	WN	Номер текущей недели GPS в начале передачи данных. Десять старших разрядов содержат десять старших разрядов 29-ти разрядного Z-отсчета.
2	Слово 3 разряды: 11-12	C/A или P на L2	Включение C/A или P кода для частоты L2
3	Слово 3 разряды: 13-16	URA	Точность измерения дальности потребителем (15 градаций от 2 метров до 4096 метров, плюс 16 градация – "не использовать")
4	Слово 3 разряды: 17-22	SV HEALTH	Состояние спутника: старший разряд «0»- вся навигационная информация в норме; старший разряд «1»- часть навигационной информации недостоверная
5	Слово 3 разряды: 23-24 слово 8 разряды: 1-8	IODC	Идентификатор набора параметров времени. Значение передаваемого IODC отличается от любого другого значения IODC, передаваемого в течение предыдущих 7 дней. 8 младших разрядов IODC соответствуют 8 разрядам IODE подкадров 2 и 3
6	Слово 4 разряд 1	L2 P	Признак данных для P-кода на частоте L2.
7	Слово 7 разряды: 17-24	T _{GD}	Поправка для учета группового времени задерживания

№	Расположение информации: слово, разряды	Символьное обозначение	Содержание информации
8	Слово 8 разряды: 9-24	toc	Параметры коррекции бортовой шкалы времени
9	Слово 9 разряды: 1-8	a _{f2}	
10	Слово 9 разряды: 9-24	a _{f1}	
11	Слово 10 разряды: 1-22	a _{f0}	

Общая точность потребителя (URA)- статистический индикатор всего диапазона точностей, относящихся к специфике навигационного спутника. URA- это целое число от 0 до 15, при URA=15 прогноз по точности отсутствует и потребителю предлагается использовать данные на собственный риск (подробнее см. п. 6. 2. 1, 20. 3. 3. 3. 1. 5 ICD – GPS - 200) [1]. Еще одно определение URA- прогнозируемая точность определения дальности потребителем до навигационного спутника. Точностные параметры аппаратуры потребителя URA не учитываются.

Содержание и расположение эфемеридной информации GPS приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2. Эфемеридная информация GPS

№	Расположение информации: слово, разряды	Символьное обозначение	Содержание информации
Подкадр 2			
1	Слово 3, разряды: 1-8	IODE	Идентификатор набора данных эфемерид. Используется для идентификации подкадров 2 и 3 при обновлении содержащейся в них информации. Критерий обновления-несовпадение 8 младших разрядов IODC в подкадре 1 с IODE подкадров 2 и 3
2	Слово 3, разряды: 9-24	C _{rs}	Амплитуда синусной гармонической поправки к радиусу орбиты спутника
3	Слово 4, разряды: 1-16	Δn	Отличие среднего движения от расчетного значения
4	Слово 4, разряды: 17-24 Слово 5, разряды: 1-24	M ₀	Средняя аномалия на время привязки
5	Слово 6, разряды: 1-16	C _{uc}	Амплитуда косинусной гармонической поправки к аргументу широты
6	Слово 6, разряды: 17-24 Слово 7,	e	Эксцентриситет

№	Расположение информации: слово, разряды	Символьное обозначение	Содержание информации
	разряды: 1-24		
7	Слово 8, разряды: 1-16	C_{us}	Амплитуда синусной гармонической поправки к аргументу широты
8	Слово 8, разряды: 17-24 Слово 9, разряды: 1-24	\sqrt{A}	Корень квадратный из большой полуоси орбиты спутника
9	Слово 10, разряды: 1-16	t_{oe}	Опорное время привязки передаваемых эфемерид
	Слово 10, разряды: 18-22	AODO	Не эфемеридный параметр, характеризующий изменение срока службы данных
Подкадр 3			
10	Слово 3, разряды: 1-16	C_{ic}	Амплитуда косинусной гармонической поправки к углу наклона
11	Слово 3, разряды: 17-24 Слово 4, разряды: 1-24	Ω_0 (OMEGA) ₀	Долгота восходящего узла орбитальной плоскости на недельную эпоху
12	Слово 5, разряды: 1-16	C_{is}	Амплитуда синусной гармонической поправки к углу наклона
13	Слово 5, разряды: 17-24 Слово 5, разряды: 1-24	i_0	Угол наклона орбиты спутника наклонение орбиты спутника
14	Слово 7, разряды: 1-16	C_{rc}	Амплитуда косинусной гармонической поправки к радиусу орбиты спутника
15	Слово 7, разряды: 17-24 Слово 8, разряды: 1-24	ω	Аргумент перигея
16	Слово 9, разряды: 1-24	$\dot{\Omega}$ OMEGADOT	Скорость изменения прямого восхождения
17	Слово 10, разряды: 1-8	IODE	Смотрите №1
18	Слово 10, разряды: 9-22	IDOT	Скорость изменения угла наклона

Содержание и расположение информации альманаха GPS приведено в таблице 5.3.

Таблица 5.3. Информация по альманаху GPS

№	Расположение информации: слово, разряды	Символьное обозначение	Содержание информации
Подкадр 4, строки со 2 по 5 и с 7 по 10; подкадр 5, строки с1 по 24			
1	Слово 3, разряды: 9-24	e	Эксцентриситет (пониженная точность)
2	Слово 4, разряды: 1-8	t_{oa}	Опорное время привязки альманаха
3	Слово 4, разряды 9-24:	δ_i	Отклонение от номинального угла наклона орбиты спутника. За номинальный угол наклона принята величина равная ($i_0=0.3$ полуцикла)
4	Слово 5, разряды: 1-16	$\dot{\Omega}$ OMEGADOT	Скорость изменения прямого восхождения (пониженная точность)
5	Слово 6, разряды: 1-24	\sqrt{A}	Корень квадратный из большой полуоси орбиты спутника (пониженная точность)
6	Слово 7, разряды: 1-24	Ω_0 (OMEGA) ₀	Долгота восходящего узла орбитальной плоскости на недельную эпоху (пониженная точность)
7	Слово 8, разряды: 1-24	ω	Аргумент перигея (пониженная точность)
8	Слово 9, разряды: 1-24	M_0	Средняя аномалия на время привязки (пониженная точность)
9	Слово 10, разряды: 1-8, 20-22	a_{f0}	Коэффициент (постоянной составляющей) аппроксимации временных параметров альманаха
10	Слово 10, разряды: 9-19	a_{f1}	Коэффициент (первого порядка составляющей) аппроксимации временных параметров альманаха
Подкадр 5, строка 25			
11	Слово 3, разряды: 9-16	t_{oa}	Опорное время привязки альманаха в неделе с номером WN_a
12	Слово 3, разряды: 17-24	WN_a	Полный номер недели, к которой относится опорное время привязки альманаха (t_{oa})

Содержание и расположение информации для привязки системного времени GPS к UTC приведено в таблице 5.4.

Таблица 5.4. Информация по параметрам UTC для привязки системного времени GPS к UTC

№	Расположение информации: слово, разряды	Символьное обозначение	Содержание информации	Цена деления младшего разряда	Единицы измерений
Подкадр 4, строка 18					
1	Слово 6, разряды: 1-24	A_1	Коэффициенты при первом и нулевом членах аппроксимирующего полинома	2^{-50}	Секунда/секунда
2	Слово 7, разряды: 1-24 Слово 8, разряды: 1-8	A_0		2^{-30}	Секунда
3	Слово 8, разряды: 9-16	t_{ot}	Опорное время UTC	2^{12}	Секунда
4	Слово 8, разряды: 17-24	WN_t	Восемь младших разрядов текущей недели, указанной в подкадре 1 словом 3	1	Недели
5	Слово 9, разряды: 1-8	Δt_{LS}	Секундная коррекция	1	Секунда
6	Слово 9, разряды: 9-16	WN_{LSF}	Восемь младших разрядов недели, на которой планируется или проведена односекундная коррекция времени	1	Недели
7	Слово 9, разряды: 17-24	DN	День недели WN_{LSF} , в конце которого планируется или проведена односекундная коррекция времени	1	Сутки
8	Слово 10, разряды: 1-8	Δt_{LSF}	Значение поправки, обусловленное скачками секунд	1	Секунда

Содержание и расположение информации для ионосферной коррекции GPS приведено в таблице 5.5.

Таблица 5.5. Информация по параметрам для ионосферной коррекции

№	Расположение информации: слово, разряды	Символьное обозначение	Содержание информации	Цена деления младшего разряда	Единицы измерений
Подкадр 4, строка 18					
1	Слово 3 разряды: 9-16	α_0	Коэффициенты позволяют потребителю применить модель ионосферы для расчета ионосферной задержки. У всех коэффициентов старший разряд является знаковым (+ или -)	2^{-30}	Секунда/ полуцикл
2	Слово 3 разряды: 17-24	α_1		2^{-27}	Секунда/ полуцикл
3	Слово 4, разряды: 1-8	α_2		2^{-24}	Секунда/ (полуцикл) ²
4	Слово 4, разряды: 9-16	α_3		2^{-24}	Секунда/ (полуцикл) ³
5	Слово 4, разряды: 17-24	β_0		2^{11}	Секунда
6	Слово 5, разряды: 1-8	β_1		2^{14}	Секунда/ полуцикл
7	Слово 5, разряды: 9-16	β_2		2^{16}	Секунда/ (полуцикл) ²
8	Слово 5, разряды: 17-24	β_3		2^{16}	Секунда/ (полуцикл) ³

Количественные параметры передаваемых данных и размерность даны в таблице 5.6

Таблица 5.6

№	Параметр	Число разрядов	Цена деления младшего разряда	Диапазон значений	Размерность	Примечание
1	WN	10	1	Весь	недели	
2	C/A or P on L2					
3	URA	4		Весь		
4	SV HEALTH	6	1	Весь	дискретны	
5	IODC	10		Весь		
6	L2 P			Весь		
7	T _{GD}	8	2^{-31}		секунды	Знак в MSB
8	t _{oc}	16	2^4	604784	секунды	
9	a _{f2}	8	2^{-55}		с/с ²	Знак в MSB
10	a _{f1}	16	2^{-43}		с/с	Знак в MSB
11	a _{f0}	22	2^{-31}		секунды	Знак в MSB
12	IODE	8				
13	C _{rs}	16	2^{-5}		метр	Знак в MSB
14	Δn	16	2^{-43}		полуцикл/с	Знак в MSB
15	M ₀	32	2^{-31}		полуцикл	Знак в MSB

№	Параметр	Число разрядов	Цена деления младшего разряда	Диапазон значений	Размерность	Примечание
16	C_{uc}	16	2^{-29}		радиан	Знак в MSB
17	e	32	2^{-33}	0.03		безразмерная
18	C_{us}	16	2^{-29}		радиан	Знак в MSB
19	\sqrt{A}	32	2^{-19}	Весь		метр ^{1/2}
20	t_{oe}	16	2^4	604784	секунда	
21	C_{ic}	16	2^{-29}		радиан	Знак в MSB
22	Ω_0 (OMEGA) ₀	32	2^{-31}		полуцикл	Знак в MSB
23	C_{is}	16	2^{-29}		радиан	Знак в MSB
24	i_0	32	2^{-31}		полуцикл	Знак в MSB
25	C_{rc}	16	2^{-5}		метр	Знак в MSB
26	ω	32	2^{-31}		полуцикл	Знак в MSB
27	Ω OMEGADOT	24	2^{-43}		полуцикл/с	Знак в MSB
28	IDOT	14	2^{-43}		полуцикл/с	Знак в MSB
Альманах						
29	e	16	2^{-21}	Весь		безразмерная
30	t_{oa}	8	2^{12}	602112	секунда	
31	δ_i	16	2^{-19}		полуцикл	Знак в MSB
32	Ω OMEGADOT	16	2^{-38}		полуцикл/с	Знак в MSB
33	\sqrt{A}	24	2^{-11}	Весь	метр ^{1/2}	
34	Ω_0 (OMEGA) ₀	24	2^{-23}		полуцикл	Знак в MSB
35	ω	24	2^{-23}		полуцикл	Знак в MSB
36	M_0	24	2^{-23}		полуцикл	Знак в MSB
37	a_{f0}	11	2^{-20}		секунда	Знак в MSB
38	a_{f1}	11	2^{-38}		секунда/ секунда	Знак в MSB

Информация для других параметров приведена в таблице 5.4 и таблице 5.5

Исчерпывающая информация по неуказанным составляющим данных, передаваемых с навигационных спутников GPS приведена в ICD – GPS – 200 [1].

