

ПРИЛОЖЕНИЕ А

О работе глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в ходе выполнения летных исследований информационно-посадочной системы на базе летающей лаборатории Cessna-182

Район аэродрома «Мячково», Раменский городской округ,
Московская область, 24 апреля 2024 года

При проведении экспериментов отмечено снижение мощности сигналов ГНСС вплоть до полного пропадания в большей части района проведения исследований. Отмечена взаимосвязь сбоев навигационного решения ГНСС с набором высоты 180-200 м над землей при вылете с аэродрома (рис. А.1). Далее в тексте используются нередактируемые данные специального геодезического программного обеспечения.

1. Взлет

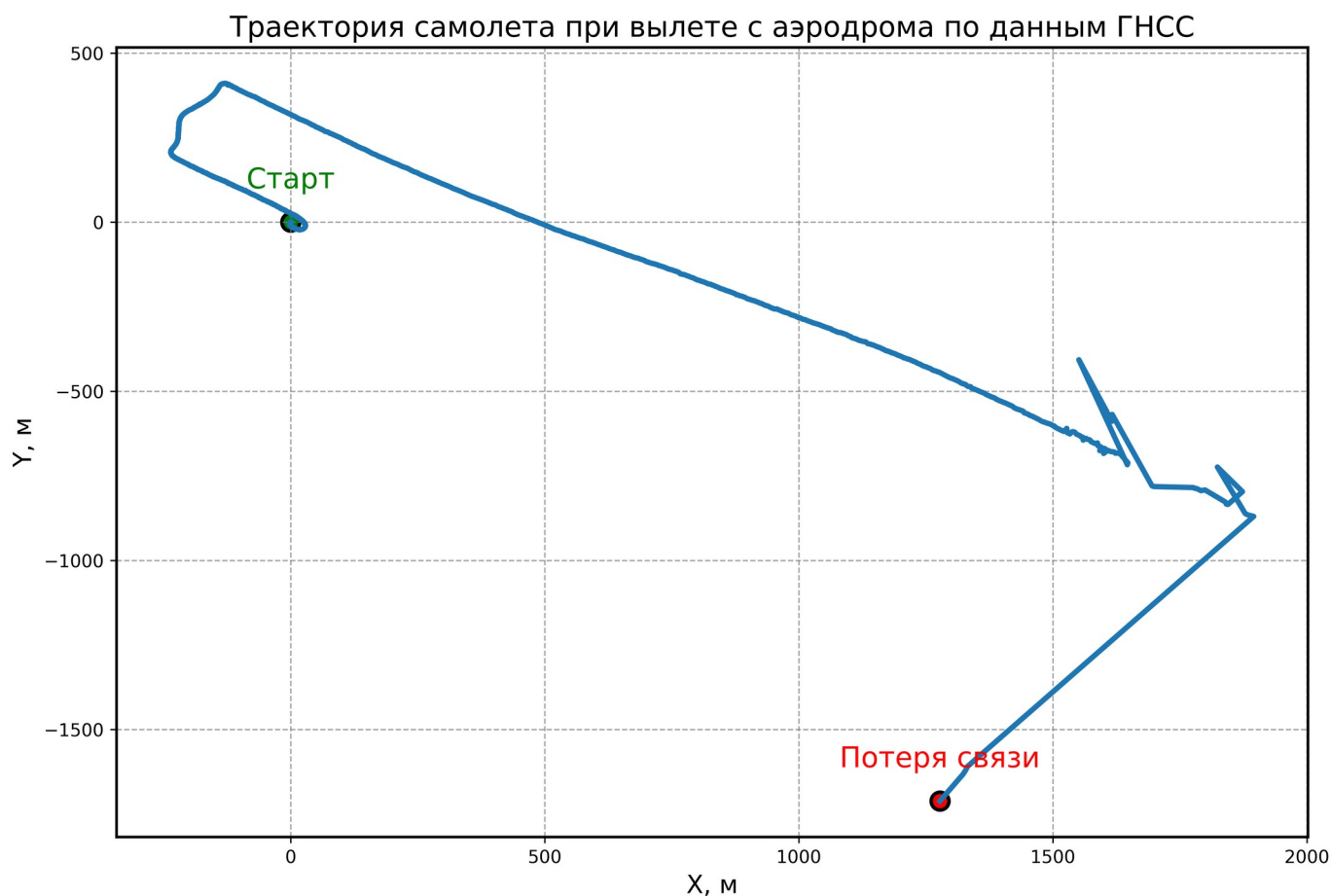


Рисунок А.1 – Траектория самолета при вылете с аэродрома по данным ГНСС

В ходе полета по мере набора высоты (рис. А.2) снижалось количество спутников (GPS и ГЛОНАСС), сигналы которых доступны для получения навигационного решения (рис. А.3).

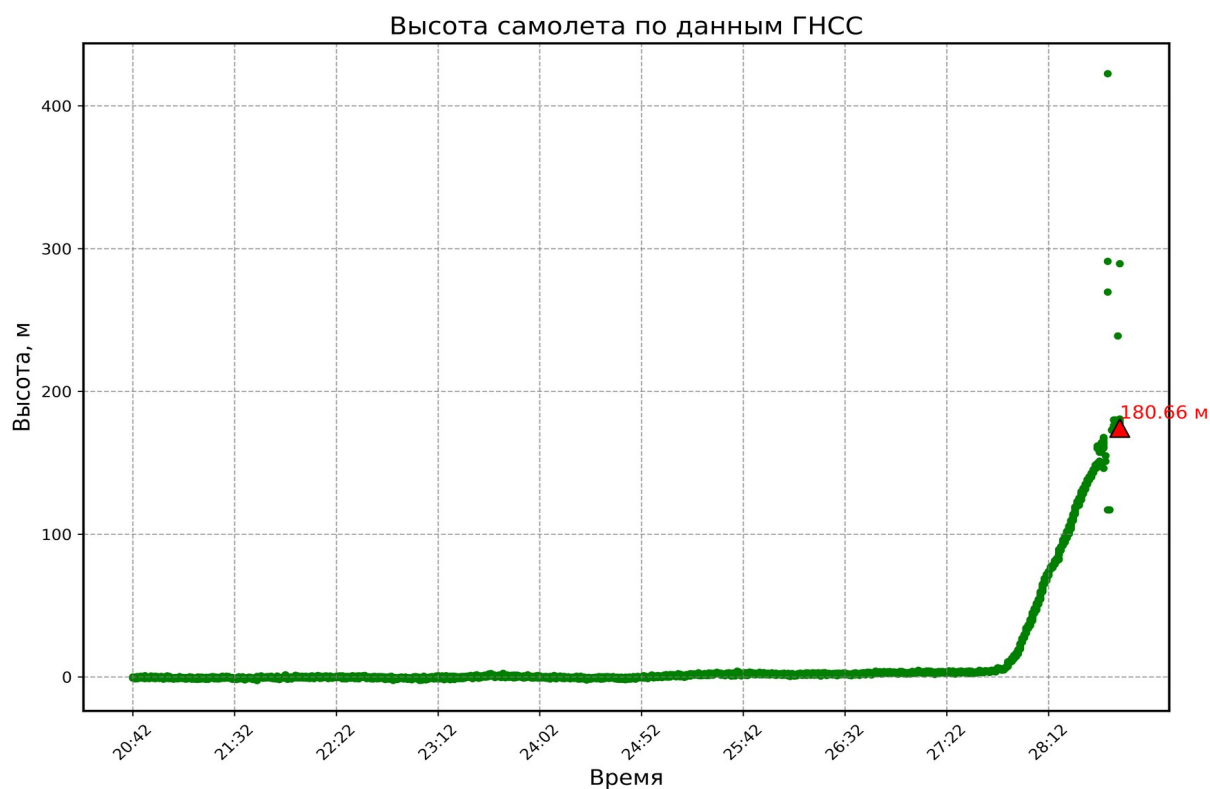


Рисунок А.2 – Высота самолета по данным ГНСС



Рисунок А.3 – Количество спутников на всей траектории

Согласно иллюстрациям, в момент времени 28:51 высокоточное навигационное решение обрывается, что связано со снижением числа спутников до 4х и менее, что соответствует пропаданию данных об ошибке решения ГНСС (рис. А.4).

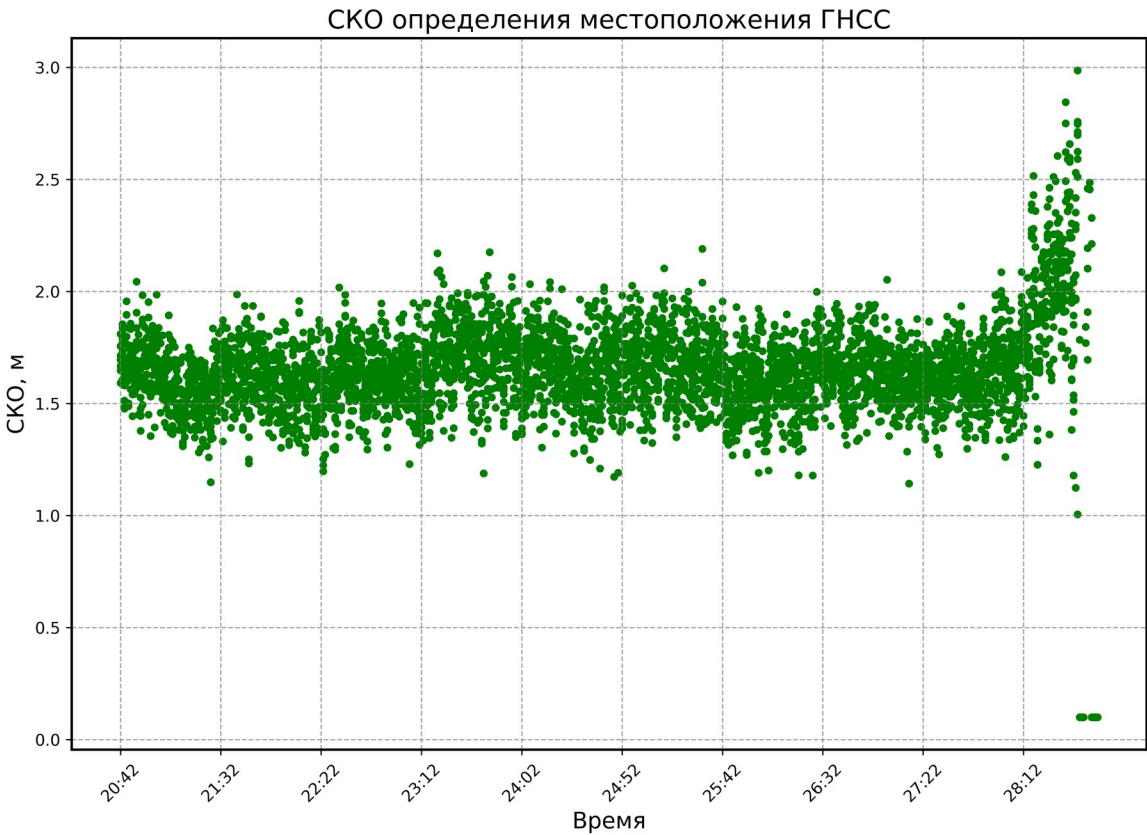


Рисунок А.4 – СКО определения местоположения ГНСС

Для сравнительного анализа качества данных ГНСС у земли и в полете выбраны 2 точки: точка взлета ВС (ТВ, момент времени 9:20:42) и контрольная точка (КТ, момент времени 9:28:39), в которой получено последнее навигационное решение ГНСС.

Согласно рис. А.5 в точке ТВ наблюдались 21 спутник, а для решения использовались 15.

Time	NumSat	Longitude	Latitude	Height	TOffset	RMS	pdop	talt	Enable	SatUsed
24.04.2024 09:20:42	15	37° 58' 39,405799"	N 55° 33' 44,787040"	146,6039	84715,33	1,810075	1,337347	84712,85	<input checked="" type="checkbox"/>	14
24.04.2024 09:20:42	15	37° 58' 39,403340"	N 55° 33' 44,801338"	146,3476	84714,29	1,756254	1,337343	84712,19	<input checked="" type="checkbox"/>	14
24.04.2024 09:20:42	15	37° 58' 39,409487"	N 55° 33' 44,801774"	146,1779	84713,43	1,695068	1,337338	84711,44	<input checked="" type="checkbox"/>	14
24.04.2024 09:20:42	15	37° 58' 39,395443"	N 55° 33' 44,802299"	145,8255	84712,41	1,66649	1,337334	84710,36	<input checked="" type="checkbox"/>	14
24.04.2024 09:20:42	15	37° 58' 39,392505"	N 55° 33' 44,808866"	145,8463	84711,68	1,648344	1,33733	84709,91	<input checked="" type="checkbox"/>	14
24.04.2024 09:20:42	15	37° 58' 39,402861"	N 55° 33' 44,820724"	145,8344	84710,81	1,591775	1,337325	84708,29	<input checked="" type="checkbox"/>	14
24.04.2024 09:20:42	15	37° 58' 39,389025"	N 55° 33' 44,802782"	146,0859	84710,4	1,713444	1,337321	84707,11	<input checked="" type="checkbox"/>	14
24.04.2024 09:20:43	15	37° 58' 39,390984"	N 55° 33' 44,802012"	145,3205	84709,08	1,663049	1,337317	84706,52	<input checked="" type="checkbox"/>	14
24.04.2024 09:20:43	15	37° 58' 39,387880"	N 55° 33' 44,804008"	145,6158	84708,43	1,64463	1,337312	84706,37	<input checked="" type="checkbox"/>	14
24.04.2024 09:20:43	15	37° 58' 39,388850"	N 55° 33' 44,809551"	145,3499	84707,53	1,607058	1,337308	84706,05	<input checked="" type="checkbox"/>	14
24.04.2024 09:20:43	15	37° 58' 39,405678"	N 55° 33' 44,798773"	146,0640	84707,29	1,853853	1,337304	84705,84	<input checked="" type="checkbox"/>	14

Рисунок А.5 – Данные ГНСС в момент взлёта (ТВ)

24.04.2024 09:28:47	6	E 37° 56' 56,859438"	N 55° 33' 11,682522"	330,7905	81055,11	2,62077	6,074506	81052,98	<input type="checkbox"/>	6
24.04.2024 09:28:47	7	E 37° 56' 56,595542"	N 55° 33' 11,751209"	326,7032	81050,46	2,510514	6,027697	81047,88	<input type="checkbox"/>	7
24.04.2024 09:28:47	5	E 37° 56' 57,840806"	N 55° 33' 11,396557"	385,4061	81104,24	0,1	24,59003	81089,28	<input checked="" type="checkbox"/>	5
24.04.2024 09:28:47	7	E 37° 56' 56,063513"	N 55° 33' 11,811247"	317,3827	81039,76	2,774192	7,625244	81033,37	<input type="checkbox"/>	6
24.04.2024 09:28:47	6	E 37° 56' 55,891320"	N 55° 33' 11,721804"	320,2164	81041,77	2,663383	7,625188	81035,71	<input type="checkbox"/>	6
24.04.2024 09:28:47	6	E 37° 56' 55,729777"	N 55° 33' 11,678476"	321,9120	81042,43	2,816761	7,625135	81035,88	<input type="checkbox"/>	6
24.04.2024 09:28:47	6	E 37° 56' 55,639957"	N 55° 33' 11,626086"	326,4106	81045,51	3,307475	7,62508	81035,95	<input type="checkbox"/>	6
24.04.2024 09:28:48	5	E 37° 57' 02,837193"	N 55° 33' 12,288022"	435,9906	81135,63	0,1	39,04262	81081,43	<input checked="" type="checkbox"/>	5
24.04.2024 09:28:48	6	E 37° 56' 55,324983"	N 55° 33' 11,572541"	328,1021	81044,57	4,00094	7,624973	81034,96	<input type="checkbox"/>	6
24.04.2024 09:28:48	4				NAN	40	0	0	<input type="checkbox"/>	0

Рисунок А.6 – Данные ГНСС в момент последнего определения местоположения (КТ)

Согласно рис. А.6 в точке КТ наблюдалось 6 спутников, из которых 5 использовались для получения навигационного решения. На следующем такте измерений число спутников снизилось до 4 и решение не было получено.

В таблице А.1. приведены данные о наблюдаемых спутниках GPS и ГЛОНАСС в момент ТВ (21 спутник) и момент КТ (6 спутников).

Перечень наблюдаемых спутников в момент ТВ					Перечень наблюдаемых спутников в момент КТ				
	SatNum	SatCode	Elevation	Azimuth		SatNum	SatCode	Elevation	Azimuth
	5	GPS	31	61		5	GPS	34	59
	11	GPS	29	27		12	GPS	20	72
	12	GPS	23	72		25	GPS	46	81
	18	GPS	22	106		29	GPS	82	135
	20	GPS	39	41		9	GLONASS	27	89
	25	GPS	49	81		10	GLONASS	64	112
	26	GPS	24	153					
	28	GPS	31	127					
	29	GPS	78	134					
	31	GPS	32	145					
	9	GLONASS	32	89					
	10	GLONASS	67	116					
	11	GLONASS	34	161					
	21	GLONASS	10	118					
	25	GLONASS	10	0					

Таблица А.1 – Анализ параметров спутников ГНСС

На графике А.7 приведены данные о параметрах всех спутников, которые наблюдались и в момент ТВ и в момент КТ. Согласно приведённым параметрам уровень сигнала (SigStrength) каждого спутника снизился значительно на всех частотах.

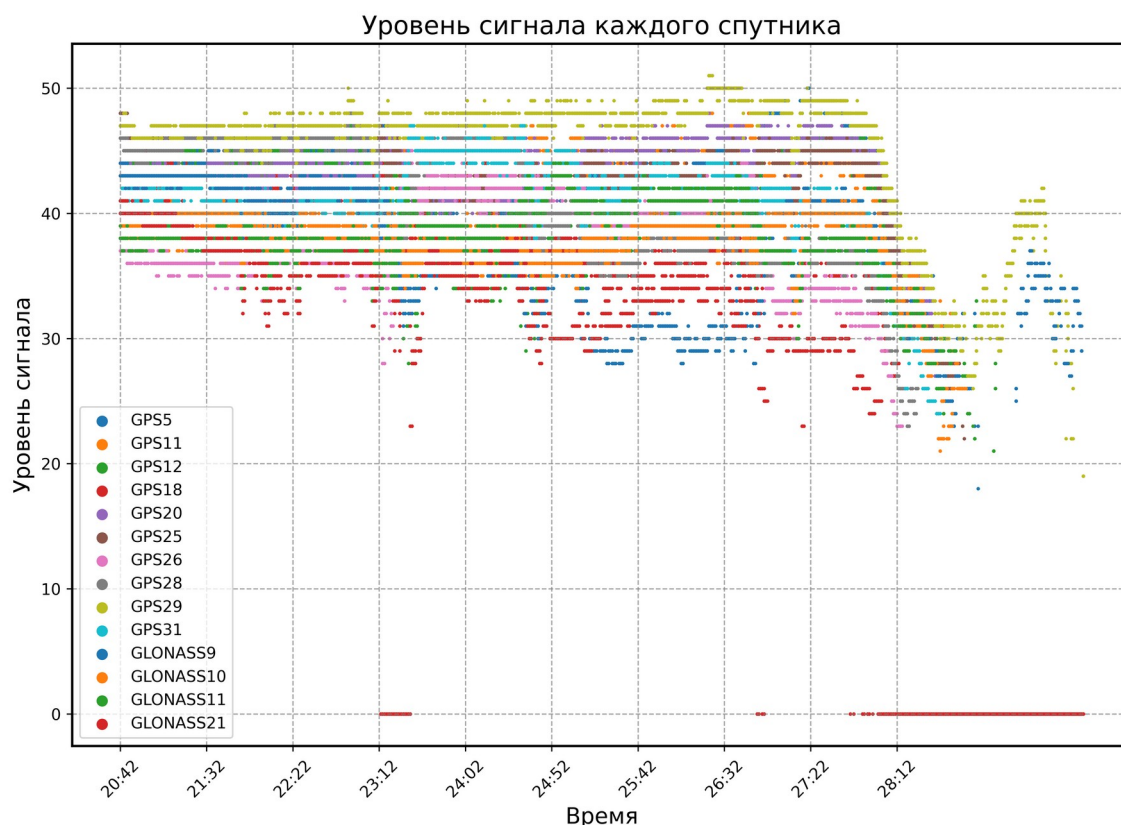


Рисунок А.7 – Уровень сигнала по всем спутникам

2. Посадка

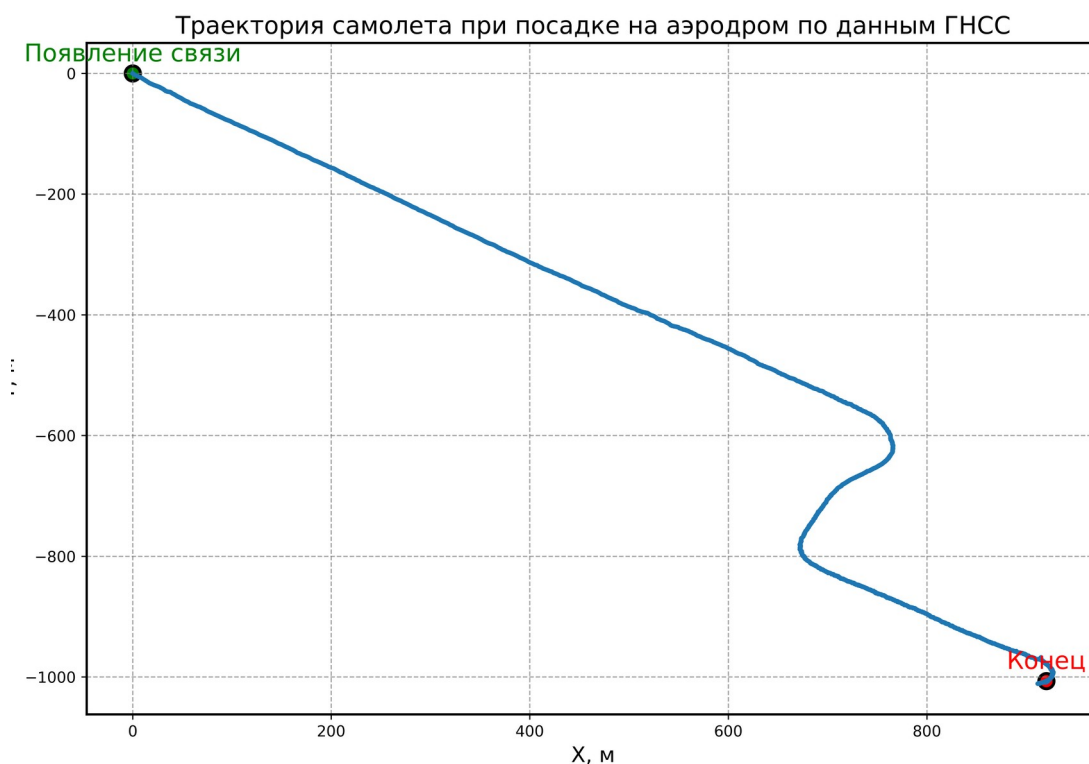


Рисунок А.8 – Траектория самолета при посадке на аэродром по данным ГНСС

В ходе полета по мере снижения высоты (рис. А.10) увеличивалось количество спутников (GPS и ГЛОНАСС), сигналы которых доступны для получения навигационного решения (рис. А.3).

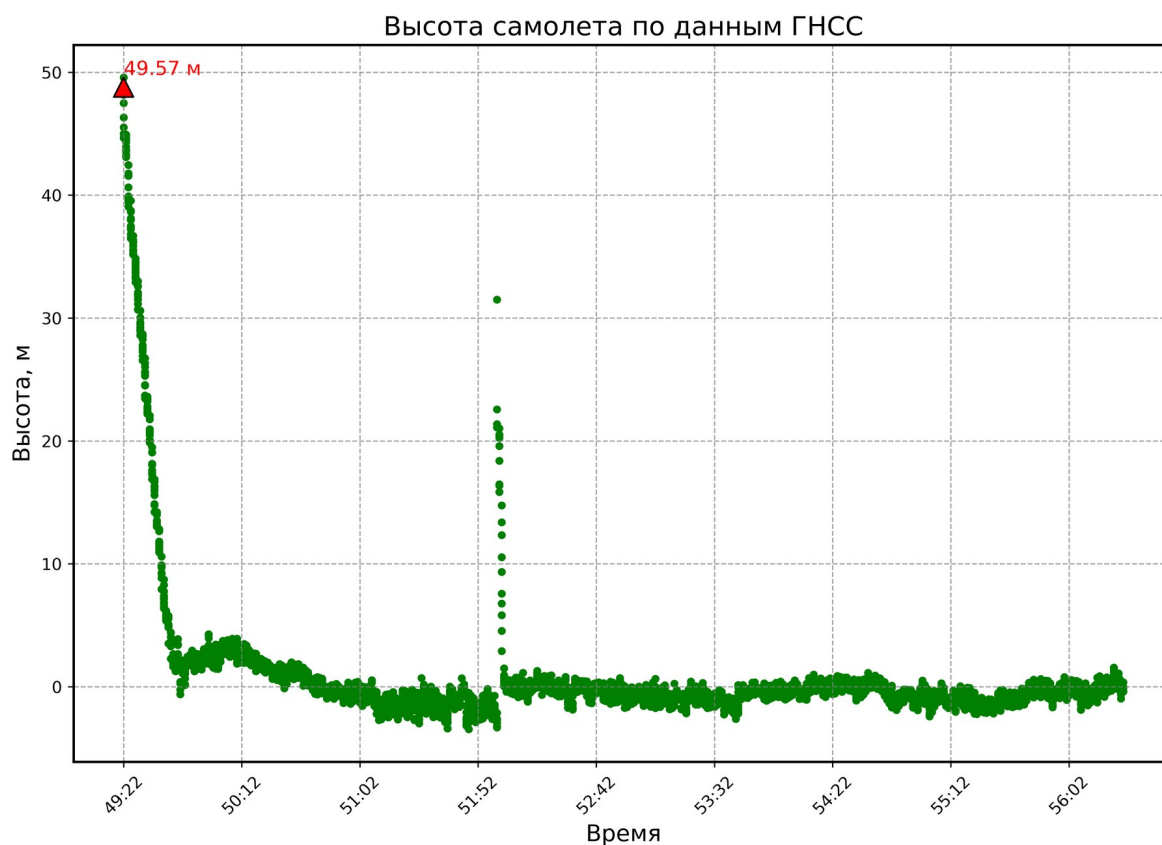


Рисунок А.9 – Высота самолета по данным ГНСС



Рисунок А.10 – Количество спутников на всей траектории

Согласно иллюстрациям, в момент времени 49:22 высокоточное навигационное решение обрывается, что связано со повышением числа спутников до 4х и более, что соответствует появлению данных об ошибке решения ГНСС (рис. А.11).

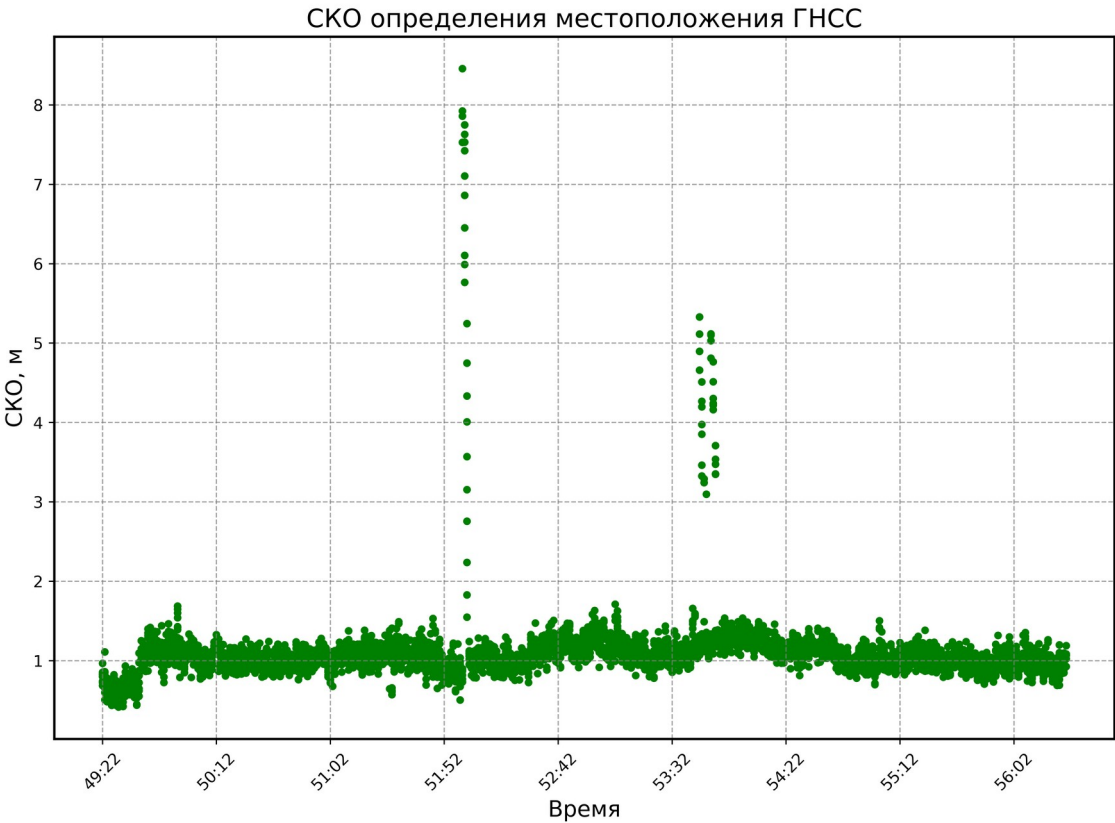


Рисунок А.11 – СКО определения местоположения ГНСС

Для сравнительного анализа качества данных ГНСС у земли и в полете выбраны 2 точки: точка посадки ТП (ТП, момент времени 10:56:24) и контрольная точка (КТ, момент времени 10:49:22), в которой получено первое навигационное решение ГНСС.

Согласно рис. А.12 в точке ТВ наблюдались 14 спутник, а для решения использовались 13

Time	NumSat	Longitude	Latitude	Height	TOffset	RMS	pdop	talt	Enabled	SatUsed
24.04.2024 10:49:22	14	37° 59' 56,886926"	N 55° 33' 49,991491"	196,3226	15338,84	0,8326232	1,349138	15341,52	<input checked="" type="checkbox"/>	13
24.04.2024 10:49:22	14	37° 59' 56,711283"	N 55° 33' 49,959836"	196,0000	15337,31	0,8284302	1,349136	15340,32	<input checked="" type="checkbox"/>	13
24.04.2024 10:49:22	14	37° 59' 56,548046"	N 55° 33' 49,931081"	196,1931	15336,01	0,8008021	1,349133	15338,93	<input checked="" type="checkbox"/>	13
24.04.2024 10:49:22	14	37° 59' 56,404692"	N 55° 33' 49,899789"	196,2779	15334,67	0,9662888	1,349131	15337,57	<input checked="" type="checkbox"/>	13
24.04.2024 10:49:22	14	37° 59' 56,239791"	N 55° 33' 49,872580"	195,3201	15332,63	0,7422772	1,349128	15336,84	<input checked="" type="checkbox"/>	13
24.04.2024 10:49:22	14	37° 59' 56,073992"	N 55° 33' 49,833356"	194,1588	15330,48	0,8538321	1,349126	15334,74	<input checked="" type="checkbox"/>	13
24.04.2024 10:49:22	14	37° 59' 55,896627"	N 55° 33' 49,803887"	193,3522	15328,61	0,802713	1,349124	15332,79	<input checked="" type="checkbox"/>	13
24.04.2024 10:49:22	14	37° 59' 55,728816"	N 55° 33' 49,785773"	192,8278	15327	0,6869025	1,349121	15330,71	<input checked="" type="checkbox"/>	13

Рисунок А.12 – Данные ГНСС в момент первого определения местоположения (КТ)

Time	NumSat	Longitude	Latitude	Height	TOffset	RMS	pdop	talt	Enabled	SatUsed
24.04.2024 10:56:23	16	E 37° 58' 39,456703"	N 55° 33' 44,793577"	147,9654	8706,732	1,011115	1,306447	8710,851	☑	15
24.04.2024 10:56:24	16	E 37° 58' 39,468030"	N 55° 33' 44,790501"	147,8804	8705,088	0,9212455	1,306452	8709,253	☑	15
24.04.2024 10:56:24	16	E 37° 58' 39,474805"	N 55° 33' 44,785931"	148,2964	8703,978	0,9743003	1,306457	8707,209	☑	15
24.04.2024 10:56:24	16	E 37° 58' 39,478182"	N 55° 33' 44,794715"	148,3272	8702,499	0,8918496	1,306463	8704,978	☑	15
24.04.2024 10:56:24	16	E 37° 58' 39,464438"	N 55° 33' 44,791385"	147,7608	8700,479	0,9256409	1,306468	8703,557	☑	15
24.04.2024 10:56:24	16	E 37° 58' 39,453517"	N 55° 33' 44,785110"	147,1991	8698,466	0,8489232	1,306473	8701,88	☑	15
24.04.2024 10:56:24	16	E 37° 58' 39,447194"	N 55° 33' 44,787496"	146,8747	8696,75	0,9335126	1,306478	8700,137	☑	15

Рисунок А.13 – Данные ГНСС в момент посадки (КТ)

Согласно рис. А.14 в точке КТ наблюдалось 14 спутников, из которых 13 использовались для получения навигационного решения. На следующем такте измерений число спутников увеличилось до 16.

В таблице А.2. приведены данные о наблюдаемых спутниках GPS и ГЛОНАСС в момент КТ (14 спутников) и момент ТП (16 спутников).

Перечень наблюдаемых спутников в момент КТ					Перечень наблюдаемых спутников в момент ТП				
	SatNum	SatCode	Elevation	Azimuth		SatNum	SatCode	Elevation	Azimuth
▶	5	GPS	44	35	▶	5	GPS	43	33
	16	GPS	27	155		16	GPS	30	154
	18	GPS	63	112		18	GPS	67	112
	20	GPS	21	22		20	GPS	19	21
	23	GPS	11	91		23	GPS	14	90
	25	GPS	9	82		25	GPS	6	82
	26	GPS	50	137		26	GPS	51	134
	31	GPS	14	126		29	GPS	57	54
	4	GLONASS	30	24		31	GPS	12	125
	5	GLONASS	23	52		4	GLONASS	30	22
	11	GLONASS	52	130		5	GLONASS	26	51
	12	GLONASS	24	166		10	GLONASS	18	99
	21	GLONASS	50	135		11	GLONASS	50	127
	25	GLONASS	50	0		12	GLONASS	27	165
						21	GLONASS	53	137
						25	GLONASS	54	130

Таблица А.2 – Анализ параметров спутников ГНСС

На графике А.14 приведены данные о параметрах всех спутников, которые наблюдались и в момент КТ и в момент ТП. Согласно приведённым параметрам уровень сигнала (SigStrength) каждого спутника увеличился на всех частотах.

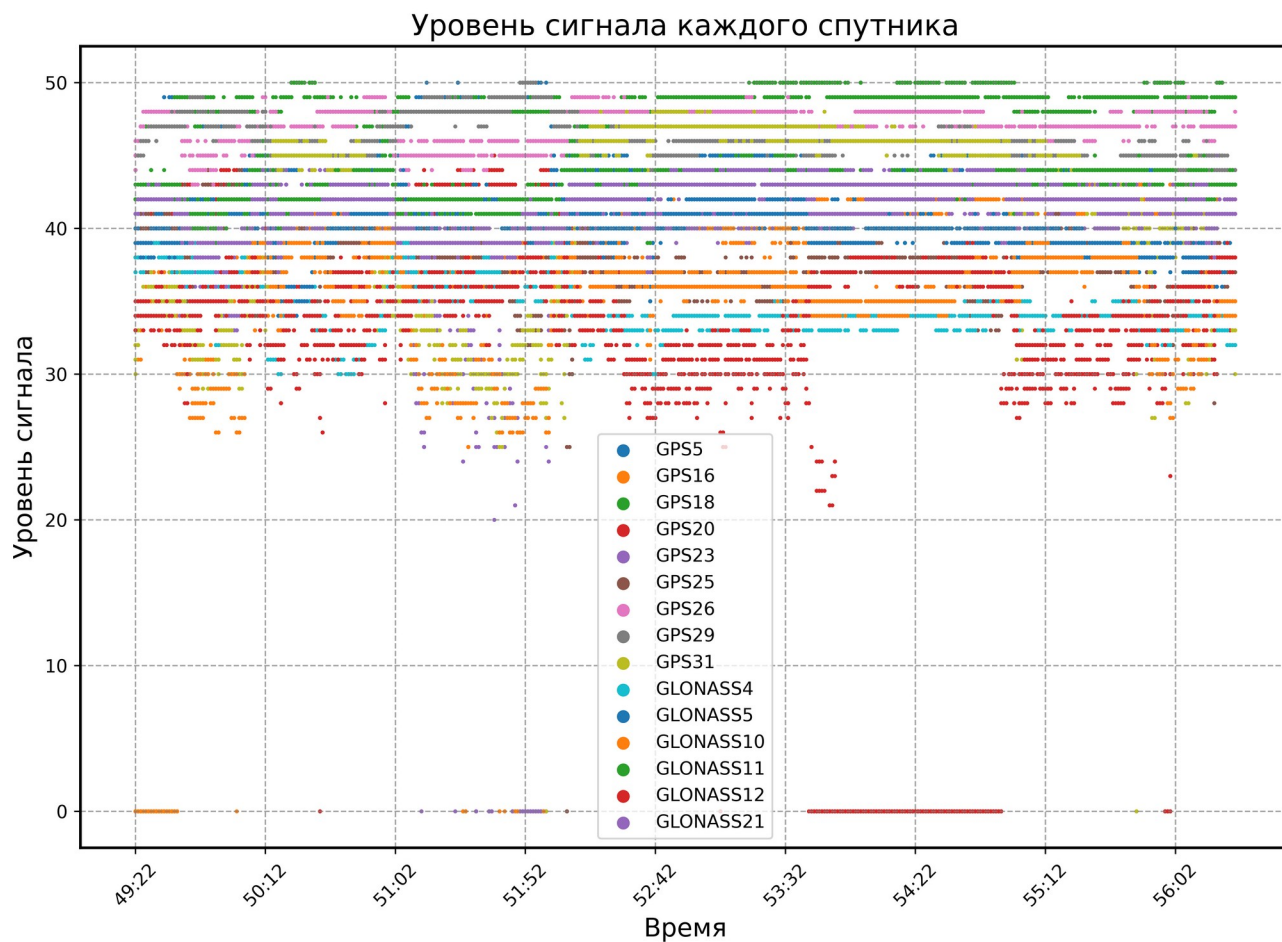


Рисунок А.14 – Уровень сигнала по всем спутникам