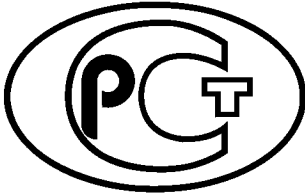


---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

---



ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
СТАНДАРТ  
РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ПНСТ  
788—  
2022

---

**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ  
ДЛЯ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ  
ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ГРАЖДАНСКОЙ  
АВИАЦИИ**

**Алгоритм контроля целостности для приемников  
спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS.  
Общие требования**

Москва  
Российский институт стандартизации  
2022

## Предисловие

- 1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «ННК Консалтинг»
- 2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 164 «Искусственный интеллект»
- 3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 ноября 2022 г. № 102-пнст

*Правила применения настоящего стандарта и проведения его мониторинга установлены ГОСТ Р 1.16—2011 (разделы 5 и 6).*

*Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии собирает сведения о практическом применении настоящего стандарта. Данные сведения, а также замечания и предложения по содержанию стандарта можно направить не позднее чем за 4 мес до истечения срока его действия разработчику настоящего стандарта по адресу: [contact@nncscompany.ru](mailto:contact@nncscompany.ru) и/или в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии по адресу: 123112 Москва, Пресненская набережная, д. 10, стр. 2.*

*В случае отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты» и также будет размещена на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет ([www.rst.gov.ru](http://www.rst.gov.ru))*

## Содержание

1 Область применения . . . . .	1
2 Сокращения . . . . .	1
3 Требования к задачам алгоритма контроля целостности для приемников спутниковой навигации. . .	1
4 Требования к обнаружению и исключению отказов . . . . .	2
5 Требования к оповещению потребителя о текущей ошибке целостности навигационной системы. . .	2
6 Применение искусственного интеллекта в алгоритме контроля целостности для приемников спутниковой навигации . . . . .	2
7 Применение дифференциальной коррекции в алгоритме контроля целостности для приемников спутниковой навигации . . . . .	2
8 Требования к наборам исходных данных для обучения алгоритма контроля целостности для приемников спутниковой навигации . . . . .	3
Приложение А (рекомендуемое) Пример данных в формате RINEX для обучения алгоритма контроля целостности для приемников спутниковой навигации . . . . .	4
Приложение Б (рекомендуемое) Пример сценариев для валидации алгоритма контроля целостности для приемников спутниковой навигации . . . . .	6

## Введение

Развитие методов искусственного интеллекта делает возможным решение задач оценки состояния комплексных систем или подтверждения достоверности решения посредством нейронных сетей с точностью, превышающей классические аналитические и статистические методы. Это способствует применению методов искусственного интеллекта при условии проведения качественных испытаний в сферах, связанных с высоким риском для жизни и здоровья людей, в частности — навигации и гражданской авиации.

В настоящем стандарте:

- определена задача для контроля целостности для приемников спутниковой навигации;
- сформулирован критерий целесообразности применения методов искусственного интеллекта для оценки целостности;
- формализованы требования к данным, необходимым для обучения алгоритма контроля целостности для приемников спутниковой навигации.

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ ДЛЯ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИАлгоритм контроля целостности для приемников спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS.  
Общие требования

Artificial intelligence for civil aviation aircraft. Integrity control algorithm for GLONASS/GPS satellite navigation receivers.  
General requirements

Срок действия с — 2024—01—01  
до 2026—01—01

## 1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на навигационную аппаратуру потребителей, предназначенную для определения местоположения воздушных судов по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS с использованием методов искусственного интеллекта.

Стандарт устанавливает технические и эксплуатационные требования, методы и требуемые результаты испытаний к навигационной аппаратуре воздушного судна гражданской авиации, реализующей алгоритмы автономного контроля целостности с использованием методов искусственного интеллекта.

## 2 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ГЛОНАСС — глобальная навигационная спутниковая система;

GPS — система глобального позиционирования;

IR — риск потери целостности (Integrity Risk);

PL — защитный уровень (Protection Levels);

TTA — время срабатывания тревоги (Time to Alert);

SBAS — спутниковая система дифференциальной коррекции (Satellite Based Augmentation System);

GBAS — наземная система дифференциальной коррекции (Ground Based Augmentation System);

ABAS — автономная система дифференциальной коррекции (Aircraft Based Augmentations Systems);

RINEX — формат обмена данными для файлов исходных данных спутниковых навигационных приемников (Receiver Independent Exchange Format);

UTC — всемирное координированное время;

HDOP — снижение точности в горизонтальной плоскости;

VDOP — снижение точности в вертикальной плоскости.

## 3 Требования к задачам алгоритма контроля целостности для приемников спутниковой навигации

Алгоритм контроля целостности должен обеспечивать решение таких задач, как:

- обнаружение отказов спутников или созвездий, в том числе вызванных отказом наземной системы управления;

- исключение данных, поступающих от отказавших навигационных спутников или созвездий из навигационного решения;
- оповещение потребителя о текущей ошибке целостности навигационной системы.

#### 4 Требования к обнаружению и исключению отказов

Алгоритм контроля целостности должен обнаруживать и исключать семь режимов отказов:

- единичного отказа спутника ГЛОНАСС;
- единичного отказа спутника GPS;
- комбинации из двух независимых единичных отказов спутников ГЛОНАСС;
- комбинации из единичного отказа спутника ГЛОНАСС и единичного отказа спутника GPS;
- системного отказа ГЛОНАСС;
- комбинации из единичного отказа спутника GPS и системного отказа ГЛОНАСС;
- комбинации из единичного отказа спутника ГЛОНАСС и системного отказа ГЛОНАСС.

Кроме обязательных семи режимов отказов, целесообразно учитывать в алгоритмах контроля целостности:

- комбинацию из двух независимых единичных отказов спутников GPS;
- комбинацию из двух независимых единичных отказов спутников ГЛОНАСС и единичного отказа спутника GPS;
- системный отказ GPS.

#### 5 Требования к оповещению потребителя о текущей ошибке целостности навигационной системы

Вероятность выдачи ложного сигнала предупреждения ( $P_{fa}$ ) определяет характеристики FDE двухсистемного ГЛОНАСС/GPS приемника в части допустимого количества/частоты событий, где приемник будет выдавать сигнал предупреждения о превышении HPL текущей ошибкой местоположения, в то время как реальная текущая ошибка местоположения все еще остается в пределах HPL.

**Примечание** — Частота возникновения такого события не зависит ни от режимов отказа, ни от текущей геометрии «совмещенного» ГЛОНАСС/GPS созвездия. Наличие ложного предупреждения может быть вызвано ионосферными ошибками или собственными шумами приемника.

Вероятность выдачи ложного сигнала предупреждения ( $P_{fa}$ ):

- не более  $3,33 \cdot 10^{-7}$  на заход и
- не более  $10^{-5}$  за 1 ч полета.

Вероятность невыдачи сигнала предупреждения ( $P_{ma}$ ) должна быть не более  $10^{-4}$ .

Вероятность неудавшегося исключения ( $P_{fe}$ ) должна быть не более  $10^{-4}$ .

#### 6 Применение искусственного интеллекта в алгоритме контроля целостности для приемников спутниковой навигации

Применение методов искусственного интеллекта является целесообразным в том случае, если данные методы, в сравнении с существующими алгоритмами фильтрационной и мгновенной оценки целостности, применяемыми в гражданской авиации, обеспечивают стабильное снижение как минимум одного из следующих ключевых параметров:

- риск потери целостности;
- защитный уровень;
- время срабатывания тревоги.

#### 7 Применение дифференциальной коррекции в алгоритме контроля целостности для приемников спутниковой навигации

Источники дифференциальной коррекции могут быть использованы в качестве признаков для работы методов искусственного интеллекта в алгоритме контроля целостности для приемников спутниковой навигации.

7.1 Спутниковая система дифференциальной коррекции (Satellite Based Augmentation System, SBAS) может являться источником данных о исправности спутников и созвездий, а также дифференциальных поправок для снижения риска потери целостности навигационного решения.

7.2 Наземная система дифференциальной коррекции (Ground Based Augmentation System, GBAS) может являться источником данных о исправности здоровья спутников в области видимости станции, а также дифференциальных поправок для снижения риска потери целостности навигационного решения.

7.3 Автономная система дифференциальной коррекции (Aircraft Based Augmentations Systems, ABAS) может являться источником данных с бортовых навигационных датчиков и средств (высотомер, инерциальная навигационная система, высокоточные часы, компасы, визуальные данные) для снижения риска потери целостности навигационного решения.

## **8 Требования к наборам исходных данных для обучения алгоритма контроля целостности для приемников спутниковой навигации**

8.1 Данные для обучения в алгоритме контроля целостности для приемников спутниковой навигации должны содержать как минимум:

- навигационные сообщения всех спутников, находящихся в зоне прямой видимости;
- текущие необработанные измерения псевдослучайного кода и фазы несущей для всех спутников, находящихся в зоне прямой видимости;
- текущие значения отношения «мощность сигнала на несущей — плотность шума» (C/N0) для всех спутников, находящихся в зоне прямой видимости.

8.2 Для хранения исходных данных рекомендуется использовать формат RINEX (Receiver Independent Exchange Format) не ниже версии 2.11 с поддержкой навигационных сигналов ГЛОНАСС/GPS и систем дифференциальной коррекции.

8.3 Метаданные контрольного набора данных должны содержать как минимум:

- информацию об ожидаемом положении воздушного судна для каждого измерения псевдослучайного кода и фазы несущей для всех спутников, находящихся в зоне прямой видимости;
- информацию об ожидаемой ошибке с указанием идентификатора спутника и временной метки.

8.4 Ошибки, приводящие к потере целостности навигационного решения, должны вноситься в обучающие данные посредством использования имитатора сигналов ГЛОНАСС/GPS или с помощью алгоритмической модификации файлов исходных данных.

8.5 Наборы исходных данных должны разделяться на обучающий, тестовый и демонстрационный с соблюдением критерия независимости.

Приложение А  
(рекомендуемое)

Пример данных в формате RINEX для обучения алгоритма контроля целостности  
для приемников спутниковой навигации

Данные наблюдений:

3.0	COMPACT RINEX FORMAT										CRINEX VERS	/	TYPE				
RNX2CRX ver.4.0.7	27-Aug-21 08:59										CRINEX PROG	/	DATE				
3.04	OBSERVATION DATA										M		RINEX VERSION / TYPE				
JPS2RIN v.2.0.178	JAVAD GNSS										20210827 085921 UTC		PGM / RUN BY / DATE				
AUTOMATIC	IAA												OBSERVER / AGENCY				
BADG													MARKER NAME				
12338M002													MARKER NUMBER				
02682	JAVAD TRE_3 DELTA 3.7.10 Oct,22,2020										REC #	/	TYPE / VERS				
-838283.3083	3865788.0417	4987639.8873								APPROX POSITION XYZ							
00328	JAVRINGANT_DM JVDM										ANT # / TYPE						
	0.0280	0.0000	0.0000								ANTENNA: DELTA H/E/N						
G	20	C1C	L1C	D1C	S1C	C1W	L1W	D1W	S1W	C2X	L2X	D2X	S2X	C2W	SYS / # / OBS TYPES		
		L2W	D2W	S2W	C5X	L5X	D5X	S5X							SYS / # / OBS TYPES		
R	20	C1C	L1C	D1C	S1C	C1P	L1P	D1P	S1P	C2C	L2C	D2C	S2C	C2P	SYS / # / OBS TYPES		
		L2P	D2P	S2P	C3X	L3X	D3X	S3X							SYS / # / OBS TYPES		
E	20	C1X	L1X	D1X	S1X	C8X	L8X	D8X	S8X	C6X	L6X	D6X	S6X	C7X	SYS / # / OBS TYPES		
		L7X	D7X	S7X	C5X	L5X	D5X	S5X							SYS / # / OBS TYPES		
12	R01	1	R02	-4	R07	5	R08	6	R09	-2	R10	-7	R11	0	R16	-1	GLONASS SLOT / FRQ #
	R17	4	R22	-3	R23	3	R24	2								GLONASS SLOT / FRQ #	
	30.000															INTERVAL	
	2021	8	27	8	0	0.0000000	GPS									TIME OF FIRST OBS	
	2021	8	27	8	59	30.0000000	GPS									TIME OF LAST OBS	
	18															LEAP SECONDS	
G	L1C	0.00000	11	G05	G08	G10	G13	G14	G15	G18	G23	G24	G27	G32	SYS / PHASE SHIFT		
				G32											SYS / PHASE SHIFT		
G	L1W	-0.25000	11	G05	G08	G10	G13	G14	G15	G18	G23	G24	G27	G32	SYS / PHASE SHIFT		
				G32											SYS / PHASE SHIFT		
G	L2W	0.00000	11	G05	G08	G10	G13	G14	G15	G18	G23	G24	G27	G32	SYS / PHASE SHIFT		
				G32											SYS / PHASE SHIFT		
G	L2X	0.25000	10	G05	G08	G10	G14	G15	G18	G23	G24	G27	G32	SYS / PHASE SHIFT			
G	L5X	0.25000	08	G08	G10	G14	G18	G23	G24	G27	G32				SYS / PHASE SHIFT		
R	L1C	0.00000	12	R01	R02	R07	R08	R09	R10	R11	R16	R17	R22	R23	R24	SYS / PHASE SHIFT	
				R23	R24											SYS / PHASE SHIFT	
R	L1P	-0.25000	12	R01	R02	R07	R08	R09	R10	R11	R16	R17	R22	R23	R24	SYS / PHASE SHIFT	
				R23	R24											SYS / PHASE SHIFT	
R	L2C	0.25000	12	R01	R02	R07	R08	R09	R10	R11	R16	R17	R22	R23	R24	SYS / PHASE SHIFT	
				R23	R24											SYS / PHASE SHIFT	
R	L2P	0.00000	09	R01	R02	R07	R08	R09	R11	R16	R17	R24				SYS / PHASE SHIFT	
R	L3X	0.25000	02	R09	R23											SYS / PHASE SHIFT	
E	L1X	0.50000	09	E02	E03	E07	E08	E13	E14	E25	E26	E33				SYS / PHASE SHIFT	
E	L5X	0.25000	09	E02	E03	E07	E08	E13	E14	E25	E26	E33				SYS / PHASE SHIFT	
E	L6X	0.50000	09	E02	E03	E07	E08	E13	E14	E25	E26	E33				SYS / PHASE SHIFT	
E	L7X	0.25000	09	E02	E03	E07	E08	E13	E14	E25	E26	E33				SYS / PHASE SHIFT	
E	L8X	0.25000	09	E02	E03	E07	E08	E13	E14	E25	E26	E33				SYS / PHASE SHIFT	



Навигационные данные:

```

3.04          N: GNSS NAV DATA      E: Galileo          RINEX VERSION / TYPE
JPS2RIN v.2.0.178  JAVAD GNSS          20210827 085922 UTC PGM / RUN BY / DATE
18
GAL          6.5750D+01  3.9063D-02  8.6365D-03  0.0000D+00          IONOSPHERIC CORR
GAUT         1.2107193470D-08-7.105427358D-15 432000 2172          TIME SYSTEM CORR
GAGP         1.4348188415D-08-8.881784197D-15 432000 2172          TIME SYSTEM CORR
                                                    END OF HEADER
E21 2021 08 27 04 50 00-6.843618466519D-04-2.188471626141D-12 0.000000000000D+00
      1.090000000000D+02 7.156250000000D+01 3.377283534558D-09-1.876781663490D+00
      3.425404429436D-06 2.151016378775D-04 3.108754754066D-06 5.440611875534D+03
      4.494000000000D+05 2.048909664154D-08-1.057783147908D+00-3.911554813385D-08
      9.760040830591D-01 2.822812500000D+02-1.802897742225D+00-5.860601260424D-09
      2.085801167705D-10 2.580000000000D+02 2.172000000000D+03 0.000000000000D+00
      3.11999885559D+00 0.000000000000D+00 1.862645149231D-09 0.000000000000D+00
      4.501500000000D+05
E21 2021 08 27 04 50 00-6.843626033515D-04-2.174260771426D-12 0.000000000000D+00
      1.090000000000D+02 7.156250000000D+01 3.377283534558D-09-1.876781663490D+00
      3.425404429436D-06 2.151016378775D-04 3.108754754066D-06 5.440611875534D+03
      4.494000000000D+05 2.048909664154D-08-1.057783147908D+00-3.911554813385D-08
      9.760040830591D-01 2.822812500000D+02-1.802897742225D+00-5.860601260424D-09
      2.085801167705D-10 5.170000000000D+02 2.172000000000D+03 0.000000000000D+00
      3.11999885559D+00 0.000000000000D+00 1.862645149231D-09 2.095475792885D-09
      4.500640000000D+05
E01 2021 08 27 05 10 00-1.180269289762D-03-8.029132914089D-12 0.000000000000D+00
      1.110000000000D+02 7.421875000000D+01 3.436214560701D-09-2.674805905637D+00
      3.537163138390D-06 2.661625621840D-04 3.283843398094D-06 5.440601964951D+03
      4.506000000000D+05-1.117587089539D-08-1.054915851880D+00-7.450580596924D-09
      9.764296912788D-01 2.766250000000D+02-1.606158652623D+00-5.901674399856D-09
      2.307238962907D-10 2.580000000000D+02 2.172000000000D+03 0.000000000000D+00
      3.11999885559D+00 0.000000000000D+00 0.000000000000D+00 0.000000000000D+00
      4.513000000000D+05
E01 2021 08 27 05 10 00-1.180269988254D-03-8.014922059374D-12 0.000000000000D+00
      1.110000000000D+02 7.421875000000D+01 3.436214560701D-09-2.674805905637D+00
      3.537163138390D-06 2.661625621840D-04 3.283843398094D-06 5.440601964951D+03
      4.506000000000D+05-1.117587089539D-08-1.054915851880D+00-7.450580596924D-09
      9.764296912788D-01 2.766250000000D+02-1.606158652623D+00-5.901674399856D-09
      2.307238962907D-10 5.170000000000D+02 2.172000000000D+03 0.000000000000D+00
      3.11999885559D+00 0.000000000000D+00 0.000000000000D+00 0.000000000000D+00
      4.512640000000D+05
E05 2021 08 27 06 00 00-2.540823770687D-04 3.041122909053D-12 0.000000000000D+00
      1.160000000000D+02-7.728125000000D+01 3.273707791641D-09 2.429499218783D+00
      -3.628432750702D-06 8.129829075187D-05 7.720664143562D-06 5.440627880096D+03
      4.536000000000D+05 6.519258022308D-08 3.129438226943D+00-2.235174179077D-08
      9.557826667673D-01 1.695312500000D+02-3.346147561506D-01-5.748096574152D-09
      -3.028697585983D-10 2.580000000000D+02 2.172000000000D+03 0.000000000000D+00
      3.11999885559D+00 0.000000000000D+00 3.725290298462D-09 0.000000000000D+00
      4.543500000000D+05

```

Приложение Б  
(рекомендуемое)

Пример сценариев для валидации алгоритма контроля целостности для приемников спутниковой навигации

**Б.1 Исходные данные для разработки сценария «Ad\_GGIS»**

Б.1.1 Изменение путевой скорости — от 100 до 1200 км/ч.

Б.1.2 Высота — не более 16800 м.

Б.1.3 Линейное ускорение: горизонтальная составляющая — 0,58 g, вертикальная составляющая — 0,5 g, скорость изменения ускорения — 0,25 g/c.

Б.1.4 Спутники:

- GPS L1, C/A -8 НКА (IS-GPS-200D, 7 December 2004). Отсутствует селективный доступ для GPS;

- ГЛОНАСС L1, П/Т — 8 НКА ((ИКД ГЛОНАСС редакция 5.1)). Частотный план ГЛОНАСС после 2005 г.

При HDOP не более 1.5 и VDOP не более 3.0.

Б.1.5 Начало сценария в 06:00 по UTC.

Б.1.6 Длительность сценария должна обеспечить число достоверных измерений не менее 4400 с частотой решения 1 Гц.

**Б.2 Исходные данные для разработки сценария «Avia1»**

Б.2.1 Аппаратура расположена в точке с координатами: 3.00000°N, 45.00000°E, высотой над референц-эллипсоидом 150 м.

Б.2.2 Спутниковая группировка GPS заморожена.

Б.2.3 В 23.34.23 UTC в измерения спутников Sat\_ID(5), Sat\_ID(17) начинает вводиться возрастающая ошибка со скоростью 5 м/с; в 23.39.23 UTC ошибка дальности постоянная (1500 м).

Б.2.4 В 23.39.24 UTC в измерения спутников Sat\_ID(5), Sat\_ID(17) начинает вводиться убывающая ошибка со скоростью 5 м/с.

Б.2.5 В 23.44.24 UTC нет ошибок.

Т а б л и ц а Б.1 — Исходные данные для разработки сценария «Avia1»

Параметр	Значение	
Назначение	Обнаружение спутника GPS с линейно возрастающей ошибкой дальности	
Дата и время начала навигационных сообщений	31.12.2010	23:30
Продолжительность каждого сценария	30 мин	
Модель движения потребителя	Стоповая	
Координаты: широта, долгота, высота над эллипсоидом, высота геоида	В системе координат WGS-84 03°N 45°E 150 м 34,8 м	
Имитируемые спутники — GPS L1(C/A)	Количество, номер 8 2, 5, 10, 11, 14, 17, 23, 24	
Ошибки дальности по выделенным спутникам: - введение ошибки дальности со скоростью 5 м/с - ошибка дальности постоянна (1500 м) - уменьшение ошибки дальности со скоростью 5 м/с - нет ошибок	Первый спутник 23:34:23 23:39:23 23:39:24 23:44:24	Второй спутник 23:39:23 23:44:23 23:44:24 23:49:24
Ионосферная задержка	Модель «лето»	
Тропосферная задержка	Стандартная	
Геометрический фактор GDOP для GPS	HDOP не более 1,5; VDOP не более 3,0	

УДК 004.89

ОКС 35.020

Ключевые слова: искусственный интеллект, навигационная система, воздушные суда, гражданская авиация, алгоритм, контроль целостности, приемник спутниковой навигации, ГЛОНАСС, GPS

---

Редактор *З.И. Лиманская*  
Технический редактор *И.Е. Черепкова*  
Корректор *Е.Д. Дульнева*  
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 10.11.2022. Подписано в печать 16.11.2022. Формат 60×84%. Гарнитура Ариал.  
Усл. печ. л. 1,40. Уч.-изд. л. 1,26.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

---

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ» для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,  
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.  
[www.gostinfo.ru](http://www.gostinfo.ru) [info@gostinfo.ru](mailto:info@gostinfo.ru)