

УДК 621.398

Анализ результатов космического эксперимента по передаче расширенного альманаха в ЦИ КА ГЛОНАСС

Н. Б. Ипкаев

ОАО «Российские космические системы»

e-mail: nikasic@bk.ru

Аннотация. В статье речь идет о результатах космического эксперимента, прошедшего с 15 по 18 февраля 2014 г. Основной задачей космического эксперимента была практическая отработка возможности передачи расширенного альманаха ГЛОНАСС для космических аппаратов с системными номерами более 24. С этой целью в ОАО «Российские космические системы» был разработан макет НАП станции сбора измерений СДКМ и специальное программное обеспечение контроля навигационных данных (СПО КОНД). Результаты космического эксперимента показали практическую реализуемость передачи расширенного альманаха ГЛОНАСС при существующей структуре кадра навигационного сообщения.

Ключевые слова: космический эксперимент, ГЛОНАСС, СДКМ, расширенный альманах, новые технологии

Analysis of Results of Space Experiment on Transmission of Expanded Almanac in Digital Information of GLONASS Satellites

N. B. Ipkayev

Joint Stock Company "Russian Space Systems"

e-mail: nikasic@bk.ru

Abstract. In article tells results of the space experiment which took place during the period from February 15 to 18, 2014. Practical working off of possibility of transmission of the expanded almanac GLONASS for spacecrafts with system numbers more than 24 was a main objective of space experiment. For this purpose in JSC «Russian Space Systems» the prototype of station of measurements of collection of SDCM and the special software of monitoring of navigation data (software MND) was developed. Results of space experiment showed practical implementability of transmission of the expanded almanac of GLOANSS in case of the existing frame structure of the navigation message.

Key words: space experiment, GLONASS, SDCM, expanded almanac, new technologies

Введение

Для обеспечения конкурентоспособных тактико-технических характеристик (ТТХ) ГЛОНАСС архитектура системы и ее составные части в дальнейшей перспективе должны сбалансированно развиваться на высоком конкурентоспособном уровне с учетом перспективных требований потребителей и мировых тенденций в развитии технологий спутниковой навигации. В связи с этим модернизированная орбитальная группировка системы с увеличенным составом навигационных космических аппаратов (НКА) на средневысотных орбитах будет способствовать повышению доступности, точности и устойчивости навигации потребителей системы ГЛОНАСС.

Увеличить количество НКА в составе опорной группировки (ОГ) ГЛОНАСС возможно следующими способами:

- запуск новых НКА на средневысотные орбиты;
- расширения состава группировки за счет существующих резервных НКА.

Первый способ увеличения состава ОГ повлечет большие денежные затраты, а также изменение существующего расположения НКА по орбитальным плоскостям, что повлияет на сокращение ресурса действующих НКА. Второй способ увеличения состава группировки не требует значительных денежных затрат и изменения существующего расположения НКА в орбитальных плоскостях. По данным сайта «Российская система дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ)» на данный момент в составе ОГ ГЛОНАСС находится 28 НКА (рис. 1).

Из рисунка следует, что уже можно расширить состав ОГ ГЛОНАСС как минимум на 1 НКА и при этом это никак не повлияет на срок службы НКА и на существующий парк ранее разработанных навигационных приемников.

Для быстрого вхождения в связь навигационному приемнику необходимо знать грубые координаты НКА, которые вычисляются по данным неоперативной информации (альманах), передаваемой в суперкадре навигационного сообщения. Существующий суперкадр позволяет передать альманах на 24 НКА. Поэтому в ОАО «Российские кос-

мические системы» была разработана новая редакция интерфейсного контрольного документа (ИКД) с изменениями в структуре суперкадра навигационного сообщения, связанными с появлением дополнительных альманахов НКА с номерами более 24. С целью приема расширенного альманаха и сравнения принятой информации с заложенными данными на борт НКА был разработан макет станции сбора измерений СДКМ и специальное программное обеспечение контроля навигационных данных.

С 15 по 18 февраля 2014 г. был проведен космический эксперимент, целью которого стала практическая отработка возможности передачи альманаха ГЛОНАСС для КА с системными номерами более 24.

Результаты космического эксперимента показали практическую реализуемость передачи расширенного альманаха ГЛОНАСС при существующей структуре кадра навигационного сообщения.

Подготовительный этап космического эксперимента

Навигационное сообщение всегда передается в виде последовательности символов цифровой информации (ЦИ), закодированной кодом Хемминга и преобразованной в относительный код. Поток ЦИ формируется в виде непрерывно повторяющихся суперкадров. Суперкадр состоит из нескольких кадров. Кадр состоит из нескольких строк.

Суперкадр навигационного радиосигнала СТ ГЛОНАСС имеет длительность 2,5 мин и состоит из 5 кадров длительностью 30 с. Каждый кадр состоит из 15 строк длительностью 2 с.

В каждом кадре суперкадра информация, содержащаяся в строках с первой по четвертую, относится к тому НКА, с которого она поступает (оперативная информация). Эта информация в пределах суперкадра не меняется. Строки с 6-й по 15-ю каждого кадра (за исключением 14-й и 15-й строк 5-го кадра) заняты неоперативной информацией (альманахами) для НКА с номерами от 1 до 24: для пяти НКА в кадрах с 1-го по 4-й и для четырех НКА в 5-м кадре. Неоперативная информация (альманах) для каждого НКА с номером

Дата: 09-04-2015
 Время: 14:45:00
 КА в составе орбитальной группировки: 28
 КА в системе: 24
 КА в резерве: 1 (КА 714)
 КА на исследовании: 1 (КА 725)
 КА на испытании: 2 (ст26 (КА 701), ст27 (КА 702))

Рис. 1. Состав ОГ по данным сайта СДКМ

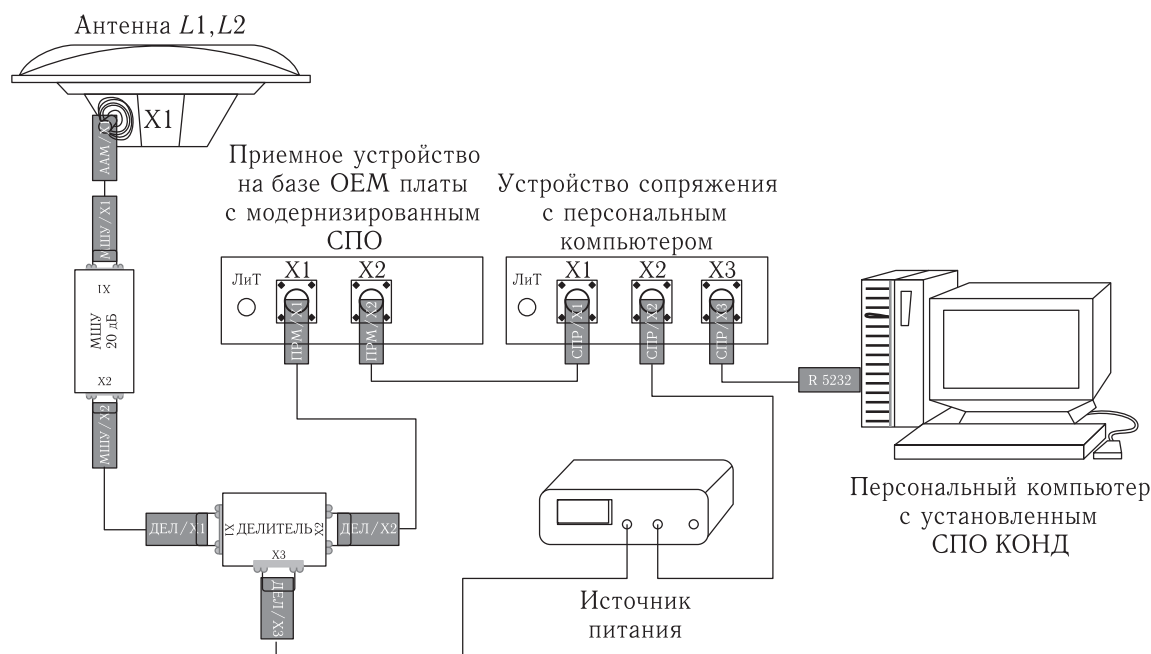


Рис. 2. Схема макета НАП станции сбора измерений

от 1 до 24 занимает две строки. Информация 5-й строки в кадре повторяется в каждом кадре суперкадра.

В новой редакции ИКД ГЛОНАСС дополнительно в 4-м и 5-м кадре суперкадра в четвертой строке передается часть альманаха одного из шести НКА с номерами, лежащим в диапазоне от 25 до 30. Номера этих НКА в последовательных суперкадрах могут идти в произвольном порядке и определяются только значением n^A . НКА «Глонасс-М» могут передавать в последовательных суперкадрах альманах одного и того же НКА с номером от 25 по 30 в течение 30 мин.

Для того чтобы проведение космического эксперимента не повлияло на аппаратуру существующего парка НАП в сигналах НКА, передающих расширенный альманах, был предусмотрен признак

«неисправность» в оперативной и неоперативной информации.

Разработанный макет НАП станции сбора измерений СДКМ состоит из:

- навигационной антенны частотных диапазонов $L1, L2$;
- приемного устройства с модернизированным программным обеспечением;
- устройства сопряжения с персональным компьютером;
- персонального компьютера с разработанным программным обеспечением СПО КОНД;
- комплекта кабелей;
- малошумящего усилителя;
- делителя переменного и постоянного сигнала;
- источника питания.

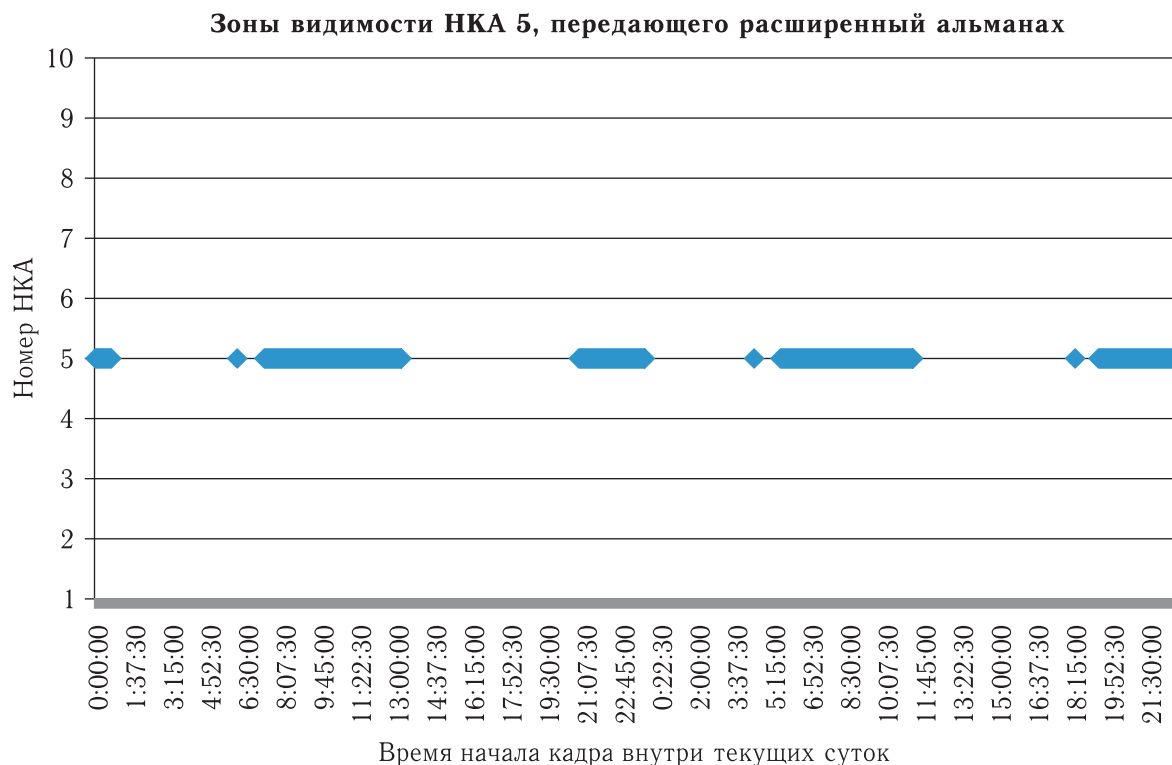


Рис. 3. Временная диаграмма считывания расширенного альманаха

Структурная схема макета НАП станции сбора измерений представлена на рис. 2.

Модернизированное программное обеспечение приемного устройства решало задачи приема сигналов навигационных космических аппаратов ГЛОНАСС со следующими характеристиками:

- 1) номера НКА больше 24;
- 2) частотные литеры находятся в пределах от -7 до $+7$;
- 3) альманах является модернизированным и содержит в дополнительных разрядах альманахи от одного до шести НКА.

СПО КОНД выполняет следующие задачи:

- прием и обработку битового потока навигационной информации с НКА (с модернизированной структурой суперкадра);
- выделение уточненного альманаха из битового потока;
- хранение информации об альманахе 30 НКА;
- решение (в апостериорном режиме) навигационной задачи для заданного набора НКА

с использованием уточненного альманаха в сигналах НКА;

- расшифровку информации резервных разрядов, формирование временной циклограммы их считывания, формирование полного массива альманаха с учетом альманахов дополнительных НКА;
- формирование файла, содержащего уточненный альманах, для сравнения с уточненным альманахом, заложенным на борт НКА.

Космический эксперимент проходил в два этапа. На первом этапе на борт НКА с системным номером 5 была произведена закладка альманаха НКА с системным номером 26 и обеспечена передача в течение 2 сут (4 витка) с момента закладки. На втором этапе в течение двух последовательных витков по каждому НКА была произведена закладка альманаха на борту шести НКА ГЛОНАСС, где в качестве расширения альманаха системы использовались данные НКА с системными номерами с 25 по 30.

Таблица 1. Результаты первого этапа космического эксперимента по сигналам СТ системы ГЛОНАСС

Исходные данные формирования суперкадра	Данные, полученные на макете станции сбора измерений СДКМ
C_n^A — обобщенный признак состояния КА	
1	1
M_n^A — признак модификации КА 00-Глонасс 01-Глонасс-М 0–3	
01	1
n^A — условный номер КА в системе 25–30	
26	26
H_n^A — номер частотной литеры	
27	27
τ_n^A — сдвиг шкалы времени $\pm 1,9 \cdot 10^{-3}$	
0,0003200872	0,0003204345703125
Δi_n^A — поправка к среднему значению наклона орбиты $\pm 0,067$	
0,01074123	0,0107412338256836
ε_n^A — эксцентриситет орбиты спутника	
0,0004816055	0,000481605529785156
ω_n^A — аргумент перигея 0–0,03	
–0,6976929	–0,69769287109375
λ_n^A — долгота ± 1	
–0,4478836	–0,447883605957031
$t_{\lambda n}^A$ — время прохождения первого восходящего узла 0–44 100	
20 758,375000	20 758,375
ΔT_n^A — поправка к драконическому периоду $\pm 3,6 \cdot 10^3$	
–2657,992188	–2657,9921875
$\Delta \Delta T_n^A$ — скорость изменения драконического периода $\pm 2^{-8}$	
0,0005493164	0,00054931640625

Далее рассмотрим результаты работы макета НАП станции сбора измерений СДКМ на протяжении всего космического эксперимента.

Результаты первого этапа космического эксперимента

В результате работы макета НАП станции сбора измерений СДКМ с 15 по 16 февраля 2014 г. на

НКА ГЛОНАСС с системным номером 5 и частотной литерой 1 с помощью программы СПО КОНД была зафиксирована ЦИ в резервных разрядах суперкадра, содержащая данные альманаха для НКА с системным номером 26 и номером частотной литеры 27.

Временная диаграмма считывания расширенного альманаха представлена на рис. 3.

Результаты работы СПО КОНД даны на рис. 4 (желтым цветом указаны резервные разряды).

Главное окно программы

СПО контроля и обработки навигационных данных (СПО КОНД)

Соединение Вид

Запустить Номер кадра 5
Номер строки 4

Текущее время Длительность работы Номер спутника
21:44:55 День 00 Время 12:22:45 5

Все Спутники ГЛОНАСС № 5 Навигационное решение

SI	EL	AZ	EC	E1	E2	E3	
GLN	24	50	114	53	53	46	48
GLN	23	73	25	53	53	47	49
GLN	6	16	3	50	49	41	42
GLN	14	65	149	47	46	42	43
GLN	7	13	28	50	49	40	41
GLN	22	17	24	48	47	42	43
GLN	15	15	163	46	46	39	41
GLN	13	50	86	49	48	46	48

Количество спутников 8

Геодезические проекции

Широта N55 deg 44 min 45.508
Долгота E37 deg 43 min 22.201
Высота 196.840283579842 м

Путь сохранения файла данных

Результат распаковки
прочей информации

Прочая
неоперативная информация
ГЛОНАСС № 5

τ_c	-1.80676579475403E-7
N_4	5
τ_{GPS}	-4.13507223129272E-7
N^A	777
B1	-0.1416015625
B2	-0.00103759765625
KP	0
UTC-TAI	0

Результат распаковки альманаха

Альманах системы ГЛОНАСС

Альманах ГЛОНАСС № 5

P_n^A	H_n^A	λ_n^A	$t_{\lambda_n}^A$	ΔI_n^A	ΔT_n^A	ΔT_n^A	ϵ_n^A	ω_n^A	M_n^A	τ_n^A	C_n^A
18	-3	-0.168620109558105	8792.875	0.0108556747436523	-2656.306640625	0.0006103515625	0.0023040771484375	-0.14691162109375	1	9.918212890625E-5	0
19	3	-0.306632041931152	14870.40625	0.011317253112793	-2656.5859375	0.0008544921875	0.000165939331054688	-0.5433349609375	1	8.392333984375E-5	1
20	2	-0.421968460083008	19851.25	0.0113859176635742	-2656.44140625	0.00054931640625	0.00123023986816406	-0.091217041015625	1	9.1552734375E-5	1
21	4	-0.529991149902344	24372.8125	0.010899543762207	-2655.912109375	0.0006103515625	0.00188922882080078	-0.986724853515625	1	4.9591064453125E-5	1
22	-3	-0.642791748046875	29174.8125	0.010772705078125	-2656.08203125	0.00054931640625	0.00299930572509766	-0.025848388671875	1	0.000110626220703125	1
23	3	-0.764347076416016	34405.53125	0.010676383972168	-2656.021484375	0.0006103515625	8.29696655273438E-5	0.597869873046875	1	0.0005950927734375	1
24	2	-0.877265930175781	39272.8125	0.0107307434082031	-2656.09765625	0.000732421875	0.000632286071777344	0.446014404296875	1	0.0001068115234375	1
26	27	-0.447883605957031	20758.375	0.0107412338256836	-2657.9921875	0.00054931640625	0.000481605529785156	-0.69769287109375	1	0.0003204345703125	1

Рис. 4. Результаты работы программы СПО КОНД

На протяжении всего времени приема ЦИ в резервных разрядах не изменялась. В ходе работы программы СПО КОД также был полученны файлы распаковки, содержащие численные значения в резервных разрядах. Значения полученных данных на макете станции сбора измерений СДКМ и исходные данные формирования СТ кадра с расширенным альманахом представлены в табл. 1.

Результаты второго этапа
космического эксперимента

В результате работы макета НАП станции сбора измерений СДКМ с 17 по 18 февраля 2014 г. на следующих 6 НКА ГЛОНАСС:

- с системным номером 1 и частотной литерой 1;
- с системным номером 23 и частотной литерой 3;



Рис. 5. Временная диаграмма считывания расширенного альманаха 6 НКА

- с системным номером 5 и частотной литерой 1;
- с системным номером 24 и частотной литерой 3;
- с системным номером 9 и частотной литерой –2;
- с системным номером 16 и частотной литерой –1

с помощью программы СПО КОНД была зафиксирована ЦИ в резервных разрядах суперкадра, содержащая данные расширенного альманаха для следующих 6 НКА:

- с системным номером 25 и номером частотной литеры 28;
- с системным номером 26 и номером частотной литеры 27;
- с системным номером 27 и номером частотной литеры 28;
- с системным номером 28 и номером частотной литеры 25;
- с системным номером 29 и номером частотной литеры 0;

- с системным номером 30 и номером частотной литеры 29.

Временная диаграмма считывания расширенного альманаха представлена на рис. 5. Результаты работы СПО КОНД при одновременном захвате 3 НКА представлены на рис. 6, 7 (желтым цветом указаны резервные разряды).

На протяжении всего времени приема ЦИ в резервных разрядах каждый НКА последовательно передавал альманах для НКА с номерами 25–30. Сам альманах по каждому из дополнительных НКА оставался неизменным в течение всего времени приема. Временная диаграмма приема альманахов для НКА 25–30 от 1 НКА представлена на рис. 8.

В ходе работы программы СПО КОД были получены файлы распаковки, содержащие численные значения в резервных разрядах. Значения полученных данных на макете станции сбора измерений СДКМ и исходные данные формирования СТ-кадра с расширенным альманахом представлены в табл. 2 на примере 30 НКА.

Альманах системы ГЛОНАСС

Альманах ГЛОНАСС № 1

Π_n^A	H_n^A	λ_n^A	$t_{\lambda_n}^A$	ΔI_n^A	ΔT_n^A	$\dot{\Delta T}_n^A$	ε_n^A	ω_n^A	M_n^A	τ_n^A	C_n^A
18	-3	-0.874485969543457	38711.78125	0.0108270645141602	-2656.296875	0.0003662109375	0.00230503082275391	-0.14727783203125	1	9.918212890625E-5	0
19	3	-0.0712985992431641	4244.46875	0.0112953186035156	-2656.59375	0.0009765625	0.000168800354003906	-0.53369140625	1	8.392333984375E-5	1
20	2	-0.186647415161133	9225.84375	0.0113639831542969	-2656.44921875	0.00067138671875	0.00123786926269531	-0.09185791015625	1	9.1552734375E-5	1
21	4	-0.294719696044922	13749.5	0.0108766555786133	-2655.908203125	0.00048828125	0.00188350677490234	-0.98565673828125	1	4.9591064453125E-5	1
22	-3	-0.407504081726074	18550.75	0.0107498168945313	-2656.07421875	0.0003662109375	0.00300216674804688	-0.026611328125	1	0.00011062622070312	1
23	3	-0.529064178466797	23781.6875	0.0106544494628906	-2656.009765625	0.0003662109375	7.72476196289063E-5	0.618255615234375	1	0.00059890747070312	1
24	2	-0.641976356506348	28648.65625	0.0107088088989258	-2656.0859375	0.00042724609375	0.0006256103515625	0.44866943359375	1	0.0001068115234375	1
26	27	-0.212421417236328	10126.75	0.0107192993164063	-2657.99609375	0.0006103515625	0.00048065185546875	-0.6934814453125	1	0.0003204345703125	1

Альманах системы ГЛОНАСС

Альманах ГЛОНАСС № 9

Π_n^A	H_n^A	λ_n^A	$t_{\lambda_n}^A$	ΔI_n^A	ΔT_n^A	$\dot{\Delta T}_n^A$	ε_n^A	ω_n^A	M_n^A	τ_n^A	C_n^A
18	-3	-0.874485969543457	38711.78125	0.0108270645141602	-2656.296875	0.0003662109375	0.00230503082275391	-0.14727783203125	1	9.918212890625E-5	0
19	3	-0.0712985992431641	4244.46875	0.0112953186035156	-2656.59375	0.0009765625	0.000168800354003906	-0.53369140625	1	8.392333984375E-5	1
20	2	-0.186647415161133	9225.84375	0.0113639831542969	-2656.44921875	0.00067138671875	0.00123786926269531	-0.09185791015625	1	9.1552734375E-5	1
21	4	-0.294719696044922	13749.5	0.0108766555786133	-2655.908203125	0.00048828125	0.00188350677490234	-0.98565673828125	1	4.9591064453125E-5	1
22	-3	-0.407504081726074	18550.75	0.0107498168945313	-2656.07421875	0.0003662109375	0.00300216674804688	-0.026611328125	1	0.00011062622070312	1
23	3	-0.529064178466797	23781.6875	0.0106544494628906	-2656.009765625	0.0003662109375	7.72476196289063E-5	0.618255615234375	1	0.00059890747070312	1
24	2	-0.641976356506348	28648.65625	0.0107088088989258	-2656.0859375	0.00042724609375	0.0006256103515625	0.44866943359375	1	0.0001068115234375	1
26	27	-0.212421417236328	10126.75	0.0107192993164063	-2657.99609375	0.0006103515625	0.00048065185546875	-0.6934814453125	1	0.0003204345703125	1

Альманах системы ГЛОНАСС

Альманах ГЛОНАСС № 23

Π_n^A	H_n^A	λ_n^A	$t_{\lambda_n}^A$	ΔI_n^A	ΔT_n^A	$\dot{\Delta T}_n^A$	ε_n^A	ω_n^A	M_n^A	τ_n^A	C_n^A
18	-3	-0.874485969543457	38711.78125	0.0108270645141602	-2656.296875	0.0003662109375	0.00230503082275391	-0.14727783203125	1	9.918212890625E-5	0
19	3	-0.0712985992431641	4244.46875	0.0112953186035156	-2656.59375	0.0009765625	0.000168800354003906	-0.53369140625	1	8.392333984375E-5	1
20	2	-0.186647415161133	9225.84375	0.0113639831542969	-2656.44921875	0.00067138671875	0.00123786926269531	-0.09185791015625	1	9.1552734375E-5	1
21	4	-0.294719696044922	13749.5	0.0108766555786133	-2655.908203125	0.00048828125	0.00188350677490234	-0.98565673828125	1	4.9591064453125E-5	1
22	-3	-0.407504081726074	18550.75	0.0107498168945313	-2656.07421875	0.0003662109375	0.00300216674804688	-0.026611328125	1	0.00011062622070312	1
23	3	-0.529064178466797	23781.6875	0.0106544494628906	-2656.009765625	0.0003662109375	7.72476196289063E-5	0.618255615234375	1	0.00059890747070312	1
24	2	-0.641976356506348	28648.65625	0.0107088088989258	-2656.0859375	0.00042724609375	0.0006256103515625	0.44866943359375	1	0.0001068115234375	1
26	27	-0.212421417236328	10126.75	0.0107192993164063	-2657.99609375	0.0006103515625	0.00048065185546875	-0.6934814453125	1	0.0003204345703125	1

Рис. 6. Прием альманаха от НКА ГЛОНАСС с системными номерами 1, 9, 23

The figure displays three screenshots of a software application titled "Прочая неоперативная информация" (Other non-operational information). Each screenshot shows a table of parameters for a specific GLONASS satellite.

Сателлит № 1:

Прочая неоперативная информация ГЛОНАСС № 1	
τ_c	-1.84401869773865E-7
N_4	5
τ_{GPS}	-4.16301190853119E-7
N^A	779
B1	-0.14453125
B2	-0.0012359619140625
KP	0
UTC-TAI	0

Сателлит № 9:

Прочая неоперативная информация ГЛОНАСС № 9	
τ_c	-1.84401869773865E-7
N_4	5
τ_{GPS}	-4.16301190853119E-7
N^A	779
B1	-0.14453125
B2	-0.0012359619140625
KP	0
UTC-TAI	0

Сателлит № 23:

Прочая неоперативная информация ГЛОНАСС № 23	
τ_c	-1.84401869773865E-7
N_4	5
τ_{GPS}	-4.20026481151581E-7
N^A	779
B1	-0.14453125
B2	-0.001251220703125
KP	0
UTC-TAI	0

Рис. 7. Прием прочей неоперативной информации от НКА ГЛОНАСС с системными номерами 1, 9, 23

Таблица 2. Результаты второго этапа космического эксперимента по сигналам СТ системы ГЛОНАСС для расширенного альманаха 30 НКА

Исходные данные формирования суперкадра	Данные, полученные на макете станции сбора измерений СДКМ
C_n^A — обобщенный признак состояния КА	
0	0
M_n^A — признак модификации КА 00-Глонасс 01-Глонасс-М 0–3	
01	1
n^A — условный номер КА в системе 25–30	
30	30
H_n^A — номер частотный литеры	
29	29
τ_n^A — сдвиг шкалы времени $\pm 1,9 \cdot 10^{-3}$	
0,000110626	0,000110626220703125
Δi_n^A — поправка к среднему значению наклона орбиты $\pm 0,067$	
0,01074982	0,0107498168945313
ε_n^A — эксцентриситет орбиты спутника	
0,003002167	0,00300216674804688
ω_n^A — аргумент перигея 0–0,03	
–0,02664185	–0,026641845703125
λ_n^A — долгота ± 1	
–0,4075041	–0,407504081726074
$t_{\lambda n}^A$ — время прохождения первого восходящего узла 0–44 100	
18 550,750000	18 550,75
ΔT_n^A — поправка к драконическому периоду $\pm 3,6 \cdot 10^3$	
–2656,074219	–2656,07421875
$\Delta \Delta T_n^A$ — скорость изменения драконического периода $\pm 2^{-8}$	
0,0003662109	0,0003662109375

Обсуждение полученных результатов

На основании полученных результатов можно сделать выводы, что макет НАП станции сбора измерений СДКМ в результате экспериментальной отработки осуществлял прием сигналов с модернизированной структурой суперкадра, выделял уточненный альманах из суперкадра.

Наличие признака «неисправность» в оперативной и неоперативной информации не влияет на парк ранее разработанных НАП и позволяет вновь разрабатываемым НАП принимать расширенный альманах и использовать измерения от НКА с системными номерами более 24.

Различие исходных данных формирования суперкадра и полученных макетом НАП станции сбора измерений СДКМ (табл. 1, 2) в числах, где

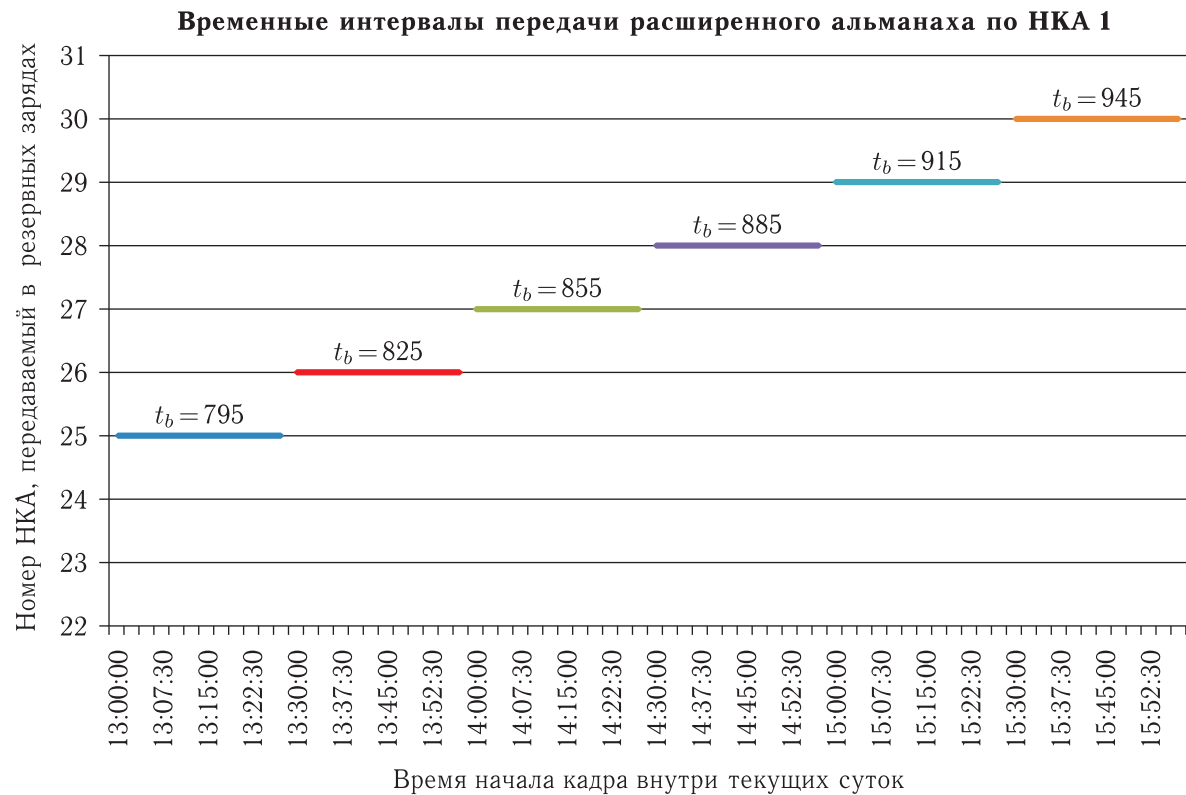


Рис. 8. Временная диаграмма считывания расширенного альманаха от НКА 1

нужно передать несколько цифр после запятой, связано с ограничениями разрядной сетки суперкадра.

Для передачи альманаха на несколько НКА (рис. 8) необходимо по прошествии времени t_b менять состав неоперативной информации суперкадра, так как в существующем суперкадре возможно

передать данные расширенного альманаха только на один НКА.

В ходе космического эксперимента также было показано, что изменения в математике НКА и системе закладки данных не повлияли на их работу и на точностные характеристики всей системы ГЛОНАСС в целом.