



ГЛОБАЛЬНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА

ГЛОНАСС

Стандарт эксплуатационных характеристик открытого сервиса (СТЭХОС)

ПРИЛОЖЕНИЕ С ОЦЕНКА ТЕКУЩИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК И ЧАСТОТЫ ОТКАЗОВ

Редакция 2.2
(6.2019)

Королёв
2019 г.

[Чистая страница.]

СОДЕРЖАНИЕ

С.1	Оценка эксплуатационных характеристик открытого сервиса (открытых услуг) ГЛОНАСС.....	4
С.1.1	Программные и технические средства оценки эксплуатационных характеристик.....	4
С.1.2	Оценки зоны действия.....	6
С.1.3	Оценка точности CSA SIS.....	6
С.1.3.1	Оценка точности CSA SIS URE.....	6
С.1.3.2	Оценка точности CSA SIS URRE.....	8
С.1.3.3	Оценка точности CSA SIS URAE.....	9
С.1.3.4	Оценка точности CSA SIS UTCOE.....	10
С.1.4	Оценка вероятности основного отказа обслуживания (Probability of CSA Major Service Failure).....	11
С.1.5	Результаты оценки непрерывности SIS ОС ГЛОНАСС.....	11
С.1.6	Оценка доступности CSA SIS.....	13
С.1.6.1	Оценка доступности орбитальной точки CSA SIS (CSA SIS Per-slot Availability).....	13
С.1.6.2	Оценка доступности ОГ CSA SIS (CSA SIS Constellation Availability).....	13
С.1.7	Оценка характеристик местоопределения и определения времени CSA.....	14
С.1.7.1	Оценка доступности навигационного поля CSA (PDOP Availability).....	14
С.1.7.2	Оценка точности местоопределения CSA (CSA Positioning error).....	14
С.1.7.3	Оценка доступности CSA (CSA Service Availability).....	15
С.1.7.4	Оценка точности передачи времени CSA (CSA Time transfer accuracy).....	18
С.2	Оценка частоты отказов ГЛОНАСС по результатам мониторинга.....	19

С.1 Оценка эксплуатационных характеристик открытого сервиса (открытых услуг) ГЛОНАСС

С.1.1 Программные и технические средства оценки эксплуатационных характеристик

Оценка проводилась на основе исходных данных, формируемых в ИАЦ КВНО (www.glonass-center.ru) штатным адаптируемым комплексом высокоточных программно-аппаратных средств для анализа эфемеридно-временной информации и параметров радионавигационного поля (РНП) космических навигационных систем (КНС) «АКВАПАС», созданным и эксплуатируемым в рамках темы «ИАЦ-ЭКС». Оценка функциональных характеристик ГЛОНАСС и GPS включает анализ штатной эфемеридно-временной информации (ЭВИ) на основе сравнения с собственными эталонными результатами определения орбит и частотно-временных поправок (ЧВП). АКВАПАС зарегистрирован в Государственном реестре под № 46393-11 и допущен к применению в Российской Федерации (свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.E.27.018.№42157). Рекомендованной в приложении к свидетельству об утверждении типа областью применения АКВАПАС является «выполнение работ по оценке промышленной продукции и продукции других видов, а также иных объектов установленным законодательством Российской Федерации обязательным требованиям, осуществление мероприятий государственного контроля (надзора)». Оценки точности псевдодалности получены в результате статистической обработки разностей апостериорной и штатной ЭВИ, рассчитанной по финальным данным ИАЦ КВНО и данным, принятым глобальной сетью БИС в составе навигационных сообщений открытых навигационных сигналов.

При обработке навигационных файлов считается, что эфемериды ГЛОНАСС можно пользоваться в течение ± 15 мин от времени ее привязки. Предполагается, что обновление ЭВИ может происходить только при переходе к следующему набору данных, т.е. в 0 и 30 мин каждого часа. Смена признака пригодности может происходить в любой момент времени. Время смены признака пригодности выбирается как наиболее ранее из всех доступных времен начала кадра. При интегрировании штатных эфемерид ГЛОНАСС учитывается отсечение младших разрядов вместо округления, что позволяет несколько снизить ошибки распространения эфемерид, которые за 15 мин могут достигать 1 м.

Апостериорная ЭВИ ИАЦ КВНО уточняется по измерениям примерно 70 БИС 1 раз в сутки с задержкой около 5 суток. Уточнение финальной ЭВИ производится на двухсуточном интервале по непосредственным фазовым и кодовым измерениям всех КА ГЛОНАСС и GPS с использованием моделей обработки, рекомендованных IERS Standards 2010. Состав уточняемых параметров включает: начальные условия в геоцентрической небесной системе координат GCRF, параметры силы светового давления, эмпирические

ускорения, псевдоимпульсы КА GPS, координаты всех БИС, зенитные тропосферные погрешности, оценки разности системных шкал ГЛОНАСС и GPS всей комбинированной НАП, мгновенные поправки часов всех БИС и НКА, а также неоднозначности всех сеансов фазовых измерений. Типичная размерность решения составляет около 80 тысяч параметров. Формирование финальной ЭВИ производится на интервале центральных суток каждого ежедневного решения. СКП финальных апостериорных орбит относительно данных IGS по оценкам ИАЦ КВНО составляет около 8 см, а по оценкам координатора IGS 2.5–3 см. Разница в первую очередь обусловлена использованием координатором центров анализа IGS параметров согласования систем координат (реализуемых разными центрами в каждом отдельном решении) с Международной системой координат ITRF (реализуемой IGS).

Принципиально, что координатор центров анализа IGS не уточняет поправки часов НКА ГЛОНАСС при получении финальных решений. Это обусловлено существенными систематическими погрешностями кодовых измерений за счет частотного разделения сигналов. В соответствии с рекомендациями IGS за ноль выбирается усредненная по всей сети фиктивная НАП, выполняющая непосредственные измерения P1 и P2.

Таким образом, поправки часов ГЛОНАСС, полученные непосредственно в решениях ИАЦ КВНО привязаны к безионосферной комбинации кодовых измерений P1 и P2, усредненной по всей сети НАП. Непосредственное использование этих данных для оценки штатного ЭВО ГЛОНАСС приводит к существенным систематическим погрешностям оценки ЧВП из-за наличия отличных от средней НАП систематических погрешностей измерений средств НКУ. В отличие от ГЛОНАСС у GPS за счет кодового разделения такие погрешности практически не наблюдаются. Более того, по результатам оценки данных на длительных интервалах нет оснований считать, что такие систематические погрешности средств НКУ ГЛОНАСС устойчивы на уровне лучше 1 нс. Это может быть вызвано заменами оборудования средств НКУ, флуктуациями температуры, либо другими причинами. Поэтому в каждом контуре уточнения финальной ЭВИ ИАЦ КВНО производится оценка систематических погрешностей ЧВП относительно финальных данных ИАЦ КВНО на предшествующем 24-суточном интервале. Эти текущие систематики используются во всех контурах уточнения ЭВИ ИАЦ КВНО для согласования апостериорных поправок часов со штатными данными. Уточнение позволяет исключить погрешности часов, вносимые некалиброванной НАП.

Непосредственная разность апостериорной и штатной ЭВИ рассчитывается без использования параметров согласования систем координат. Соответствующая погрешность получается незначительной по сравнению с погрешностями штатных эфемерид. Для ГЛОНАСС номинальное смещение начала системы координат ПЗ–90.11 относительно ITRF в плоскости экватора не передается через эфемериды НКА. Смещение по оси X составляет 3 см, т.е. несущественно по сравнению с реальными ошибками эфемерид.

С.1.2 Оценки зоны действия

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

С.1.3 Оценка точности CSA SIS

С.1.3.1 Оценка точности CSA SIS URE

На рисунке С.1.1 приведены оценки 95% Global Average SIS URE по каждому НКА на эргодическом интервале длительностью 30 суток. Шаг выборки внутри интервала — 10 мин. Шаг представления данных — сутки.

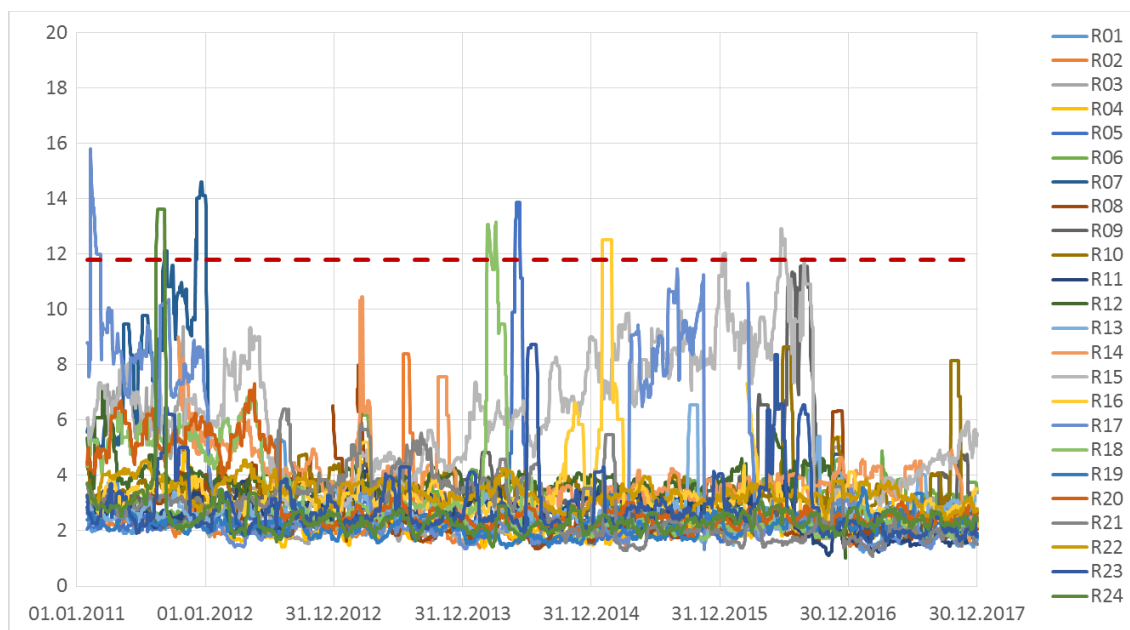


Рисунок С.1.1 — 95%-ная глобальная средняя погрешность псевдодальности за счет космического сегмента (95% Global Average SIS URE) по каждому НКА на 30-суточном интервале

На рисунке С.1.2 представлена оценка осредненных по ОГ характеристик SIS URE. В качестве статистической функции использован как 95%-ный порог. Шаг выборки внутри интервала — 10 мин. Шаг представления данных — 30 мин.

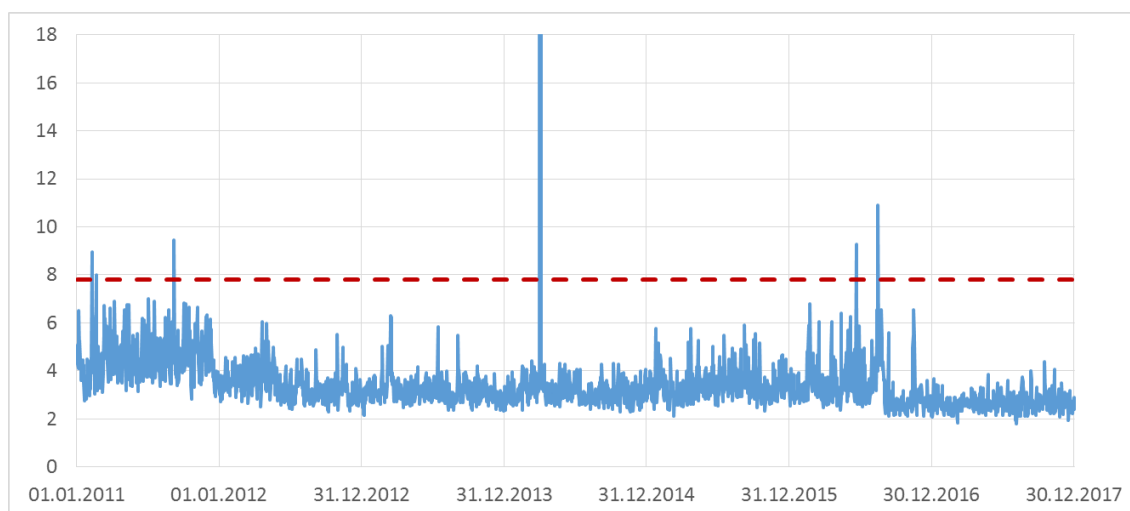


Рисунок С.1.2 — 95%-ная глобальная средняя погрешность псевдодальности за счет космического сегмента (95% Global Average SIS URE) по всем ОГ на суточном интервале

С.1.3.1.1 Оценка надежности CSA SIS URE

На рисунках С.1.3, С.1.4 приведены оценки глобальной средней надежности (Global Average Reliability) и надежности в наихудшей точке (Worst Case Single Point Average Reliability). Характеристики рассчитывались на годовом интервале. Шаг выборки внутри интервала и шаг представления данных — 10 мин.

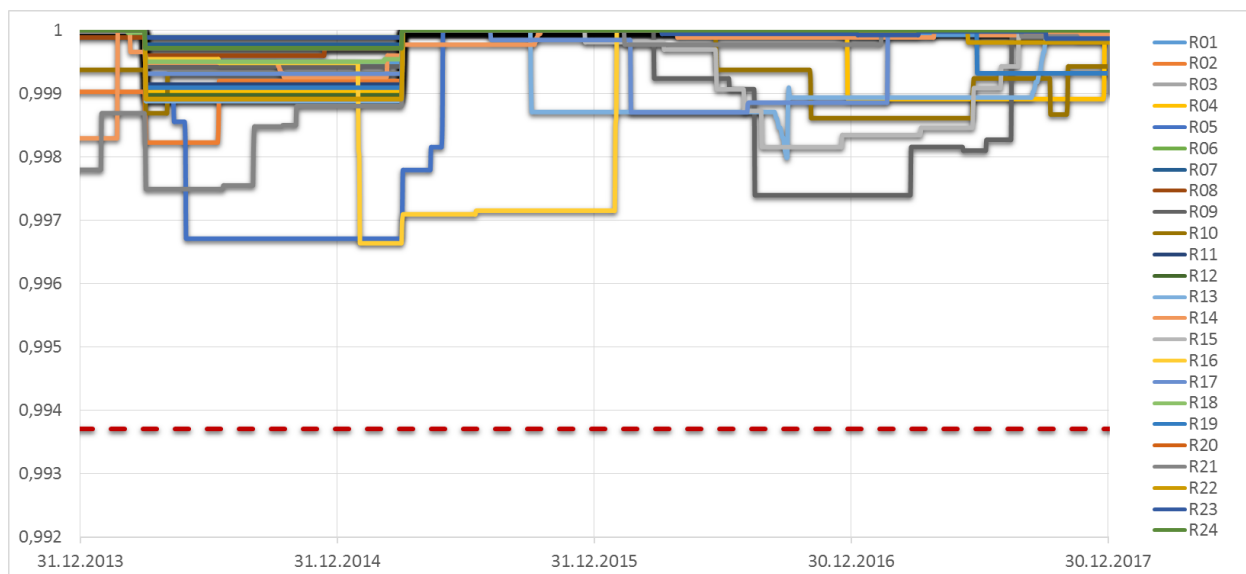


Рисунок С.1.3 — Глобальная средняя надежность по каждому НКА на годовом интервале с посуточным осреднением

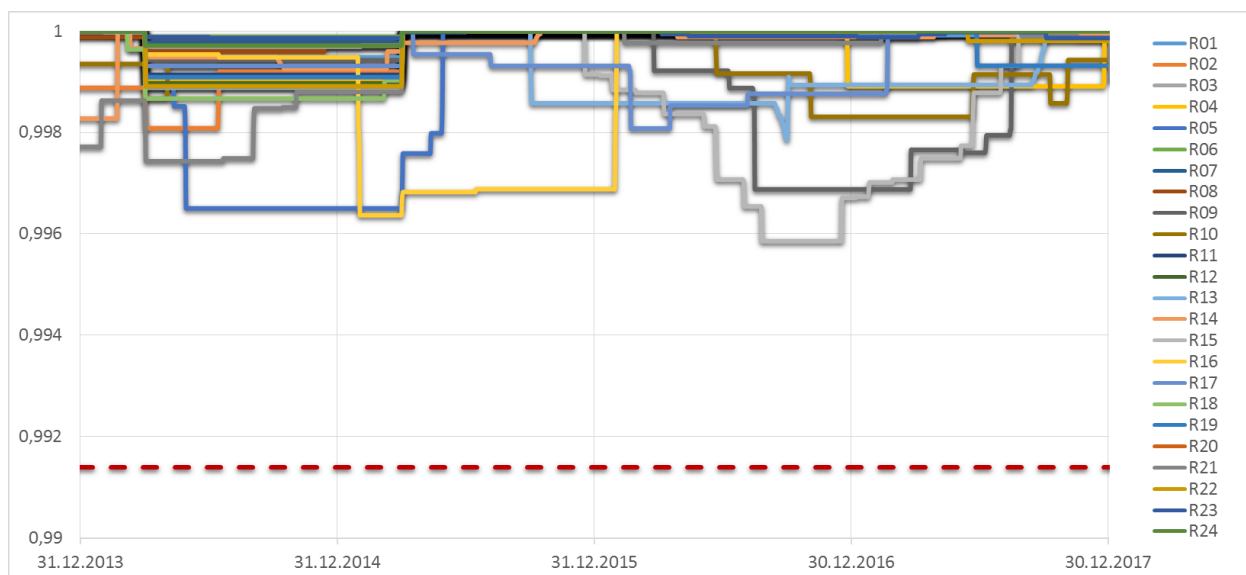


Рисунок С.1.4 — Надежность в наихудшей точке по каждому НКА на годовом интервале с посуточным осреднением

С.1.3.2 Оценка точности CSA SIS URRE

С.1.3.2.1 Оценка точности CSA SIS URRE на основе перебора потребителей в зоне покрытия НКА

Методика не применялась, так как нет распределенной сети эталонных приемников, исключающих все составляющие дополнительных погрешностей (включая систематики приемников и тропосферную задержку) на должном уровне.

С.1.3.2.2 Оценка точности CSA SIS URRE на основе грубого расчета точности CSA SIS URRE на основе приближенных выводов из короткопериодической нестабильности БСУ

На рисунке С.1.5 приведена оценка 95%-го порога глобальной средней скорости изменения погрешности псевдодальности за счет космического сегмента (95% Global Average SIS URRE) по каждому НКА на 23-суточном интервале. Шаг выборки внутри интервала — 3 с, шаг представления данных — 1 сутки.

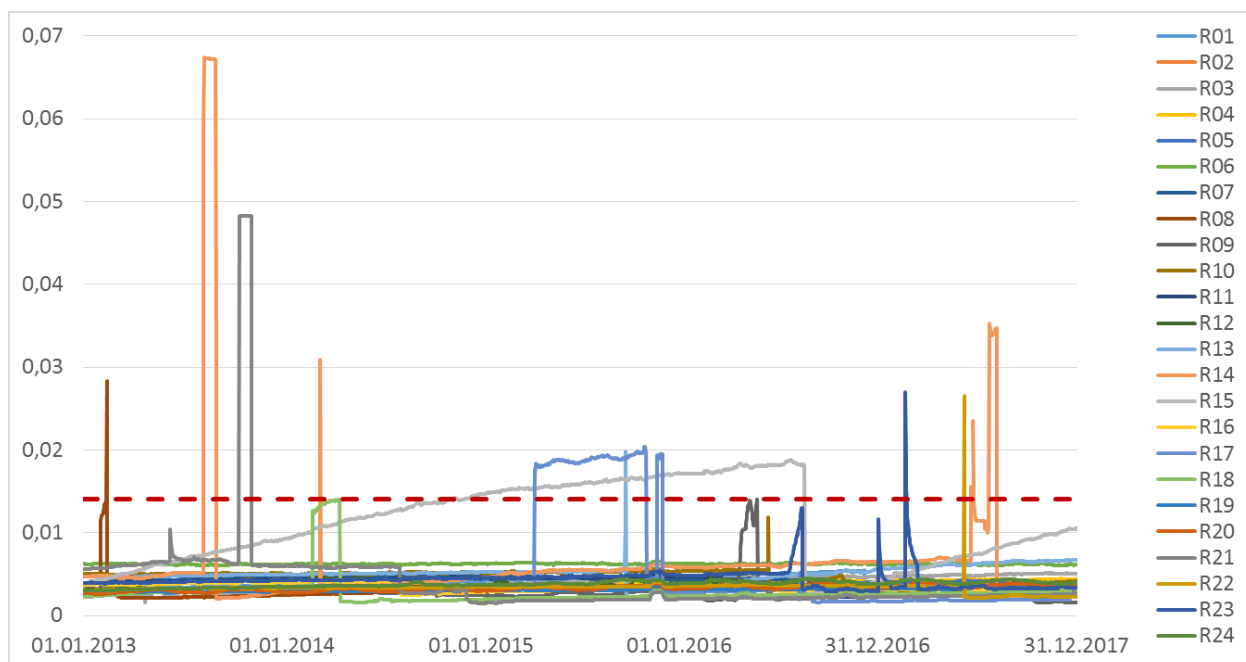


Рисунок С.1.5 — 95%-ная глобальная средняя скорость изменения погрешности псевдодальности за счет космического сегмента (95% Global Average SIS URRE) по каждому НКА на 23-суточном интервале

С.1.3.3 Оценка точности CSA SIS URAE

С.1.3.3.1 Оценка точности CSA SIS URAE на основе перебора потребителей в зоне покрытия НКА

Методика не применялась, так как нет распределенной сети эталонной НАП, исключающей все составляющие дополнительных погрешностей (включая систематики НАП и тропосферную задержку) на должном уровне.

С.1.3.3.2 Оценка точности CSA SIS URAE на основе приближенных выводов из короткопериодической нестабильности БСУ

На рисунке С.1.6 приведена оценка 95%-го порога глобального среднего ускорения изменения погрешности псевдодальности за счет космического сегмента (95% Global Average SIS URAE) по каждому НКА на 23-суточном интервале. Шаг выборки внутри интервала — 3 с, шаг представления данных — 1 сутки.

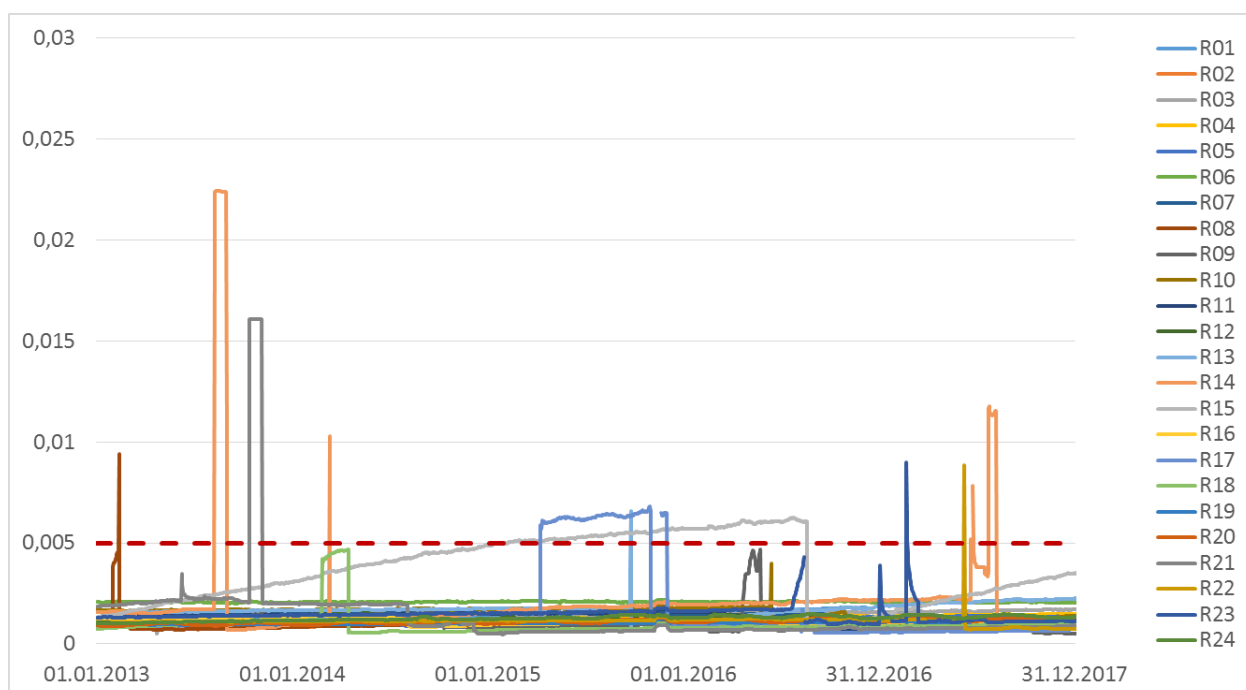


Рисунок С.1.6 — 95%-ное глобальное среднее ускорение изменения погрешности псевдодальности за счет космического сегмента (95% Global Average SIS URAE) по каждому НКА на 23-суточном интервале

Анализ графиков С.1.5 и С.1.6 показывает, что значения SIS URRE и URAE, рассчитанные приблизительно из короткопериодической нестабильности БСУ, укладываются в заданные рамки, вычисленные исходя из суточной нестабильности БСУ $1 \cdot 10^{-13}$. Еще раз отметим, что предложенная методика позволяет определить значения характеристик в соответствии с достаточно грубым приближением, однако отсутствие технической возможности проводить глобально измерения с частотой 1 с и достаточной достоверностью при обработке большого массива измерений разнотипной НАП на настоящий момент не позволяет использовать более точную методику.

С.1.3.4 Оценка точности CSA SIS UTCOE

На рисунке С.1.7 приведена оценка 95%-го порога погрешности передачи смещения UTC(SU)–ШВС (95% Global Average UTCOE) в навигационном сообщении ГЛОНАСС. Характеристика рассчитывалась на суточном интервале и приведена на наиболее показательном интервале с 01.08.2014 по 08.09.2014 и на интервале 2016, 2017 гг.

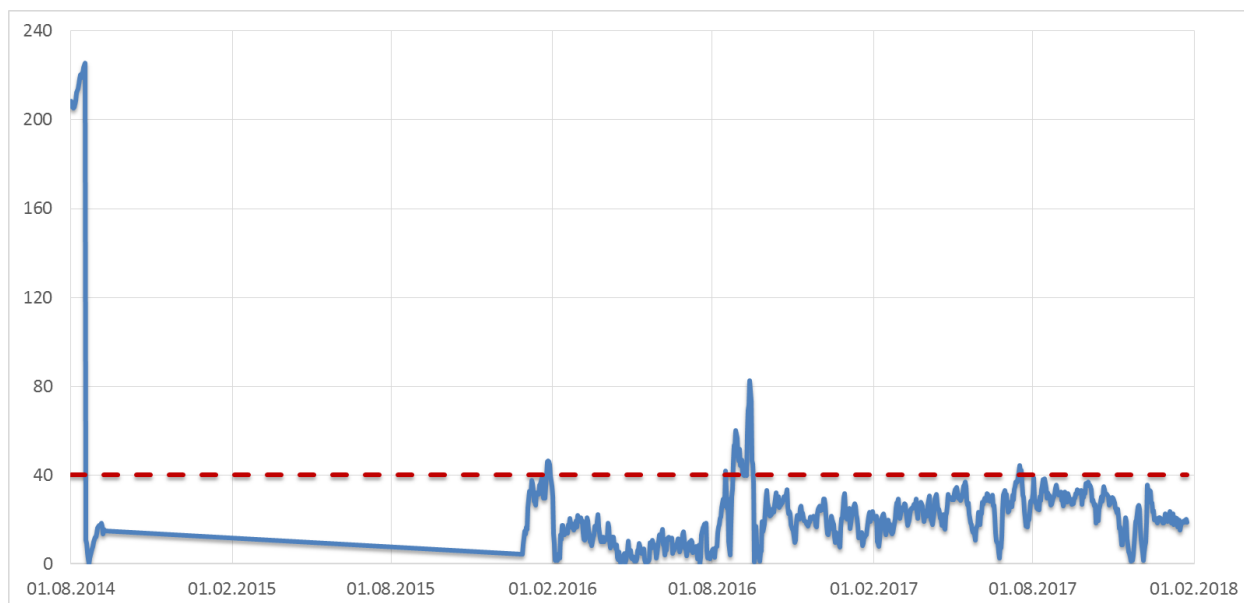


Рисунок С.1.7 — 95%-ная погрешность передачи смещения UTC(SU)–ШВС (95% Global Average UTCOE) в среднем по ОГ на суточном интервале

На текущий момент была оценена характеристика, несколько отличающаяся от указанной в методике и представляющая собой разность суточного математического ожидания смещения, определенного средствами физического сличения наземных эталонов, и как осредненного по ОГ суточного математического ожидания смещения, считанного из навигационного сообщения. Использование для первого приближения указанной характеристики обусловлено относительно низким для заданных порогов значением СКО, составляющим 1–2 нс.

Существенное снижение погрешности, проиллюстрированное на рисунке С.1.7 связано с проведением организационно–технических работ по повышению точности передачи смещения (параметр τ_c) в навигационном сообщении. При дальнейшей оценке текущих характеристик КСТ потребуется осуществлять контроль UTCOE для каждого НКА в отдельности.

С.1.4 Оценка вероятности основного отказа обслуживания (Probability of CSA Major Service Failure)

На рисунке С.1.8 приведена оценка вероятности основного отказа обслуживания ГЛОНАСС, усредненная по ОГ на годовом интервале. Шаг выборки внутри интервала и шаг представления данных — 10 мин. На рисунке изображена вероятность основного отказа за счет единичных независимых сбояв. Каждое значение рассчитано на предыдущем годовом интервале.

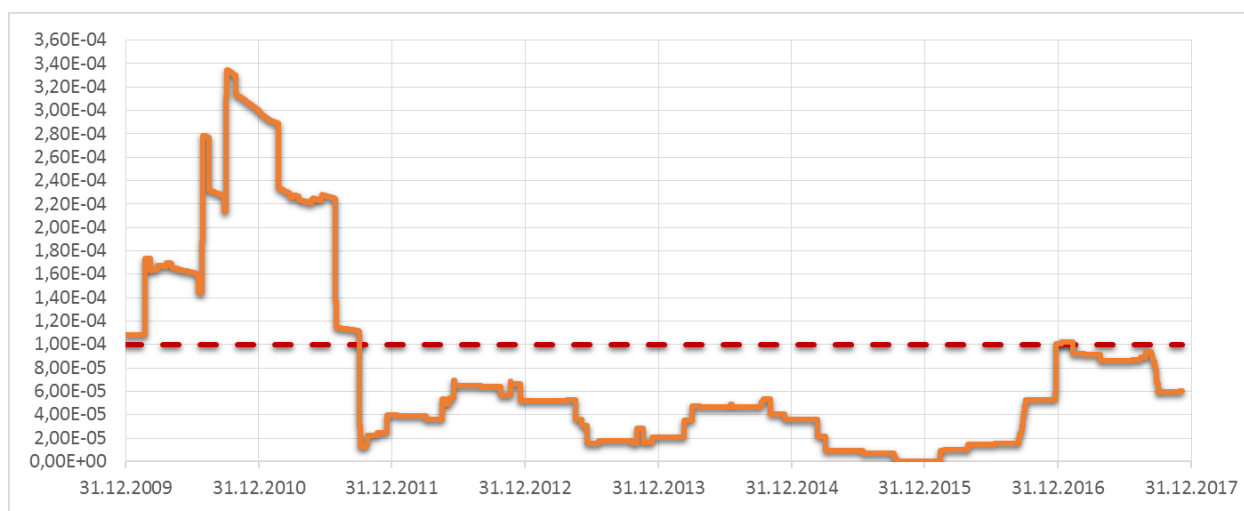


Рисунок С.1.8 — Вероятность основного отказа за счет единичных независимых сбояв

С.1.5 Результаты оценки непрерывности SIS ОС ГЛОНАСС

На рисунке С.1.9 приведена оценка непрерывности сигнала, усредненная по ОГ на годовом интервале. Шаг выборки внутри интервала и шаг представления данных — 10 мин.

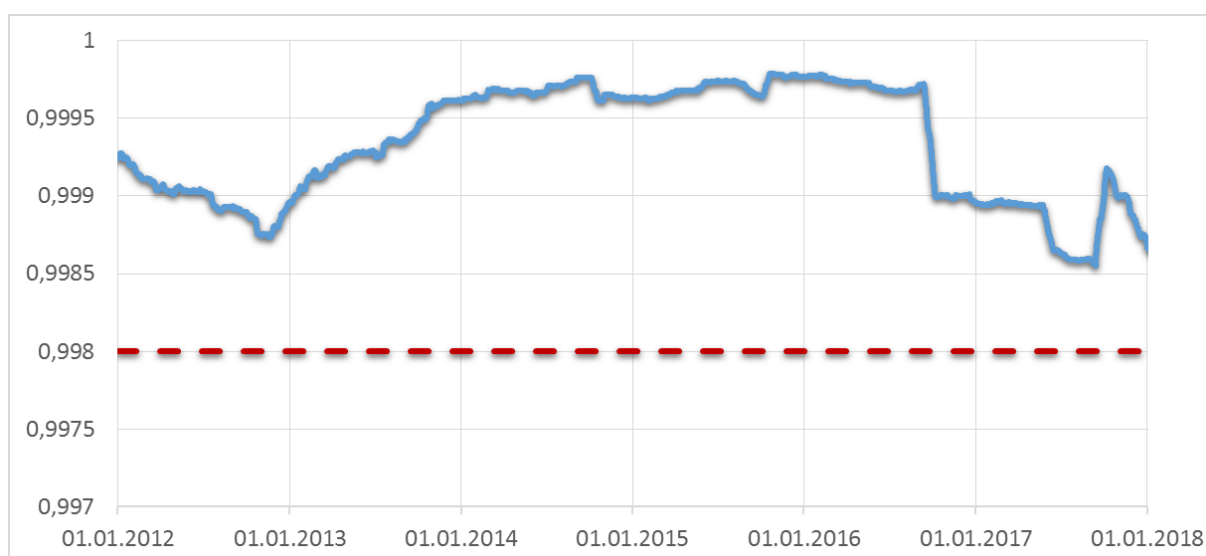


Рисунок С.1.9 — Оценка непрерывности сигнала в пространстве в течение часа, усредненная по ОГ на годовом интервале, при отсутствии предварительного оповещения

На текущий момент оповещение потребителей о перерывах в работе ГЛОНАСС осуществляется только посредством опубликования средствами ЦУС информационных сообщений потребителям ГЛОНАСС (NAGU — Notice Advisory to GLONASS Users) на сайтах ИАЦ КВНО и СВОЭВП. В то же время в соответствии с рекомендациями ИКАО в Российской Федерации создан центр мониторинга за ОГ GPS и ГЛОНАСС. Федеральным государственным унитарным предприятием «Госкорпорация по ОрВД» – российским провайдером аэронавигационного обслуживания введен в эксплуатацию Центр мониторинга GNSS. Центр мониторинга отдельно по GPS и совместно по GPS и GLONASS обеспечивает следующие функции:

- прогноз доступности функции RAIM для различных этапов полета, включая полеты по трассам и в районе аэродрома вплоть до неточного захода на посадку;
- мониторинг точности GNSS в реальном времени;
- формирование извещения об изменениях в правилах проведения и обеспечения полётов и аэронавигационной информации (NOTAM, NOtice To AirMen — извещение авиационных потребителей) о недоступности ГНСС и его передачу в Центр аэронавигационной информации Российской Федерации для последующей публикации;
- прием, регистрация и хранение информации о состоянии ГНСС и функциональных дополнений (GBAS, SBAS);
- оценка в целом состояния поля ГНСС в воздушном пространстве Российской Федерации.

C.1.6 Оценка доступности CSA SIS

C.1.6.1 Оценка доступности орбитальной точки CSA SIS (CSA SIS Per-slot Availability)

На рисунке C.1.10 приведена оценка доступности орбитальной точки, содержащей пригодный НКА, усредненная по ОГ на годовом интервале. Шаг выборки внутри интервала и шаг представления данных — 10 мин.

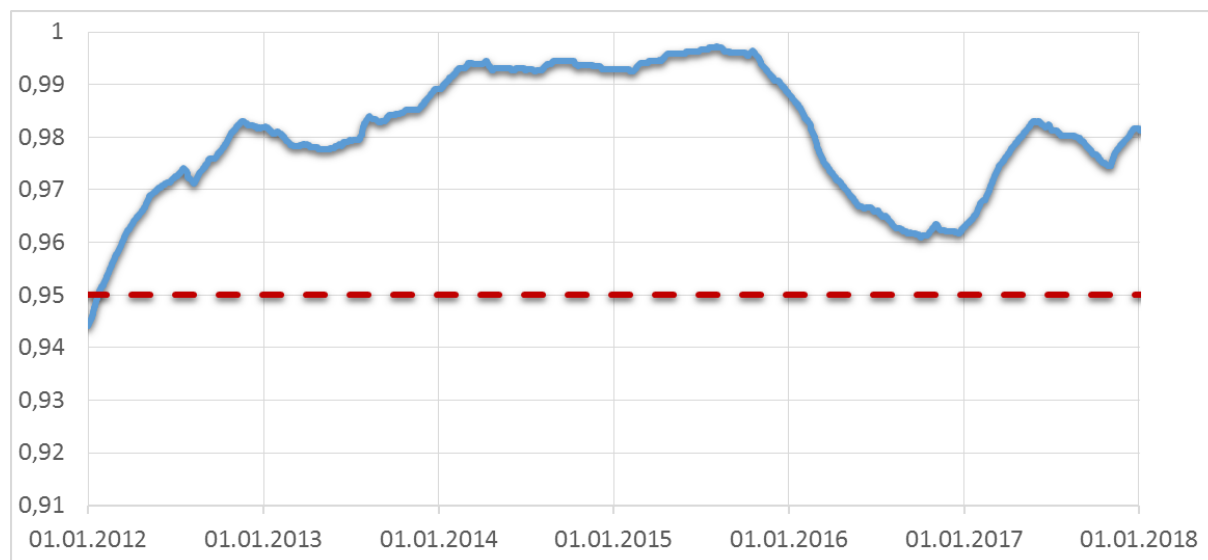


Рисунок C.1.10 — Оценка доступности орбитальной точки, усредненная по ОГ на годовом интервале

C.1.6.2 Оценка доступности ОГ CSA SIS (CSA SIS Constellation Availability)

На рисунке C.1.11 приведена оценка доступности ОГ из 21 пригодного НКА на годовом интервале. Шаг выборки внутри интервала и шаг представления данных — 10 мин.

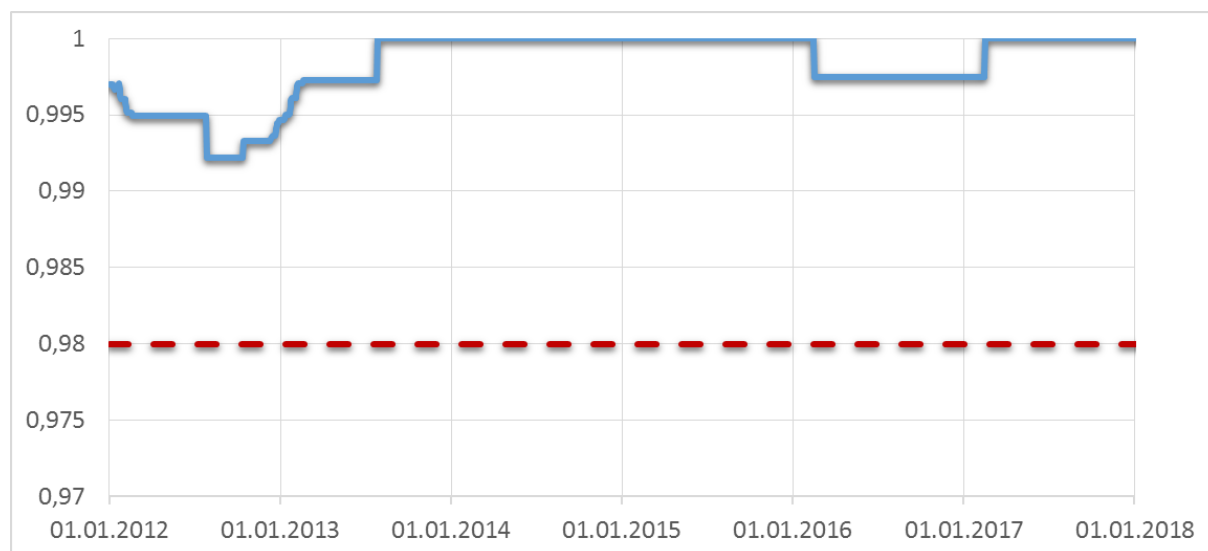


Рисунок C.1.11 — Оценка доступности ОГ на годовом интервале

С.1.7 Оценка характеристик местоопределения и определения времени CSA

С.1.7.1 Оценка доступности навигационного поля CSA (PDOP Availability)

На рисунке С.1.12 приведены оценки доступности навигационного поля (глобальной и в наихудшей точке).

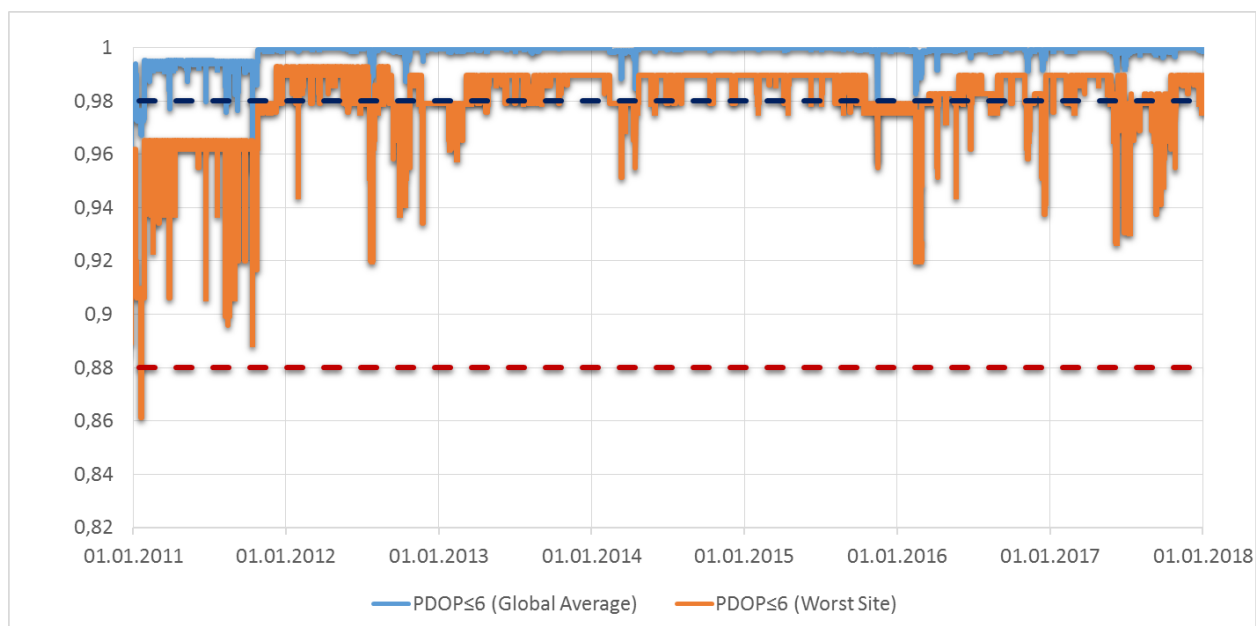


Рисунок С.1.12 — Глобальная и наихудшая локальная доступности навигационного поля на суточном интервале

С.1.7.2 Оценка точности местоопределения CSA (CSA Positioning error)

Формирование данных, необходимых для оценки погрешности местоопределения по вертикали и в горизонтальной плоскости при $PDOP \leq 6$ осуществляется, начиная с 6 июня 2014. Результаты оценки приведены на рисунках С.1.13, С.1.14.

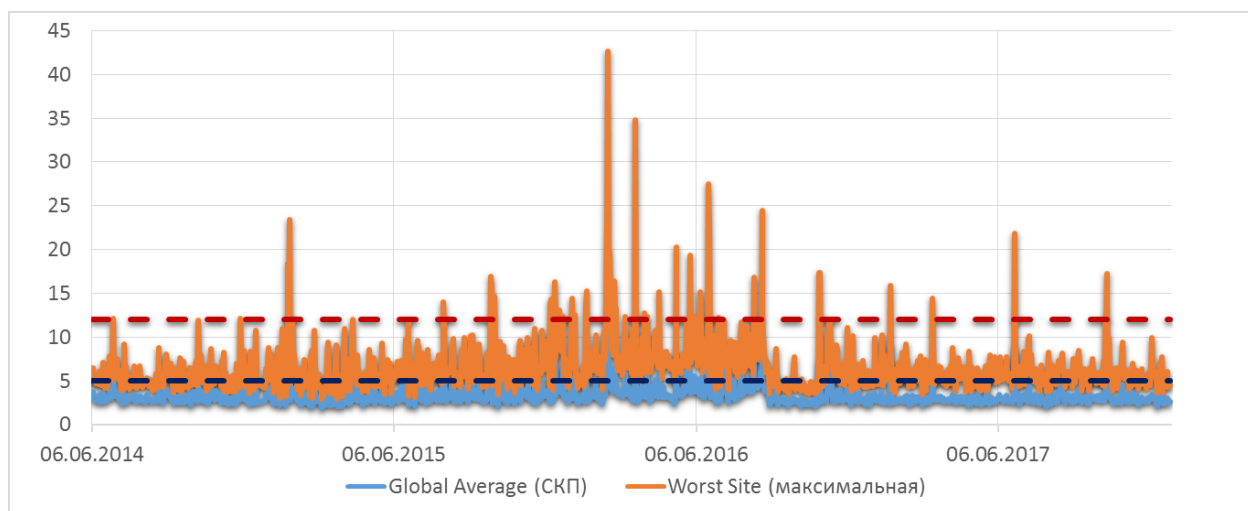


Рисунок С.1.13 — Средняя (СКП) и максимальная по поверхности суточная горизонтальная погрешность местоопределения при $PDOP \leq 6$

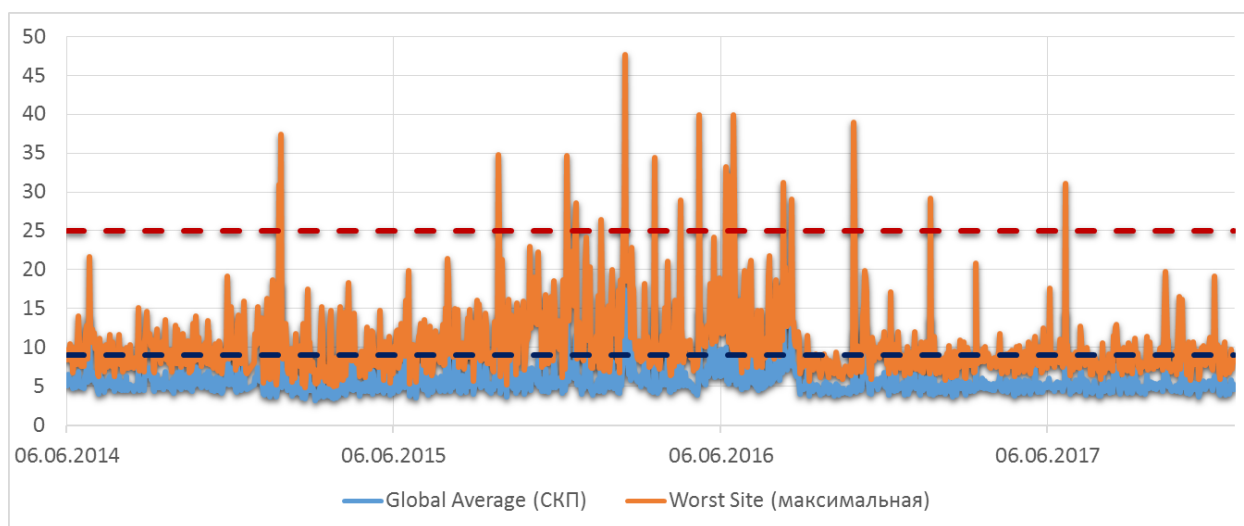


Рисунок С.1.14 — Средняя (СКП) и максимальная по поверхности суточная вертикальная погрешность местоопределения при $PDOP \leq 6$

Отсутствие прямого соответствия значений трехмерной погрешности местоопределения (10,3 м, 0.95) умножению средней по ОГ SIS URE (7,8 м, 0.95) на средний PDOP, равный 2, обусловлено несоответствием пиковых значений SIS URE и локальных PDOP в каждый момент времени, а также тем, что в локальных точках поверхности при оценке реальных статистических характеристик системы ГЛОНАСС используются не все КА ОГ, а только видимая часть, формирующая точностные характеристики. При оценке средней SIS URE по ОГ, даже один КА приводит к существенному ухудшению характеристик системы. Подтверждение соответствия наблюдаемых статистических оценок SIS URE и точности местоопределения указанным в Стандарте требованиям приведено в соответствующих разделах данного Приложения.

С.1.7.3 Оценка доступности CSA (CSA Service Availability)

На рисунках С1.16 – С.1.18 приведены оценки доступности (глобальной и в наихудшей точке) сервисов местоопределения в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Пороговые значения 95%-ных суточных погрешностей местоопределения по горизонтали и вертикали составляют соответственно 12 и 25 м.

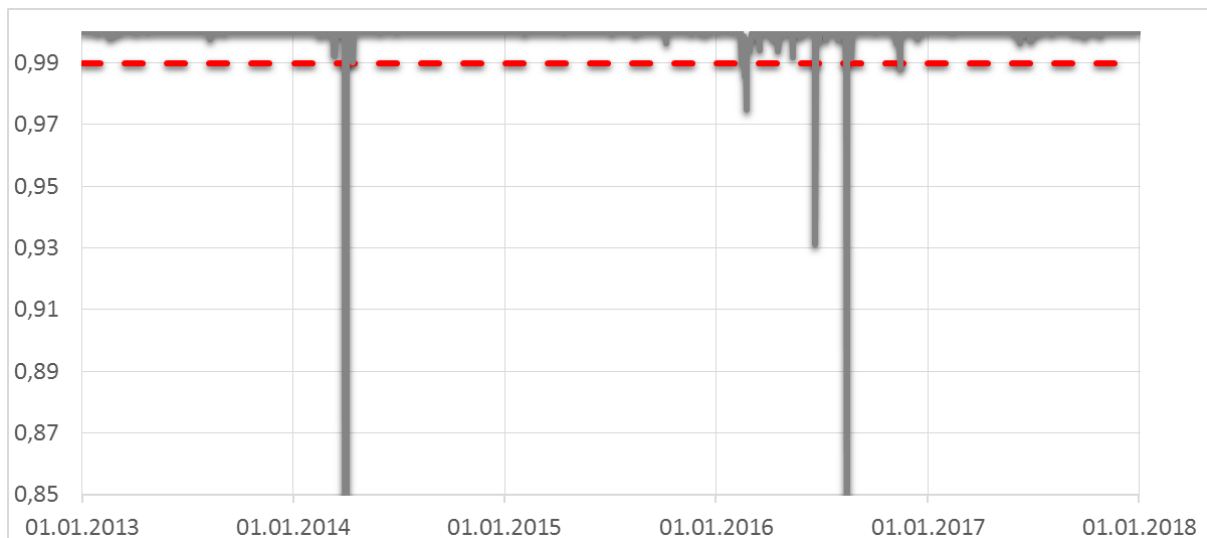


Рисунок С.1.15 — Глобальная средняя доступность сервиса горизонтального местоопределения при пороговом уровне 12 м

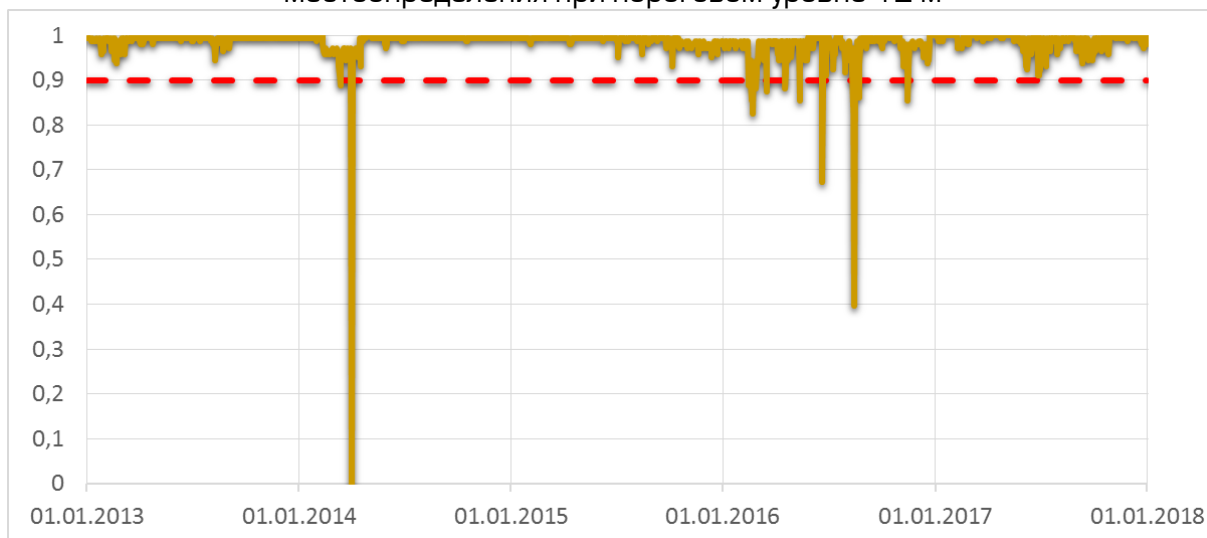


Рисунок С.1.16 — Доступность в наихудшей точке сервиса горизонтального местоопределения при пороговом уровне 12 м

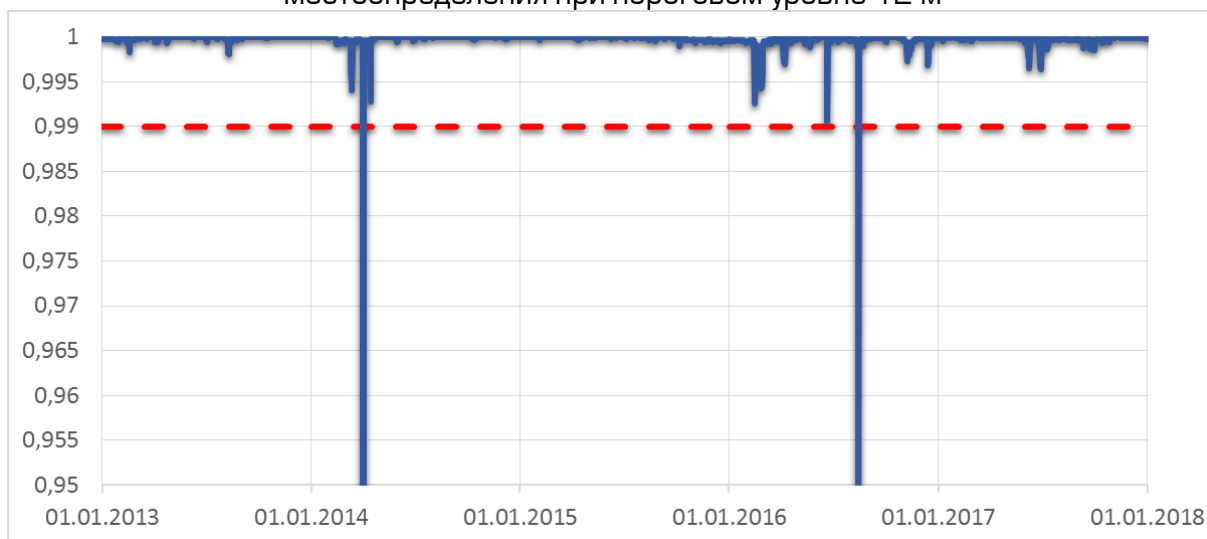


Рисунок С.1.17 — Глобальная средняя доступность сервиса вертикального местоопределения при пороговом уровне 25 м

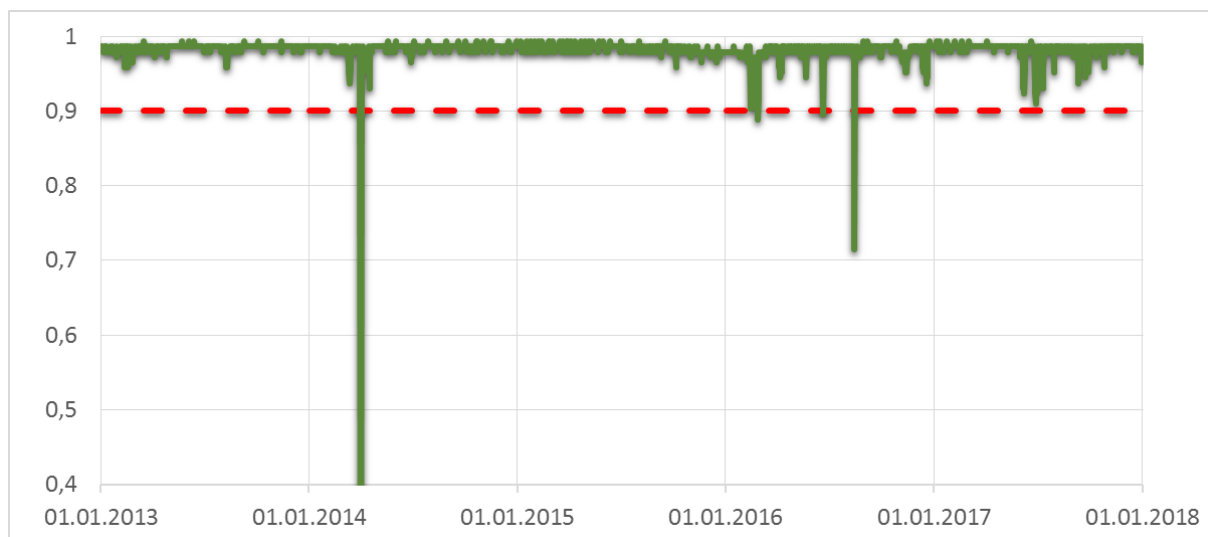


Рисунок С.1.18 — Доступность в наихудшей точке сервиса вертикального местоопределения при пороговом уровне 25 м

С.1.7.4 Оценка точности передачи времени CSA (CSA Time transfer accuracy)

На рисунке С.1.19 представлена оценка составляющей средней по поверхности суточной погрешности передачи времени UTC(SU) за счет погрешности псевдодальности, то есть погрешность определения времени потребителя в ШВС.

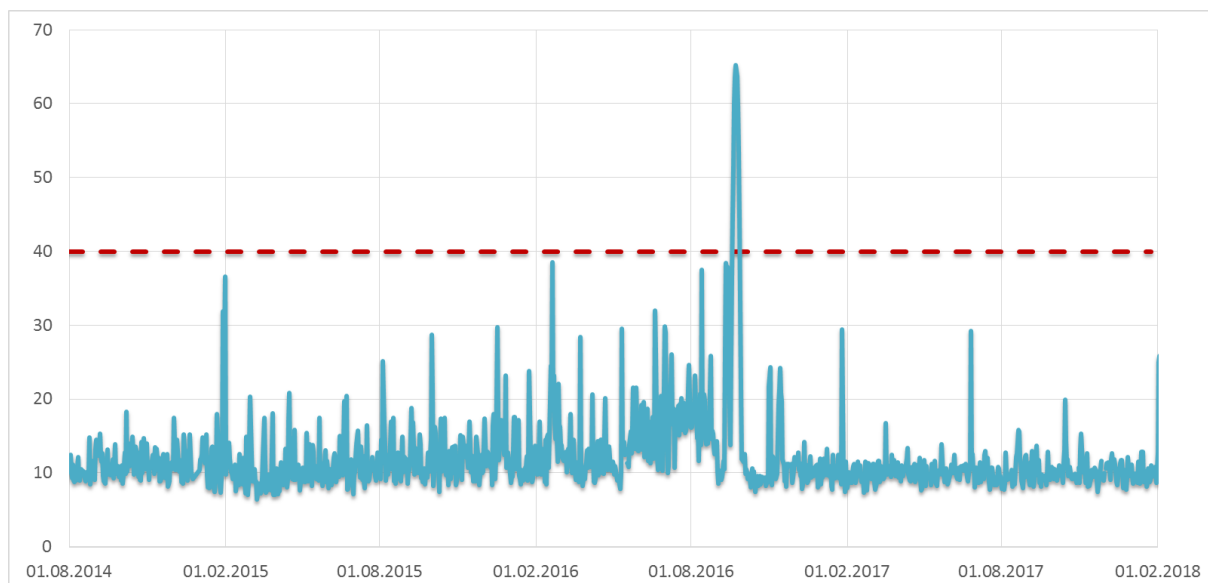


Рисунок С.1.19 — Средняя по поверхности суточная погрешность передачи времени ШВС

На рисунке С.1.20 представлена итоговая оценка средней по поверхности суточной погрешности передачи времени UTC(SU), учитывающей погрешность псевдодальности и погрешность передачи в навигационном сообщении смещения UTC(SU)–ШВС.

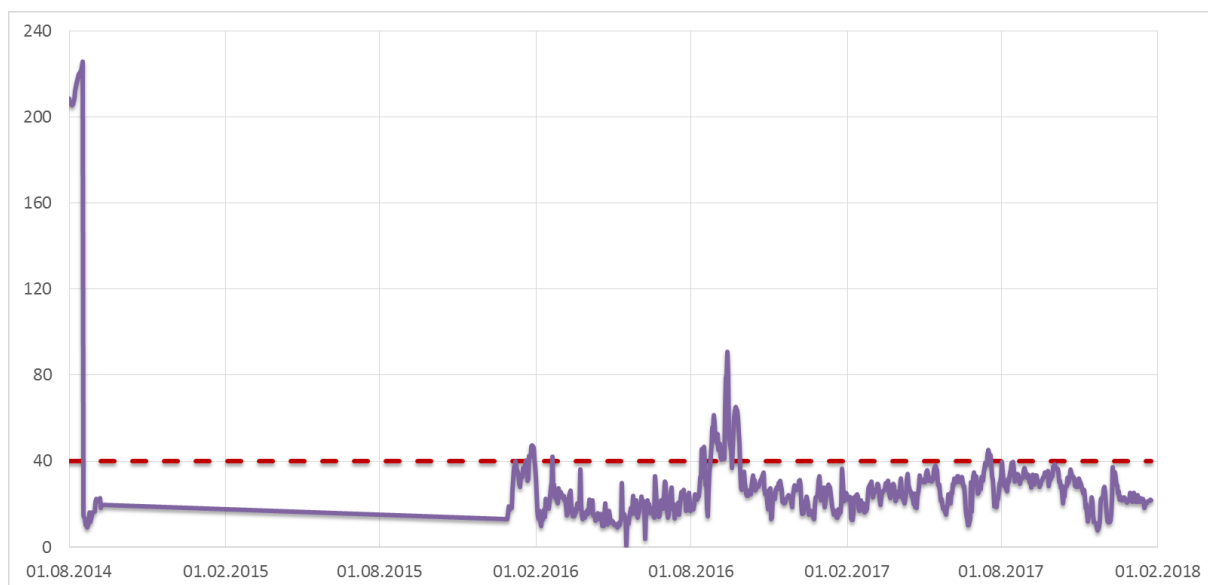


Рисунок С.1.20 — Средняя по поверхности суточная погрешность передачи времени UTC(SU)

С.2 Оценка частоты отказов ГЛОНАСС по результатам мониторинга

На основе обработки реальных данных за 2009–2015 годы была получена оценка частоты отказов ГЛОНАСС по критерию превышения мгновенной погрешности псевдодальности в наихудшей точке 70-метрового (порог основного отказа) и 18-метрового (порог надежности) значения. На рисунке С.2.1 приведен график отказов НКА ГЛОНАСС за указанный период. Отказы подразделяются на две группы: связанные преимущественно с ошибками ЭИ и связанные преимущественно с ошибками ЧВП. В таблице С.2.1 представлено общее число и продолжительность отказов.

Таблица С.2.1 – Общее число и продолжительность отказов ГЛОНАСС за 2009–2015

	Сбой ЧВП (URE > 70 м)	Сбой ЭИ (URE > 70 м)	Сбой ЧВП (URE > 18 м)	Сбой ЭИ (URE > 18 м)
	Общее число отказов			
2009	2 (+1 системный)	5	168 (+1 системный)	30
2010	3	2	6	1
2011	4	7	26	3
2012	3	2	25	3
2013	2	2	6	2
2014	5	(+1 системный)	10	0
2015	0	0	8	0
	Общая продолжительность отказов, ч			
2009	18.16	4.33	1075.69	129.32
2010	20.00	30.00	26.00	16.19
2011	5.50	2.33	132.49	0.83
2012	7.00	3.65	178.67	11.36
2013	0.67	3.67	33.84	13.67
2014	5.00	9.83	29.68	0.00
2015	0.00	0.00	45.83	0.00

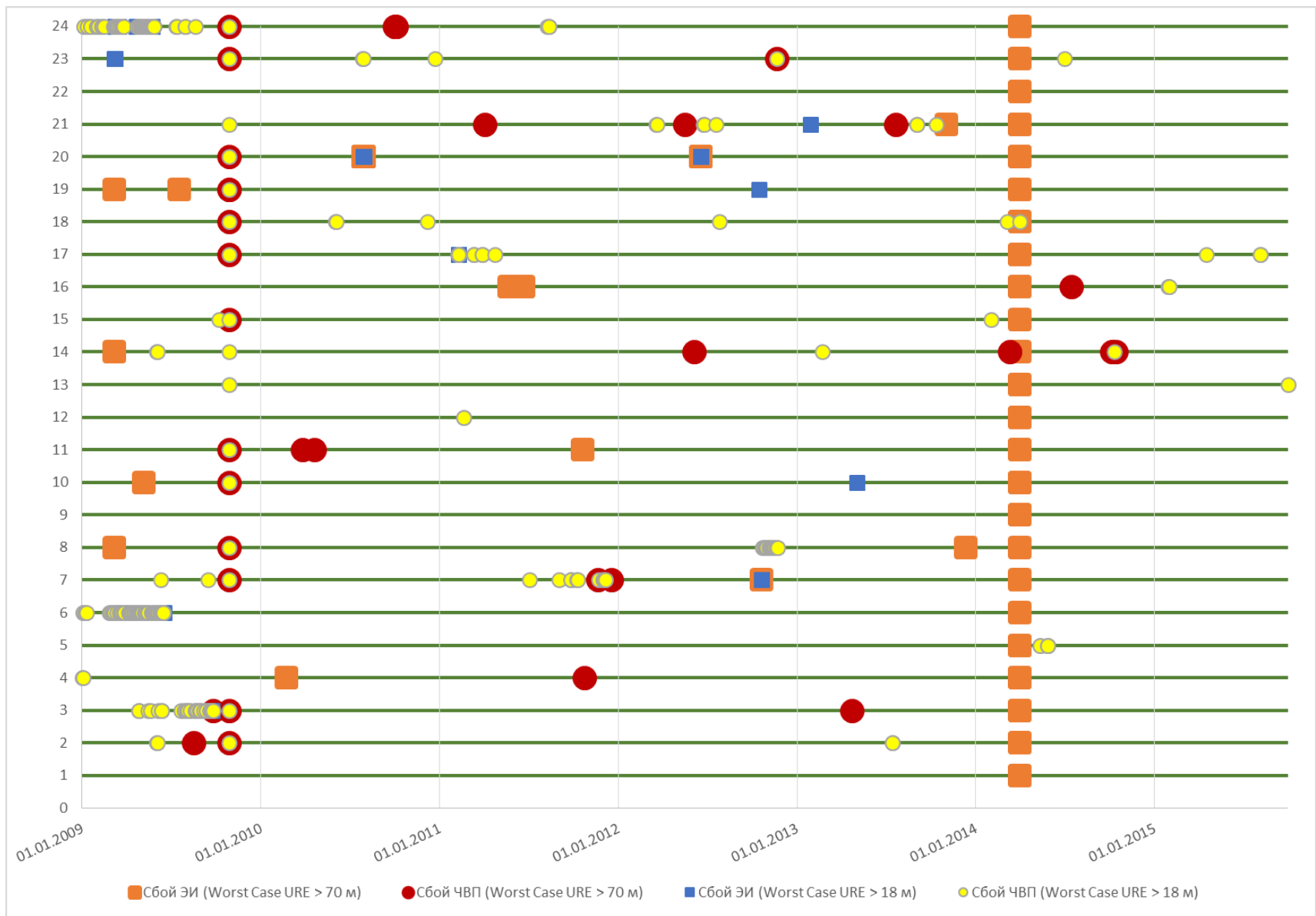


Рисунок С.2.1 – Отказы ГЛОНАСС за 2009–2015 годы по каждому из 24 НКА

В таблицах С.2.2 и С.2.3 представлены характеристики основных отказов (порог 70 м) и отказов по надежности (порог 18 м) за 2009–2015 годы.

Таблица С.2.2 – Характеристики основных отказов обслуживания (Worst-case SIS URE > 70 м) НКА «Глонасс–М», 2009–2015

Тип отказа	Характер динамики URE	Кол-во отказов	Общее время, ч	Вероятность, $1e-6$ /ч/НКА	Вероятность, $1e-6$ /НКА
Независимый (1 НКА)	Линейный рост <0,01 м/с	2	3	1,36	2,04
Независимый (1 НКА)	Линейный рост 0,01–0,05 м/с	–	–	–	–
Независимый (1 НКА)	Линейный рост 0,05–0,25 м/с	–	–	–	–
Независимый (1 НКА)	Линейный рост 0,25–0,50 м/с	–	–	–	–
Независимый (1 НКА)	Шум 70–300 м	2	23,65	1,36	16,07
Независимый (1 НКА)	Скачок 70–300 м	3	5	2,04	3,40
Независимый (1 НКА)	Скачок 300–700 м	6	32,34	4,08	21,97
Независимый (1 НКА)	Скачок > 700 м	24	26,99	16,31	18,34
Системный (>1 НКА)	Скачок 70–300 м	1	9,33	0,68	6,34
Системный (>1 НКА)	Скачок 300–700 м	–	–	–	–
Системный (>1 НКА)	Скачок > 700 м	1	9,83	0,68	6,68
	Итого	39	110,14	26,50	74,84

Таблица С.2.3 – Характеристики отказов по надежности (Worst-case SIS URE > 18 м) НКА «Глонасс–М», 2009–2015

Тип отказа	Характер динамики URE	Кол-во отказов	Общее время, ч	Вероятность, $1e-6$ /ч/НКА	Вероятность, $1e-6$ /НКА
Независимый (1 НКА)	Линейный рост <0,01 м/с	266	1573,02	180,75	1068,86
Независимый (1 НКА)	Линейный рост 0,01–0,05 м/с	11	72,84	7,47	49,49
Независимый (1 НКА)	Шум 20–70 м	2	17,38	1,36	11,81
Независимый (1 НКА)	Скачок 40–70 м	9	29,16	6,12	19,81
Системный (>1 НКА)	Скачок 40–70 м	1	1	0,68	0,68
	Итого	289	1693,4	196,37	1150,66

Анализ представленных материалов показывает, что за исключением системного сбоя в апреле 2014 года, в целом, количество и продолжительность отказов сокращается и в 2015 году основных отказов не наблюдалось, что также подтверждается оценками вероятности основного отказа в навигационном обеспечении и надежности, приведенными в разделах С.1.4 и С.1.3.1.1. Как видно на рисунке С.1.8, начиная с 2011 года вероятность единичных независимых отказов не превышает 10^{-4} . Дополнительный запас надежности по основным отказам можно предположить в связи с тем фактом, что вероятность определяется без классификации отказов и включает, в том числе, отказы с погрешностями выше 700 м. В алгоритмах приемника такие погрешности могут быть парированы шаговым детектором и не должны учитываться в алгоритмах обнаружения и исключения отказов (FDE).

Продолжительность отказа двух и более НКА в 2009 году составила 9.33 ч, в 2014 году — 9.83 ч, на интервале оценки за последние восемь лет, с начала 2010 до конца 2017 года, вероятность системных отказов составляет:

$$P_{const} = \frac{D_{2014}}{31.12.2017-01.01.2010} = \frac{9,83}{70104} = 1.4 \cdot 10^{-4}.$$

Принимая во внимание то, что метод расчета не учитывает, что причины столь редких событий эффективно устранены, а тяжесть их воздействия значительно снижена в многосистемном навигационном решении, вышеуказанное значение считается слишком пессимистичным, однако достаточно близким, чтобы предположить $P_{const} = 10^{-4}$.

В таблице С.2.4 приведен общий сводный перечень и характеристики отказов ГЛОНАСС за 2013–2015 годы.

Таблица С.2.5 — Перечень и характеристики отказов ГЛОНАСС за 2013–2015

НКА	Дата	Длит., ч	Причина	Последствия	GA URE, м	WC URE, м	СВОЭВП (сбой целостности в ежедневных бюллетенях)	СДКМ (Макс. ошибка)
3	23.04.2013	0,17	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЧВП	{URE > 70 м}	663,109	-664,232	>50 м	1,92E+08
21	21.07.2013	0,5	неверный признак пригодности (вр. вкл.) при сбое ЧВП	{URE > 70 м}	423,589	423,91		429,23
14	11.03.2014	3	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЧВП	{URE > 70 м}	3097,268	3097,675	>50 м	5248,23
16	15.07.2014	0,5	неверный признак пригодности (вр. вкл.) при сбое ЧВП	{URE > 70 м}	2389,032	2389,961	>50 м	2388,21
14	07.10.2014	0,5	Скачок ЧВП	{URE > 70 м}	12597,48	12597,946	>50 м	9,7
14	09.10.2014	0,5	Скачок ЧВП	{URE > 70 м}	1153,006	1153,147		4080,27
14	15.10.2014	0,5	Скачок ЧВП	{URE > 70 м}	378,089	378,753		9,25
21	02.11.2013	2,67	неверный признак пригодности (задержка) при скачках ЭИ	{URE > 70 м}	265,044	331,408		270,41
8	12.12.2013	1	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	41225235	45427026	>50 м	8,03
1	01.04.2014	4,5	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	37855,263	50010,382	>50 м	4,00E+05
2	01.04.2014	7	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	40671,829	53804,209	>50 м	4,00E+05
3	01.04.2014	8,5	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	41384,333	54771,062	>50 м	4,00E+05
4	01.04.2014	8,5	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	41397,871	54778,426	>50 м	4,00E+05
5	01.04.2014	9,5	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	37988,564	50189,375	>50 м	4,00E+05
6	01.04.2014	1	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	40839,06	54030,649	>50 м	4,00E+05
7	01.04.2014	2	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	41482,33	54898,865	>50 м	4,00E+05
8	01.04.2014	2,5	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	41485,532	54891,593	>50 м	4,00E+05

НКА	Дата	Длит., ч	Причина	Последствия	GA URE, м	WC URE, м	СВОЭВП (сбой целостности в ежедневных бюллетенях)	СДКМ (Макс. ошибка)
9	01.04.2014	5	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	30687,712	40437,364	>50 м	4,00E+05
10	01.04.2014	6	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	41469,404	54876,596	>50 м	4,00E+05
11	01.04.2014	7,5	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	41418,535	54803,311	>50 м	4,00E+05
12	01.04.2014	9	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	41503,421	54916,309	>50 м	4,00E+05
13	01.04.2014	9,83	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	30765,696	40542,102	>50 м	4,00E+05
14	01.04.2014	1,5	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	41398,268	54781,341	>50 м	4,00E+05
15	01.04.2014	2,5	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	41421,951	54806,081	>50 м	4,00E+05
16	01.04.2014	4	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	41362,925	54731,837	>50 м	4,00E+05
17	01.04.2014	6	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	41335,542	54693,782	>50 м	4,00E+05
18	01.04.2014	4	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	41143,758	54436,695	>50 м	4,00E+05
19	01.04.2014	8	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	41429,577	54800,897	>50 м	4,00E+05
20	01.04.2014	9,5	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	39293,666	51925,54	>50 м	4,00E+05
21	01.04.2014	10,5	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	41295,988	54643,681	>50 м	4,00E+05
22	01.04.2014	9,5	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	41552,694	54997,913	>50 м	4,00E+05
23	01.04.2014	1	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	38056,882	50290,494	>50 м	4,00E+05
24	01.04.2014	2,33	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЭИ	{URE > 70 м}	38458,764	50802,994	>50 м	4,00E+05
14	21.02.2013	15,17	плавный рост ЧВП	{URE > 18 м}	36,853	-37,941	>50 м	40,11
2	14.07.2013	3,33	плавный рост ЧВП	{URE > 18 м}	20,252	-21,279	>50 м	Н/Д

НКА	Дата	Длит., ч	Причина	Последствия	GA URE, м	WC URE, м	СВОЭВП (сбой целостности в ежедневных бюллетенях)	СДКМ (Макс. ошибка)
2	15.07.2013	6,5	плавный рост ЧВП	(URE > 18 м)	24,001	-25,039	>50 м	5,39
21	02.09.2013	6,17	плавный рост ЧВП	(URE > 18 м)	23,415	24,707	>50 м	21,09
21	03.09.2013	2,5	плавный рост ЧВП	(URE > 18 м)	26,936	28,284	>50 м	25,42
21	13.10.2013	0,17	неверный признак пригодности (задержка) при сбое ЧВП	(URE > 18 м)	59,911	60,268		61,16
15	02.02.2014	0,17	скачок ЧВП на 8 нс и последующий плавный рост	(URE > 18 м)	16,496	18,285	>50 м	17,9
18	07.03.2014	3,17	скачок ЧВП на 15 нс	(URE > 18 м)	18,083	19,4	>50 м	23,54
18	01.04.2014	4,5	Сбой ЧВП	(URE > 18 м)	17,746	-20,293	>50 м	37900.39
5	12.05.2014	0,17	плавный рост ЧВП	(URE > 18 м)	20,822	20,863	>50 м	20,19
5	12.05.2014	3,33	плавный рост ЧВП	(URE > 18 м)	20,822	20,863	>50 м	20,19
5	28.05.2014	0,17	плавный рост ЧВП	(URE > 18 м)	20,678	21,532	>50 м	18,45
5	28.05.2014	4,17	плавный рост ЧВП	(URE > 18 м)	20,678	21,532	>50 м	18,45
5	29.05.2014	13,33	плавный рост ЧВП	(URE > 18 м)	32,923	34,587	>50 м	4,32E+08
23	01.07.2014	0,17	плавный рост ЧВП	(URE > 18 м)	17,419	-18,127	>50 м	21,19
14	11.10.2014	0,5	Сбой ЧВП	(URE > 18 м)	56,689	56,924	>50 м	9,95
16	29.01.2015	12	плавный рост ЧВП	(URE > 18 м)	28,345	29,023	>50 м	27,4
16	30.01.2015	3,33	плавный рост ЧВП	(URE > 18 м)	19,338	-22,054	>50 м	16,26
16	31.01.2015	12	плавный рост ЧВП	(URE > 18 м)	34,534	-35,984	>50 м	36,81

НКА	Дата	Длит., ч	Причина	Последствия	GA URE, м	WC URE, м	СВОЭВП (сбой целостности в ежедневных бюллетенях)	СДКМ (Макс. ошибка)
17	17.04.2015	4	плавный рост ЧВП	(URE > 18 м)	16,605	19,564	>50 м	Н/Д
17	05.08.2015	1,83	плавный рост ЧВП	(URE > 18 м)	19,223	19,56	>50 м	Н/Д
17	06.08.2015	0,17	плавный рост ЧВП	(URE > 18 м)	18,031	18,204		Н/Д
13	01.10.2015	8	плавный рост ЧВП	(URE > 18 м)	28,534	28,926	>50 м	Н/Д
13	02.10.2015	4,5	плавный рост ЧВП	(URE > 18 м)	25,13	26,312		Н/Д
21	29.01.2013	8	ухудшение точности эфемерид (R,N)	(URE > 18 м)	53,55	64,71	>50 м	53,57
10	03.05.2013	5,67	ухудшение точности эфемерид (R,N)	(URE > 18 м)	32,82	48,937	Н/Д	35,2

Приведенное в таблице С.2.4 сравнение с данными СДКМ и СВОЭВП подтверждает достоверность проведенной оценки отказов ГЛОНАСС за период 2013–2015 годы.

Анализ исходных данных показывает, что ряд отказов может быть связан с разнородностью НАП, используемой на станциях сети IGS. Важно отметить, что НАП различаются по производителю, по используемой версии программного обеспечения, по объему выдаваемых выходных данных. Все это приводит к существенным различиям систематических ошибок в каждой отдельной НАП. Кроме того, в связи с тем, что сеть станций IGS создана на добровольных началах силами международной кооперации, выходные данные НАП не в полной мере контролируются, в первую очередь это касается правильности указания признаков пригодности, обработки опорного времени ЭВИ и других данных. Указанные ошибки практически невозможно отследить автономными средствами, поскольку это требует отдельного подхода к каждому отказу.

Существенно изменить ситуацию возможно путем создания собственной глобальной сети БИС, на каждой из которых будет установлено по несколько образцов однотипной НАП. Альтернативным вариантом на период отсутствия собственной сети может быть продвижение в IGS идеи формирования, наряду с RINEX–файлами, файлов, содержащих полный объем цифровой информации навигационных сообщений. Примером формата требуемой информации может служить формат GRIL, использующийся в НАП производства Javad и Topcon. Наличие на текущий момент существенного количества такой НАП в составе сети IGS может способствовать созданию в рамках сети IGS подсети из НАП, предоставляющих наиболее полную информацию.