



ГЛОБАЛЬНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА

ГЛОНАСС

Стандарт эксплуатационных характеристик открытого сервиса (СТЭХОС)

ПРИЛОЖЕНИЕ А
МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Редакция 2.2
(6.2019)

Королёв
2019 г.

[Чистая страница.]

СОДЕРЖАНИЕ

A.1	Методики расчета зоны действия	4
A.1.1	Методика расчета зоны действия системы (Constellation Coverage)	4
A.1.2	Методика расчета зоны действия НКА (Per-slot coverage).....	4
A.2	Методики расчета точности CSA SIS	5
A.2.1	Методика расчета точности CSA SIS URE	5
A.2.1.1	Методика расчета точности CSA SIS URE на основе перебора потребителей в зоне действия НКА	5
A.2.1.2	Методика расчета точности CSA SIS URE на основе погрешностей ЭВИ.....	6
A.2.1.3	Методика расчета пороговой точности CSA SIS URE.....	7
A.2.1.4	Методика расчета надежности CSA SIS URE (консервативный подход).....	8
A.2.2	Методика расчета точности CSA SIS URRE.....	9
A.2.2.1	Методика расчета точности CSA SIS URRE на основе перебора потребителей в зоне действия НКА	9
A.2.2.2	Методика расчета точности CSA SIS URRE на основе выводов из короткопериодической нестабильности БСУ.....	9
A.2.3	Методика расчета точности CSA SIS URAE.....	10
A.2.3.1	Методика расчета точности CSA SIS URAE на основе перебора потребителей в зоне действия НКА	10
A.2.3.2	Методика расчета точности CSA SIS URAE на основе выводов из короткопериодической нестабильности БСУ.....	11
A.2.4	Методика расчета точности CSA SIS UTCOE	11
A.3	Методика расчета вероятности основного отказа обслуживания (Probability of CSA Major Service Failure).....	12
A.4	Методика расчета непрерывности CSA SIS (CSA SIS Continuity) 14	
A.5	Методики расчета доступности CSA SIS	15
A.5.1	Методика расчета доступности орбитальной точки CSA SIS (CSA SIS Per-slot Availability).....	15
A.5.2	Методика расчета доступности ОГ CSA SIS (CSA SIS Constellation Availability)	15

A.6	Методики расчета характеристик местоопределения и определения времени CSA.....	16
A.6.1	Методика расчета доступности навигационного поля CSA (CSA PDOP Availability).....	16
A.6.2	Методика расчета точности местоопределения CSA (CSA Positioning error).....	17
A.6.3	Методика расчета доступности CSA (CSA Service Availability).....	18
A.6.4	Методика расчета точности передачи времени CSA (CSA Time transfer accuracy).....	20

А.1 Методики расчета зоны действия

А.1.1 Методика расчета зоны действия системы (Constellation Coverage)

- 1) Зона действия ОГ определяется как часть околоземного пространства, ограниченная поверхностью Земли, без учета рельефа и высотой 2 000 км.
- 2) Характеристикой зоны действия ОГ является отношение объема пространства в зоне действия ОГ, для которого в данном стандарте заявлены характеристики ГЛОНАСС, ко всему объему зоны действия ОГ.

Примечание: Указанное в стандарте значение (100%) устанавливается без подтверждения.

А.1.2 Методика расчета зоны действия НКА (Per-slot coverage)

- 1) Зона действия НКА определяется для каждого НКА как часть околоземного пространства, ограниченная поверхностью Земли, без учета рельефа, высотой 2 000 км и зоной видимости НКА с углом места 5 градусов.
- 2) Характеристикой зоны действия каждого НКА является отношение объема пространства в зоне действия НКА, для которого в данном стандарте заявлены характеристики ГЛОНАСС, ко всему объему зоны действия НКА.

Примечание: Указанное в стандарте значение (100%) устанавливается без подтверждения.

A.2 Методики расчета точности CSA SIS

A.2.1 Методика расчета точности CSA SIS URE

A.2.1.1 Методика расчета точности CSA SIS URE на основе перебора потребителей в зоне действия НКА

- 1) На каждый момент времени с постоянным шагом (≤ 10 мин) для каждого пригодного НКА определяется разность апостериорных и штатных эфемерид (по радиусу, по бинормали, по нормали), и часов:

$$\Delta R(SV_h, t), \Delta B(SV_h, t), \Delta N(SV_h, t), \Delta T(SV_h, t),$$

где SV_h — НКА, пригодный по признакам в навигационном сообщении.

- 2) На каждый момент времени для каждого пригодного НКА в каждой точке зоны действия ОГ (с постоянным шагом по долготе (1 градус) и переменным шагом по широте для обеспечения равенства площадей) определяются мгновенные погрешности псевдодальности $URE(\varphi, \lambda, SV_h, t)$, для чего разность апостериорных и штатных эфемерид и часов проектируется на направление из точки на НКА.

- 3) На каждый момент времени для каждого пригодного НКА определяется средняя (СКП) по его зоне действия мгновенная погрешность псевдодальности:

$$URE_{GlobalAverage}(SV_h, t) = \sigma_{\varphi cov, \lambda cov} [URE(\varphi, \lambda, SV_h, t)] = \sqrt{\frac{\sum_{\varphi cov, \lambda cov} URE^2(\varphi, \lambda, SV_h, t)}{N_{SitesCov}}},$$

где $\varphi cov, \lambda cov, N_{SitesCov}$ — широта, долгота, количество точек в зоне действия НКА.

- 4) На каждый момент времени для каждого пригодного НКА определяется максимальная в его зоне действия мгновенная ошибка псевдодальности (Worst Case Single Point Average URE):

$$URE_{WorstCase}(SV_h, t) = \max_{\varphi cov, \lambda cov} [URE(\varphi, \lambda, SV_h, t)].$$

- 5) Для каждого пригодного НКА определяется значение, соответствующее 95%-ному уровню распределения $URE_{GlobalAverage}(SV_h, t)$ по времени (95% Global Average URE) на эргодическом интервале (30 суток): $URE_{95\%ergod_GlobalAverage}(SV_h)$.

Примечание: Для подтверждения характеристик целесообразно представить значения, полученные на «скользящем» эргодическом интервале в течение года. Скользящий интервал — интервал, величина которого больше шага смещения этого интервала при оценке характеристик.

А.2.1.2 Методика расчета точности CSA SIS URE на основе погрешностей ЭВИ

- 1) На каждый момент времени с постоянным шагом (≤ 10 мин) для каждого пригодного НКА определяется разность апостериорных и штатных эфемерид (по радиусу, по бинормали, по нормали), и часов:

$$\Delta R(SV_h, t), \Delta B(SV_h, t), \Delta N(SV_h, t), \Delta T(SV_h, t),$$

где SV_h — НКА, пригодный по признакам в навигационном сообщении.

- 2) На каждый момент времени для каждого пригодного НКА определяется средняя (СКП) по его зоне действия мгновенная погрешность псевдодальности (Global Average URE):

$$URE_{GlobalAverage}(SV_h, t) = \sqrt{(0.98 \cdot \Delta R(SV_h, t) - c \cdot \Delta T(SV_h, t))^2 + 0.19^2 \cdot (\Delta N(SV_h, t)^2 + \Delta B(SV_h, t)^2)}$$

- 3) На каждый момент времени для каждого пригодного НКА определяется максимальная в его зоне действия мгновенная ошибка псевдодальности (Worst Case Single Point Average URE):

$$URE_{WorstCase}(SV_h, t) = \max_{-|\beta| \leq \alpha \leq |\beta|} [\Delta R(SV_h, t) \cdot \cos(\alpha) - c \Delta T(SV_h, t) + \sin(\alpha) \cdot \sqrt{\Delta N^2(SV_h, t) + \Delta B^2(SV_h, t)}],$$

$$\beta = \arcsin\left(\frac{\sin(90^\circ + \text{mask}) \cdot 6731}{25508.2}\right),$$

$$\text{mask} = 5^\circ.$$

- 4) Для каждого пригодного НКА определяется значение, соответствующее 95%-ному уровню распределения $URE_{GlobalAverage}(SV_h, t)$ по времени (95% Global Average URE for any healthy SIS) на эргодическом интервале (30 суток): $URE_{95\%ergod_GlobalAverage}(SV_h)$.

Примечание: Для подтверждения характеристик целесообразно представить значения, полученные на «скользящем» эргодическом интервале в течение года.

- 5) Определяется значение, соответствующее 95%-ному уровню распределения $URE_{GlobalAverage}(SV_h, t)$ по времени и всей ОГ (95% Global Average URE over all healthy SIS) на суточном интервале: $URE_{95\%day_GlobalAverage_costellation}$.

Примечание: Для подтверждения характеристик целесообразно представить значения, полученные на «скользящем» эргодическом интервале в течение года.

А.2.1.3 Методика расчета пороговой точности CSA SIS URE

- 1) Для каждого пригодного НКА на годовом интервале с постоянным шагом (≤ 30 мин) определяется среднее (СКП) значение $URE_{GlobalAverage}(SV_h, t)$ по времени на суточном интервале:

$$URE_{RMS_day_GlobalAverage}(SV_h) = \sigma_t[URE_{GlobalAverage}(SV_h, t)] = \sqrt{\frac{\sum URE_{GlobalAverage}^2(SV_h, t)}{N_t}}$$

- 2) Определяется значение, соответствующее 99,37%-ному уровню распределения суточных $URE_{RMS_day_GlobalAverage}(SV_h)$ (99,37% Global Average URE) на годовом интервале: $URE_{99.37\% \text{ year_GlobalAverage}}(SV_h)$.

- 3) Для каждого пригодного НКА на годовом интервале с постоянным шагом (≤ 30 мин) определяется среднее (СКП) значение $URE_{WorstCase}(SV_h, t)$ по времени на суточном интервале:

$$URE_{RMS_day_WorstCase}(SV_h) = \sigma_t[URE_{WorstCase}(SV_h, t)] = \sqrt{\frac{\sum URE_{WorstCase}^2(SV_h, t)}{N_t}}$$

- 4) Определяется значение, соответствующее 99,14%-ному уровню распределения суточных $URE_{RMS_day_WorstCase}(SV_h)$ (99,14% Worst Case Single Point Average URE) на годовом интервале: $URE_{99.14\% \text{ year_WorstCase}}(SV_h)$.

Примечание: Для подтверждения характеристик целесообразно представить значения, полученные на «скользящем» годовом интервале в течение нескольких лет.

А.2.1.4 Методика расчета надежности CSA SIS URE (консервативный подход)

1) Для каждого пригодного НКА на каждый момент времени t с постоянным шагом (≤ 10 мин) определяются мгновенные значения $URE_{GlobalAverage}(SV_h, t)$ и $URE_{WorstCase}(SV_h, t)$. Для каждого пригодного НКА на суточном интервале определяется суточная надежность, как вероятность непревышения мгновенными значениями $URE_{GlobalAverage}(SV_h, t)$ и $URE_{WorstCase}(SV_h, t)$ 18-метрового порога:

$$R_{URE_GlobalAverage_day}(SV_h, t_{day}) = \frac{\sum R_{URE_GlobalAverage}(SV_h, t)}{N_t},$$

$$R_{URE_GlobalAverage}(SV_h, t) = \begin{cases} 1, & URE_{GlobalAverage}(SV_h, t) \leq 18 \text{ м} \\ 0, & URE_{GlobalAverage}(SV_h, t) > 18 \text{ м} \end{cases}$$

$$R_{URE_WorstCase_day}(SV_h, t_{day}) = \frac{\sum R_{URE_WorstCase}(SV_h, t)}{N_t},$$

$$R_{URE_WorstCase}(SV_h, t) = \begin{cases} 1, & URE_{WorstCase}(SV_h, t) \leq 18 \text{ м} \\ 0, & URE_{WorstCase}(SV_h, t) > 18 \text{ м} \end{cases}$$

2) Из полученных значений суточной надежности для каждого пригодного НКА определяются средние на годовом интервале значения надежности (**Global Average Reliability** и **Worst Case Single Point Reliability**):

$$R_{URE_GlobalAverage_year}(SV_h) = \frac{\sum R_{URE_GlobalAverage_day}(SV_h, t_{day})}{N_{t_{day}}},$$

$$R_{URE_WorstCase_year}(SV_h) = \frac{\sum R_{URE_WorstCase_day}(SV_h, t_{day})}{N_{t_{day}}},$$

где $N_{t_{day}}$ — количество суточных интервалов.

A.2.2 Методика расчета точности CSA SIS URRE

A.2.2.1 Методика расчета точности CSA SIS URRE на основе перебора потребителей в зоне действия НКА

- 1) На каждый момент времени с постоянным шагом (3 с) для каждого пригодного НКА в каждой точке его зоны действия определяются мгновенные скорости изменения URE:

$$URRE(\varphi, \lambda, SV_h, t) = \frac{URE(\varphi, \lambda, SV_h, t + 3 \text{ с}) - URE(\varphi, \lambda, SV_h, t)}{3 \text{ с}}.$$

- 2) На каждый момент времени для каждого пригодного НКА определяется средняя (СКП) по его зоне действия мгновенная скорость изменения URE:

$$URRE_{GlobalAverage}(SV_h, t) = \sigma_{\varphi \text{ cov}, \lambda \text{ cov}}[URRE(\varphi, \lambda, SV_h, t)] = \sqrt{\frac{\sum_{\varphi \text{ cov}, \lambda \text{ cov}} URRE^2(\varphi, \lambda, SV_h, t)}{N_{SitesCov}}},$$

где $\varphi \text{ cov}, \lambda \text{ cov}, N_{SitesCov}$ — широта, долгота, количество точек в зоне действия НКА.

- 3) Для каждого пригодного НКА определяется значение, соответствующее 95%-му уровню распределения $URRE_{GlobalAverage}(SV_h, t)$ по времени (95% Global Average URRE) на эргодическом интервале (1 сутки): $URRE_{95\% \text{ ergod_GlobalAverage}}(SV_h)$.

Примечание: Для подтверждения характеристик целесообразно представить значения, полученные на «скользящем» эргодическом интервале в течение года.

A.2.2.2 Методика расчета точности CSA SIS URRE на основе выводов из короткопериодической нестабильности БСУ

- 1) На эргодическом интервале оценки (1 сутки) определяется значение вариации Аллана БСУ при минимально возможном интервале осреднения (k секунд) для каждого пригодного НКА в ОГ:

$$\sigma_{БСУ_k_day}(SV_h).$$

- 2) Значение, соответствующее 95%-му уровню распределения $URRE_{GlobalAverage}(SV_h, t)$ по времени (95% Global Average URRE) на эргодическом интервале (1 сутки) может быть оценено, как вклад нестабильности БСУ на 3-секундном интервале в погрешность псевдодалности, отнесенный ко времени:

$$URRE_{95\%ergod_GlobalAverage}(SV_h) = \frac{\sigma_{BCU_k_day}(SV_h) \cdot \sqrt{k/3} \cdot 3 \cdot 10^9 \cdot 0.3 \cdot 1,95}{3}.$$

Примечания:

- 1) Для подтверждения характеристик целесообразно представить значения, полученные на «скользящем» эргодическом интервале в течение года;
- 2) При суточной нестабильности БСУ = $1 \cdot 10^{-13}$ значение 95% global average URRE составляет 0,01 м/с.

A.2.3 Методика расчета точности CSA SIS URAE

A.2.3.1 Методика расчета точности CSA SIS URAE на основе перебора потребителей в зоне действия НКА

- 1) На каждый момент времени для каждого пригодного НКА в каждой точке его зоны действия НКА определяются мгновенные скорости изменения URRE (ускорения изменения URE):

$$URAE(\varphi, \lambda, SV_h, t) = \frac{URRE(\varphi, \lambda, SV_h, t + 3c) - URRE(\varphi, \lambda, SV_h, t)}{3c}.$$

- 2) На каждый момент времени для каждого пригодного НКА определяется средняя (СКП) по его зоне действия мгновенная скорость изменения URE:

$$URAE_{GlobalAverage}(SV_h, t) = \sigma_{\varphi cov, \lambda cov}[URAE(\varphi, \lambda, SV_h, t)] = \sqrt{\frac{\sum_{\varphi cov, \lambda cov} URAE^2(\varphi, \lambda, SV_h, t)}{N_{SitesCov}}},$$

где $\varphi cov, \lambda cov, N_{SitesCov}$ — широта, долгота, количество точек в зоне действия НКА.

- 3) Для каждого пригодного НКА определяется значение, соответствующее 95%-ному уровню распределения $URAE_{GlobalAverage}(SV_h, t)$ по времени (95% Global Average URAE) на эргодическом интервале (1 сутки): $URAE_{95\%ergod_GlobalAverage}(SV_h)$.

Примечание: Для подтверждения характеристик целесообразно представить значения, полученные на «скользящем» эргодическом интервале в течение года.

A.2.3.2 Методика расчета точности CSA SIS URAE на основе выводов из короткопериодической нестабильности БСУ

1) На эргодическом интервале оценки (1 сутки) определяется значение вариации Аллана БСУ при минимально возможном интервале осреднения (k секунд) для каждого пригодного НКА в ОГ:
 $\sigma_{\text{БСУ_k_day}}(SV_h)$.

2) Значение, соответствующее 95%-му уровню распределения $URAE_{\text{GlobalAverage}}(SV_h, t)$ по времени (95% Global Average URAE) на эргодическом интервале (1 сутки) может быть оценено, как вклад нестабильности БСУ на 3-секундном интервале в погрешность псевдодальности, отнесенный ко времени:

$$URAE_{95\% \text{ergod_GlobalAverage}}(SV_h) = \frac{\sigma_{\text{БСУ_k_day}}(SV_h) \cdot \sqrt{k/3} \cdot 3 \cdot 10^9 \cdot 0.3 \cdot 1,95}{9}.$$

Примечания:

1) Для подтверждения характеристик целесообразно представить значения, полученные на «скользящем» эргодическом интервале в течение года;

2) При суточной нестабильности БСУ $= 1 \cdot 10^{-13}$ значение 95% global average URAE составляет 0,0033 м/с.

A.2.4 Методика расчета точности CSA SIS UTCOE

1) На каждый момент времени с постоянным шагом (≤ 10 мин) для каждого пригодного НКА определяется погрешность поправки ШВС–UTC (SU), передаваемой в составе навигационного сообщения (UTCOE), как разница между передаваемой поправкой и значением ШВС–UTC (SU), полученным эталонными средствами: $UTCOE(SV_h, t)$.

2) Для каждого пригодного НКА определяется значение, соответствующее 95%-му уровню распределения $UTCOE(SV_h, t)$ по времени (95% Global Average UTCOE) на эргодическом интервале (30 суток):
 $UTCOE_{95\% \text{ergod_GlobalAverage}}(SV_h)$.

Примечание: Для подтверждения характеристик целесообразно представить значения, полученные на «скользящем» эргодическом интервале в течение года.

А.3 Методика расчета вероятности основного отказа обслуживания (Probability of CSA Major Service Failure)

- 1) Для каждого НКА на каждый момент времени t с постоянным шагом ($S \leq 10$ мин) определяется его пригодность (H_flag) по наличию отслеживаемого сигнала и признакам в навигационном сообщении:

$$H_flag=0 \text{ (пригоден), если сигнал отслеживается, } B_n(l_n)=0 \text{ и } C_n=1$$

Параметры $B_n(l_n)$ и C_n описаны в ИКД ГЛОНАСС.

- 2) Для каждого пригодного НКА на каждый момент времени t определяются мгновенные значения $URE_{WorstCase}(SV_h, t)$.

- 3) Для каждого пригодного НКА на каждый момент времени t определяется значение логической функции наличия на момент t основного отказа обслуживания

$$F_{MSF}(SV_h, t_i) = \begin{cases} 1, & (H_flag(SV_h, t_i) = 0) \& (URE_{WorstCase}(SV_h, t_i) > 70 \text{ м}) \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

- 4) Для каждого пригодного НКА на момент времени t определяется значение логической функции наличия на момент t основного отказа обслуживания за счет единичных независимы отказов:

$$F_{MSF_SAT}(SV_h, t_i) = \begin{cases} 1, & (F_{MSF}(SV_h, t_i) = 1) \& (\forall k \neq h, F_{MSF}(SV_k, t_i) = 0) \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

- 5) Для каждого пригодного НКА на момент времени t определяется значение логической функции наличия на момент t основного отказа обслуживания за счет системных отказов (одновременного отказа двух и более НКА):

$$F_{MSF_CONST}(t_i) = \begin{cases} 1, & (F_{MSF}(SV_h, t_i) = 1) \& (\exists k \neq h, F_{MSF}(SV_k, t_i) = 1) \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

- 6) Определяется среднее на годовом интервале значение вероятности отказа основного обслуживания за счет единичных независимых отказов (**Probability of single major service failure**) как отношение суммарной продолжительности единичных отказов за год к интервалу оценки и количеству НКА:

$$P_{SAT} = \frac{\sum_{SV_h} \sum_{t_i} F_{MSF_SAT}(SV_h, t_i) \cdot S}{N_t \cdot S \cdot N_{SV}} = \frac{\sum_{SV_h} \sum_{t_i} F_{MSF_SAT}(SV_h, t_i)}{N_t \cdot N_{SV}},$$

где N_t — количество моментов оценки на годовом интервале;

N_{SV} — номинальное количество НКА в ОГ (для ГЛОНАСС — 24).

- 7) Определяется среднее на всем интервале доступных измерений значение вероятности отказа основного обслуживания за счет системных отказов (**Probability of multiple major service failure**) как отношение суммарной продолжительности системных отказов на всем интервале доступных измерений к интервалу оценки:

$$P_{SAT} = \frac{\sum_{t_i} F_{MSF_CONST}(SV_h, t_i) \cdot S}{N_t \cdot S} = \frac{\sum_{t_i} F_{MSF_CONST}(SV_h, t_i)}{N_t},$$

где N_t — количество моментов оценки на всем интервале доступных измерений.

A.4 Методика расчета непрерывности CSA SIS (CSA SIS Continuity)

- 1) Для каждого НКА на каждый момент времени t с постоянным шагом (≤ 10 мин) определяется его пригодность (H_flag) по наличию отслеживаемого сигнала и признакам в навигационном сообщении:

$$H_flag=0 \text{ (пригоден), если сигнал отслеживается, } B_n(I_n)=0 \text{ и } C_n=1.$$

Параметры $B_n(I_n)$ и C_n описаны в ИКД ГЛОНАСС.

- 2) На момент времени t определяется наличие оповещения за 48 ч запланированном перерыве в работе НКА ($NAGU_flag$) по сообщениям NAGU:

$$NAGU_flag=1 \text{ (было своевременное оповещение).}$$

- 3) Для каждого пригодного НКА на каждый момент времени t определяется значение логической функции непригодности НКА без предварительного оповещения:

$$F_{CON}(SV_h, t_i) = \begin{cases} 1, & (H_flag(SV_h, t_i) = 1) \& (NAGU_flag(t_i) = 0) \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}.$$

- 4) Для каждого НКА на момент времени t_{hour} с постоянным шагом (≤ 1 ч) определяется значение логической функции потери непрерывности на часовом интервале (потеря пригодности НКА в течение часа при пригодности НКА в начале часа и отсутствия оповещения за 48 ч до потери пригодности):

$$F_{CON_hour}(SV_h, t_{hour}) = \begin{cases} 1, & (H_flag(SV_h, t_{hour}) = 0) \& (\exists t_i \in (t_{hour}, t_{hour} + 1 \text{ ч}), F_{CON}(SV_h, t_i) = 1) \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

- 5) Определяется среднее на годовом интервале значение непрерывности по всей ОГ (**SIS Continuity**) как отношение количества часовых интервалов без потери непрерывности к общему количеству часовых интервалов и количеству НКА:

$$P_{CON} = \frac{\sum_{SV_h} \sum_{t_{hour}} (1 - F_{CON_hour}(SV_h, t_{hour}))}{N_{hours} \cdot N_{SV}},$$

где N_{hours} — количество часовых интервалов;

N_{SV} — номинальное количество НКА в ОГ (для ГЛОНАСС — 24).

A.5 Методики расчета доступности CSA SIS

A.5.1 Методика расчета доступности орбитальной точки CSA SIS (CSA SIS Per-slot Availability)

- 1) Для каждого НКА на каждый момент времени t с постоянным шагом (≤ 10 мин) определяется его пригодность (H_flag) по наличию отслеживаемого сигнала и признакам в навигационном сообщении:

$$H_flag=0 \text{ (пригоден), если сигнал отслеживается, } B_n(I_n)=0 \text{ и } C_n=1.$$

Параметры $B_n(I_n)$ и C_n описаны в ИКД ГЛОНАСС.

- 2) Определяется среднее на годовом интервале значение доступности орбитальной точки по всей ОГ (**SIS Per-Slot Availability**):

$$A_{per-slot} = \frac{\sum_{SV_h} \sum_t (1 - H_flag(SV_h, t))}{N_t \cdot N_{SV}},$$

где N_t — количество моментов оценки;

N_{SV} — номинальное количество НКА в ОГ (для ГЛОНАСС — 24).

A.5.2 Методика расчета доступности ОГ CSA SIS (CSA SIS Constellation Availability)

- 1) Для каждого НКА на каждый момент времени t с постоянным шагом (≤ 10 мин) определяется его пригодность (H_flag) по наличию отслеживаемого сигнала и признакам в навигационном сообщении:

$$H_flag=0 \text{ (пригоден), если сигнал отслеживается, } B_n(I_n)=0 \text{ и } C_n=1.$$

Параметры $B_n(I_n)$ и C_n описаны в ИКД ГЛОНАСС.

- 2) На каждый момент времени t определяется число пригодных НКА в ОГ (N_{SV_H}):

$$N_{SV_H}(t) = \sum_{SV} (1 - H_flag(SV, t)).$$

- 3) На каждый момент времени t определяется значение логической функции отсутствия в ОГ 21 пригодного НКА:

$$F_{SV_H<21}(t) = \begin{cases} 1, & N_{SV_H}(t) < 21 \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}.$$

- 4) Определяется среднее на годовом интервале значение доступности ОГ (**Constellation Availability**) как отношение количества моментов оценки с не менее чем 21 пригодным НКА в ОГ к общему количеству моментов оценки:

$$A_{SV_H} = \frac{\sum_t (1 - F_{SV_H<21}(t))}{N_t},$$

где N_t — количество моментов оценки.

А.6 Методики расчета характеристик местоопределения и определения времени CSA

А.6.1 Методика расчета доступности навигационного поля CSA (CSA PDOP Availability)

- 1) На каждый момент времени с постоянным шагом (≤ 10 мин) для каждой точки зоны действия ОГ (с постоянным шагом по долготе (1 градус) и переменным шагом по широте для обеспечения равенства площадей) определяется значение $PDOP(t, \varphi, \lambda)$ по всем пригодным к использованию НКА на углах места больше 5 градусов.
- 2) Рассчитывается локальная доступность для каждой точки на суточном интервале как отношение числа моментов времени, где $PDOP(t, \varphi, \lambda)$ не превышает 6, к общему числу моментов времени (N_t):

$$A_{PDOP_Local}(\varphi, \lambda) = \frac{\sum_t A_{PDOP_Inst}(t)}{N_t},$$

$$A_{PDOP_Inst}(t) = \begin{cases} 1, & PDOP(t, \varphi, \lambda) \leq 6 \\ 0, & PDOP(t, \varphi, \lambda) > 6 \end{cases}$$

- 3) Из полученных для каждой точки значений суточной локальной доступности рассчитывается глобальная доступность (**Global PDOP Availability**):

$$A_{PDOP_Global} = \frac{\sum_{\varphi, \lambda} A_{PDOP_Local}(\varphi, \lambda)}{N_{Sites}}.$$

- 4) Из полученных для каждой точки значений суточной локальной доступности выбирается наихудшее (наименьшее) значение (**Worst Site PDOP Availability**) суточной локальной доступности:

$$A_{PDOP_WorstSite} = \min_{\varphi, \lambda} [A_{PDOP_Local}(\varphi, \lambda)].$$

Примечание: Для подтверждения характеристик целесообразно представить на годовом интервале последовательные значения глобальной суточной доступности с шагом 30 мин, т.е. каждым суткам номинально соответствует 48 значений, каждое из которых получено на предшествующем суточном интервале.

А.6.2 Методика расчета точности местоопределения CSA (CSA Positioning error)

- 1) На каждый момент времени с постоянным шагом (≤ 10 мин) для каждого пригодного НКА определяется разность апостериорных и штатных эфемерид (по радиусу, по бинормали, по нормали) и часов:

$$\Delta R(SV_h, t), \Delta B(SV_h, t), \Delta N(SV_h, t), \Delta T(SV_h, t),$$

где SV_h — НКА, пригодный по признакам в навигационном сообщении.

- 2) На каждый момент времени для каждого пригодного НКА на углах места больше 5 градусов в каждой точке зоны действия ОГ (с постоянным шагом по долготе (1 градус) и переменным шагом по широте для обеспечения равенства площадей) при условии $PDOP < 6$ определяются мгновенные погрешности псевдодальности $\{URE(\varphi, \lambda, SV_h, t)\}$, для чего разность апостериорных и штатных эфемерид, и часов проектируется на направление из точки на НКА. Т.е. для каждой точки на поверхности Земли определяются реальные наблюдаемые ошибки космического сегмента каждого НКА.
- 3) В результате решения параметрической навигационной задачи для каждой точки в каждый момент времени определяется вертикальная ($VPE(\varphi, \lambda, t)$ – Vertical Position Error) и горизонтальная ($HPE(\varphi, \lambda, t)$ – Horizontal Position Error) погрешности местоопределения.
- 4) Для каждой точки определяется значение, соответствующее 95%-ному уровню распределения $HPE(\varphi, \lambda, t)$ по времени на суточном интервале:
- $$HPE_{95\%day}(\varphi, \lambda).$$
- 5) Для каждой точки определяется значение, соответствующее 95%-му уровню распределения $VPE(\varphi, \lambda, t)$ по времени на суточном интервале:
- $$VPE_{95\%day}(\varphi, \lambda).$$
- 6) Определяется среднее (СКП) по всем точкам поверхности значение 95%-ной суточной HPE (Global Average 95% Horizontal Position Error):

$$HPE_{GlobalAverage95\%day} = \sigma_{\varphi, \lambda} [HPE_{95\%day}] = \sqrt{\frac{\sum_{\varphi, \lambda} HPE_{95\%day}^2(\varphi, \lambda)}{N_{sites}}},$$

где N_{sites} — количество точек на поверхности.

- 7) Определяется среднее (СКП) по всем точкам поверхности значение 95%-ной суточной VPE (**Global Average 95% Vertical Position Error**):

$$VPE_{GlobalAverage95\%day} = \sigma_{\varphi,\lambda}[VPE_{95\%day}] = \sqrt{\frac{\sum_{\varphi,\lambda} VPE_{95\%day}^2(\varphi, \lambda)}{N_{sites}}},$$

где N_{sites} — количество точек на поверхности.

- 8) Определяется максимальное среди точек поверхности значение 95%-ной суточной HPE (**Worst Site 95% Horizontal Position Error**):

$$HPE_{WorstSite95\%day} = \max_{\varphi,\lambda}[HPE_{95\%day}(\varphi, \lambda)].$$

- 9) Определяется максимальное среди точек поверхности значение 95%-ной суточной VPE (**Worst Site 95% Vertical Position Error**):

$$VPE_{WorstSite95\%day} = \max_{\varphi,\lambda}[VPE_{95\%day}(\varphi, \lambda)].$$

Примечание: Для подтверждения характеристик целесообразно представить значения, полученные на «скользящем» суточном интервале в течение года.

A.6.3 Методика расчета доступности CSA (CSA Service Availability)

- 1) На каждый момент времени t_{day} с постоянным шагом (≤ 1 суток) определяется $URE_{95\%day_GlobalAverage_costellation}$ (см п. 2.1.2).
- 2) На каждый момент времени с постоянным шагом (≤ 10 мин) для каждой точки зоны действия ОГ (с постоянным шагом по долготе (1 градус) и переменным шагом по широте для обеспечения равенства площадей) определяются значения $HDOP(t, \varphi, \lambda)$ и $VDOP(t, \varphi, \lambda)$ по всем пригодным к использованию НКА на углах места больше 5.
- 3) Рассчитывается локальная доступность горизонтального местоопределения для каждой точки на суточном интервале как отношение числа моментов времени, где спрогнозированная путем перемножения $URE_{95\%day_GlobalAverage_costellation}$ и $HDOP(t, \varphi, \lambda)$ погрешность местоопределения в горизонтальной плоскости не превышает 12 м, к общему числу моментов времени на суточном интервале $[t_{day}-24 \text{ ч}, t_{day}]$:

$$A_{\text{HPE}_{95\% \text{ day_Local}}}(\varphi, \lambda) = \frac{\sum_{t_{\text{day}}-24\text{ч}}^{t_{\text{day}}} A_{\text{HPE}_{95\%}}(t)}{N_t},$$

$$A_{\text{HPE}_{95\%}}(t) = \begin{cases} 1, & \text{URE}_{95\% \text{ day_GlobalAverage_costellation}} \cdot \text{HDOP}(\varphi, \lambda, t) \leq 12 \text{ м} \\ 0, & \text{URE}_{95\% \text{ day_GlobalAverage_costellation}} \cdot \text{HDOP}(\varphi, \lambda, t) > 12 \text{ м} \end{cases}$$

где N_t — количество моментов оценки на суточном интервале.

- 4) Из полученных для каждой точки значений локальной доступности рассчитывается средняя по поверхности доступность горизонтального местоопределения (**Horizontal Service Availability, average location**):

$$A_{\text{HPE_GlobalAverage}} = \frac{\sum_{\varphi, \lambda} A_{\text{HPE}_{95\% \text{ day_Local}}}(\varphi, \lambda)}{N_{\text{Sites}}},$$

где N_{sites} — количество точек на поверхности.

- 5) Из полученных для каждой точки значений локальной доступности выбирается наихудшее (наименьшее) среди точек поверхности значение локальной доступности горизонтального местоопределения (**Horizontal Service Availability, worst-case location**):

$$A_{\text{HPE_WorstSite}} = \min_{\varphi, \lambda} [A_{\text{HPE}_{95\% \text{ day_Local}}}(\varphi, \lambda)].$$

- 6) Рассчитывается локальная доступность вертикального местоопределения для каждой точки на суточном интервале как отношение числа моментов времени, где спрогнозированная путем перемножения $\text{URE}_{95\% \text{ day_GlobalAverage_costellation}}$ и $\text{VDOP}(t, \varphi, \lambda)$ погрешность местоопределения в вертикальной плоскости не превышает 25 м, к общему числу моментов времени на суточном интервале [$t_{\text{day}}-24 \text{ ч}$, t_{day}]:

$$A_{\text{VPE}_{95\% \text{ day_Local}}}(\varphi, \lambda) = \frac{\sum_{t_{\text{day}}-24\text{ч}}^{t_{\text{day}}} A_{\text{VPE}_{95\%}}(t)}{N_t},$$

$$A_{\text{VPE}_{95\%}}(t) = \begin{cases} 1, & \text{URE}_{95\% \text{ day_GlobalAverage_costellation}} \cdot \text{VDOP}(\varphi, \lambda, t) \leq 25 \text{ м} \\ 0, & \text{URE}_{95\% \text{ day_GlobalAverage_costellation}} \cdot \text{VDOP}(\varphi, \lambda, t) > 25 \text{ м} \end{cases}$$

- 7) Из полученных для каждой точки значений локальной доступности рассчитывается средняя по поверхности доступность вертикального местоопределения (**Vertical Service Availability, average location**):

$$A_{\text{VPE_GlobalAverage}} = \frac{\sum_{\varphi, \lambda} A_{\text{VPE}_{95\% \text{ day_Local}}}(\varphi, \lambda)}{N_{\text{Sites}}},$$

где N_{sites} — количество точек на поверхности.

- 8) Из полученных для каждой точки значений локальной доступности выбирается наихудшее (наименьшее) среди точек поверхности значение локальной доступности вертикального местоопределения (**Vertical Service Availability, worst-case location**):

$$A_{VPE_WorstSite} = \min_{\varphi, \lambda} [A_{VPE_95\% \text{ day_Local}}(\varphi, \lambda)].$$

Примечание: Для подтверждения характеристик целесообразно представить значения, полученные на «скользящем» годовом интервале в течение нескольких лет.

А.6.4 Методика расчета точности передачи времени CSA (CSA Time transfer accuracy)

- 1) На каждый момент времени с постоянным шагом (≤ 10 мин) для каждого пригодного НКА определяется разность апостериорных и штатных эфемерид (по радиусу, по бинормали, по нормали), и часов:

$$\Delta R(SV_h, t), \Delta B(SV_h, t), \Delta N(SV_h, t), \Delta T(SV_h, t),$$

где SV_h — НКА, пригодный по признакам в навигационном сообщении.

- 2) На каждый момент времени для каждого пригодного НКА на углах места больше 5 градусов в каждой точке зоны действия ОГ (с постоянным шагом по долготе (1 градус) и переменным шагом по широте для обеспечения равенства площадей) при условии PDOP < 6 определяются мгновенные погрешности псевдодальности ($URE(\varphi, \lambda, SV_h, t)$), для чего разность апостериорных и штатных эфемерид, и часов проектируется на направление из точки на НКА. Т.е. для каждой точки на поверхности Земли определяются реальные наблюдаемые ошибки космического сегмента каждого НКА.
- 3) В результате решения четырехпараметрической навигационной задачи для каждой точки в каждый момент времени определяется погрешность определения времени относительно системной шкалы времени ГЛОНАСС ($UTE(\varphi, \lambda, t)$ – User Time Error).
- 4) Для каждой точки определяется значение, соответствующее 95%-ному уровню распределения $HPE(\varphi, \lambda, t)$ по времени на суточном интервале: $UTE_{95\% \text{ day}}(\varphi, \lambda)$.

- 5) Определяется среднее (СКП) по всем точкам поверхности значение 95%-ной суточной UTE:

$$\sigma_{\varphi, \lambda} [UTE_{95\% \text{ day}}] = \sqrt{\frac{\sum_{\lambda, \varphi} UTE_{95\% \text{ day}}^2(\varphi, \lambda)}{N_{\text{sites}}}},$$

где N_{sites} — количество точек на поверхности.

- 6) Для каждого пригодного НКА в каждый момент времени определяются 95%-ные суточные погрешности поправки ШВС–UTC (SU), передаваемой в составе навигационного сообщения ($UTC_{COE_{95\% \text{ day}}}(SV_h)$).

Определяется среднее (СКП) по всем пригодным НКА значение 95%-ной суточной UTCOE:

$$\sigma_{SV_h} [UTC_{COE_{95\% \text{ day}}}] = \sqrt{\frac{\sum_{SV_h} UTC_{COE_{95\% \text{ day}}}^2(SV_h)}{N_{SV_h}}}.$$

- 7) Определяется среднее (СКП) по всем точкам поверхности значение 95%-ной суточной погрешности передачи времени (**Global Average 95% Time Transfer Error**):

$$TTE_{GlobalAverage95\% \text{ day}} = \sqrt{\sigma_{\varphi, \lambda} [UTE_{95\% \text{ day}}]^2 + \sigma_{SV_h} [UTC_{COE_{95\% \text{ day}}}]^2}.$$

Примечание: Для подтверждения характеристик целесообразно представить значения, полученные на «скользящем» суточном интервале в течение года.