

Дата: 24.09.2021

ПРОТОКОЛ № 3/2021
проведения испытаний НАП с использованием
Мобильной измерительно-диагностической лаборатории (МИДЛ)

1	Цель испытаний	3
2	Время и место проведения испытаний	3
3	Средства проведения испытаний	3
4	Испытываемые образцы	3
5	Определяемые показатели	4
6	Режимы испытаний	5
7	Последовательность испытаний	8
8	Результаты испытаний	8
8.1	Радионавигационная обстановка, локальные потребительские характеристики ГНСС	8
8.2	Погрешности позиционирования НАП	10
8.3	Работоспособность и эффективность СДКМ	14
9	Выводы	17

1 ЦЕЛЬ ИСПЫТАНИЙ

1.1 Цели испытаний:

- испытания навигационной аппаратуры потребителя (далее - НАП), функциональных дополнений ГНСС в реальных условиях эксплуатации.
- оценка радионавигационной обстановки, определение локальных потребительских характеристик ГНСС в заданном районе.

1.2 Тип испытаний – натурные испытания.

2 ВРЕМЯ И МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

2.1 Дата проведения испытаний: 07.09.2021.

2.2 Место проведения испытаний: г. Королев Московской области.

3 СРЕДСТВА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

3.1 Мобильная измерительно-диагностическая лаборатория ГЮИД.464979.001 (сертификат об утверждении типа средств измерений №80337-20), заводской номер 073-2003004-01.

3.2 Базовый приемник TPS NET-G5, антенна TPSCR3_GGD CONE.

3.3 Испытания проводились лабораторией 030042 Информационно-аналитического центра координатно-временного обеспечения АО «ЦНИИмаш» (ИАЦ КВНО).

Контактная информация:

ИАЦ КВНО АО «ЦНИИмаш»:

Адрес: Московская область, г. Королев, ул. Пионерская, д. 4

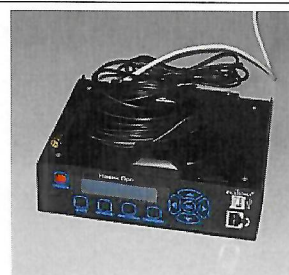
Телефон: (495) 513-58-33, факс (495) 513-40-38


E-mail: midl@glonass-iac.ru

4 ИСПЫТЫВАЕМЫЕ ОБРАЗЦЫ





4.1 Испытываемые образцы НАП:

Комплект навигационной аппаратуры ГЛОНАСС/GPS «Навик-Про»
Предоставлен ООО «Радиома инжиниринг», далее – Компания «Радиома»



<p>Комплект навигационной аппаратуры ГЛОНАСС/GPS «Навик-Про М» Предоставлен Компанией «Радиома»</p>	
---	--

4.2 Образцы НАП, использованные для оценки СДКМ

<p>Навигационный приемник SigmaQM (Javad GNSS), f/w 3.7.1 Apr,04,2017, board TRE_QUA_3, далее – SigmaQM</p>	
<p>Навигационный приемник Sigma-G3T (Javad GNSS), firmware 4.0.00-200818, board TRE_G3TH_5, далее – Sigma-G3T</p>	
<p>Навигационный приемник NV08C-RTK (АО «КБ Навис», г. Москва), версия ПО - NVS RTK 0031 CSM24 P316, далее – NV08C. Предоставлен ООО «НВС Навигационные технологии»</p>	
<p>Навигационный приемник NV08C-RTK (АО «КБ Навис», г. Москва) с активированной функцией СДКМ, версия ПО - NVS RTK PR28 CSM24 P314, далее – NV08C-СДКМ. Предоставлен ООО «НВС Навигационные технологии»</p>	

5 ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

5.1 Потребительские характеристики ГНСС GPS, ГЛОНАСС, BEIDOU, GALILEO:

- количество видимых навигационных космических аппаратов (НКА) каждой ГНСС при угле места не менее 5°;
- геометрический фактор точности определения местоположения

потребителя ГНСС в пространстве (PDOP) для каждой ГНСС и для комбинации ГЛОНАСС+BEIDOU при угле места не менее 5° .

5.2 Характеристики погрешности определения местоположения НАП по сигналам ГНСС и ФД ГНСС: по высоте и в плане – среднеквадратическая погрешность (СКП), погрешность по уровню вероятности 0.5, 0.95, 0.68, 0.997.

6 РЕЖИМЫ ИСПЫТАНИЙ

6.1 Испытания проводились на маршруте, обеспечивающем характерные для движения в городе траектории движения, условия затенения и переотражения спутниковых сигналов: ул. Пионерская – ул. Калининградская – ул. Коммунальная – разворот под эстакадой у ст. Болшево – пр. Королева – ул. Циолковского – ул. Ленина – ул. Пионерская (рисунок 1). На маршруте имеются участки с умеренным и сильным затенением спутниковых сигналов, прямолинейные участки, повороты, движение по мосту и под ним. Протяженность маршрута - 10 км.



Рисунок 1 Маршрут испытаний

6.2 Фотографии отдельных участков маршрута показаны на рисунках 2÷5.



Рисунок 2 Маршрут испытаний, участок 1



Рисунок 3 Маршрут испытаний, участок 2



Рисунок 4 Маршрут испытаний, участок 3

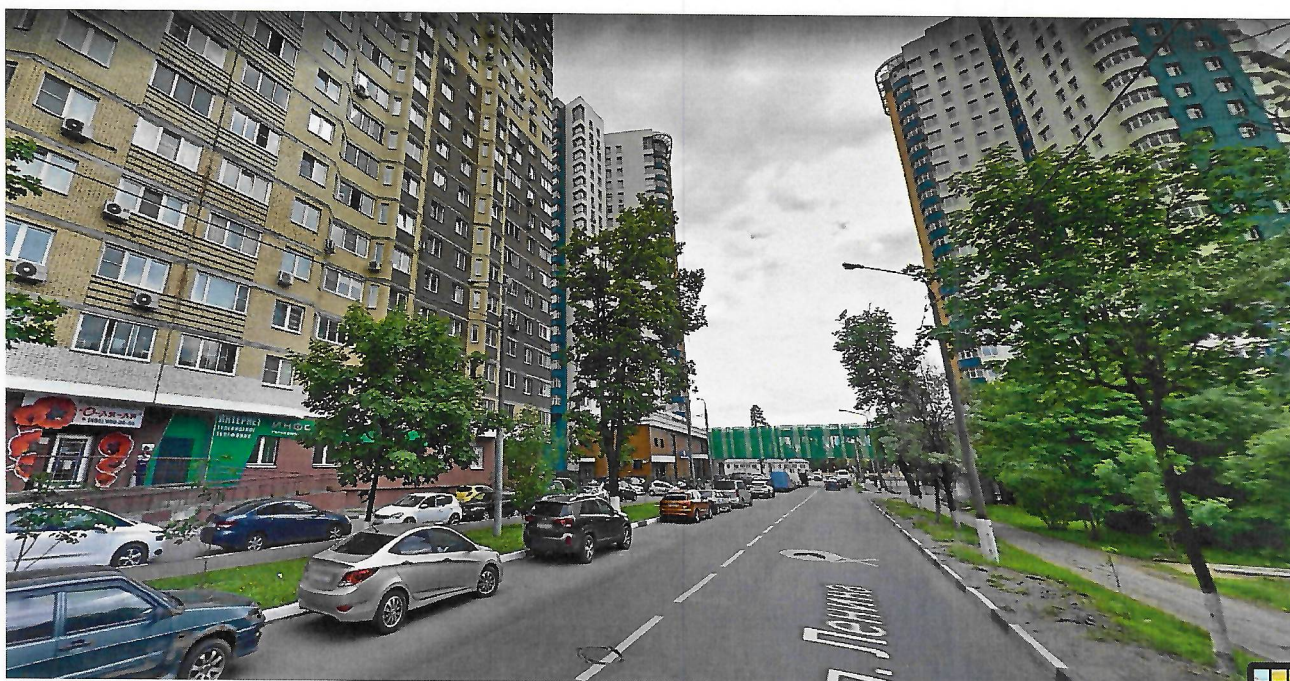


Рисунок 5 Маршрут испытаний, участок 4

6.3 В процессе испытаний все образцы НАП работали одновременно по одному и тому же созвездию навигационных спутников. Местоопределения выполнялись по сигналам GPS и ГЛОНАСС на одной частоте с привлечением в ряде случаев корректирующей информации СДКМ.

6.4 Маршрут проходил два раза с изменением режимов работы приемников Sigma. Используемые режимы работы НАП приведены в таблице 1.

Таблица 1. Режимы работы НАП

Маршрут	НАП					
	Навик-Про	Навик-Про М	Sigma QM	Sigma-G3T	NV08C	NV08C-СДКМ
Первый круг	Абс. ¹⁾	Абс.	Абс.	СДКМ ²⁾	Абс.	СДКМ
Второй круг	Абс.	Абс.	СДКМ	Абс.	Абс.	СДКМ

1) - Режим абсолютных местоопределений по сигналам GPS и ГЛОНАСС
 2) - Режим местоопределений по сигналам GPS и ГЛОНАСС с привлечением корректирующей информации СДКМ

7 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ИСПЫТАНИЙ

7.1.1 Перемещение МИДЛ по маршруту испытаний с регистрацией:

- первичных навигационных параметров с использованием контрольных многочастотных навигационных приемников,
- показаний датчиков движения автомобиля (гироскоп, одометр),
- данных местоопределений всех образцов НАП.

7.1.2 Расчет локальных потребительских характеристик ГНСС на маршруте.

7.1.3 Расчет контрольных треков МИДЛ по данным контрольных приемников и показаний датчиков движения автомобиля.

7.1.4 Расчет характеристик погрешностей определения местоположения образцов НАП путем сравнения показаний НАП с контрольными треками МИДЛ.

8 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

8.1 Радионавигационная обстановка, локальные потребительские характеристики ГНСС

8.1.1 Состояние группировок ГНСС в период проведения испытаний приведено в таблице 2 (по данным сайта ИАЦ КВНО - <https://glonass-iac.ru>).

Таблица 2. Состояние орбитальных группировок ГНСС

Количество НКА	GPS	ГЛОНАСС	Beidou	Galileo
Всего	32	26	49	26
Используется по целевому назначению	30	23	44	22
Не используется по целевому назначению, в т.ч.	2	3	5	4
На этапе ввода в систему	1	0	н/д	н/д
Временно выведено на техобслуживание	1	1	н/д	н/д

На исследовании главного конструктора		0		
Орбитальный резерв		0	н/д	н/д
На этапе летных испытаний		2	н/д	н/д

8.1.2 В качестве оцениваемых характеристик условий навигации по сигналам ГНСС при испытаниях приняты количество видимых НКА ГНСС ГЛОНАСС/GPS/BEIDOU/GALILEO и PDOP для каждой из систем. Обе характеристики определялись при ограничении угла места не менее 5°. Оценка характеристик проводилась по показаниям приемника SigmaQM. Графики указанных характеристик на маршруте испытаний приведены на рисунках 6-7.

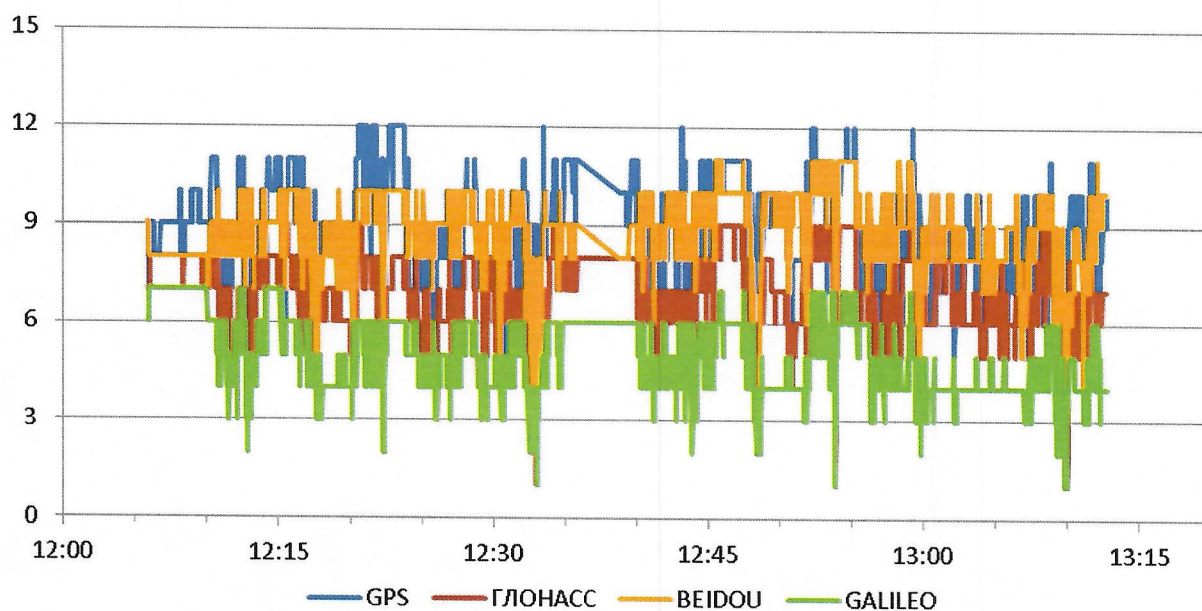


Рисунок 6 Количество видимых НКА (два круга)

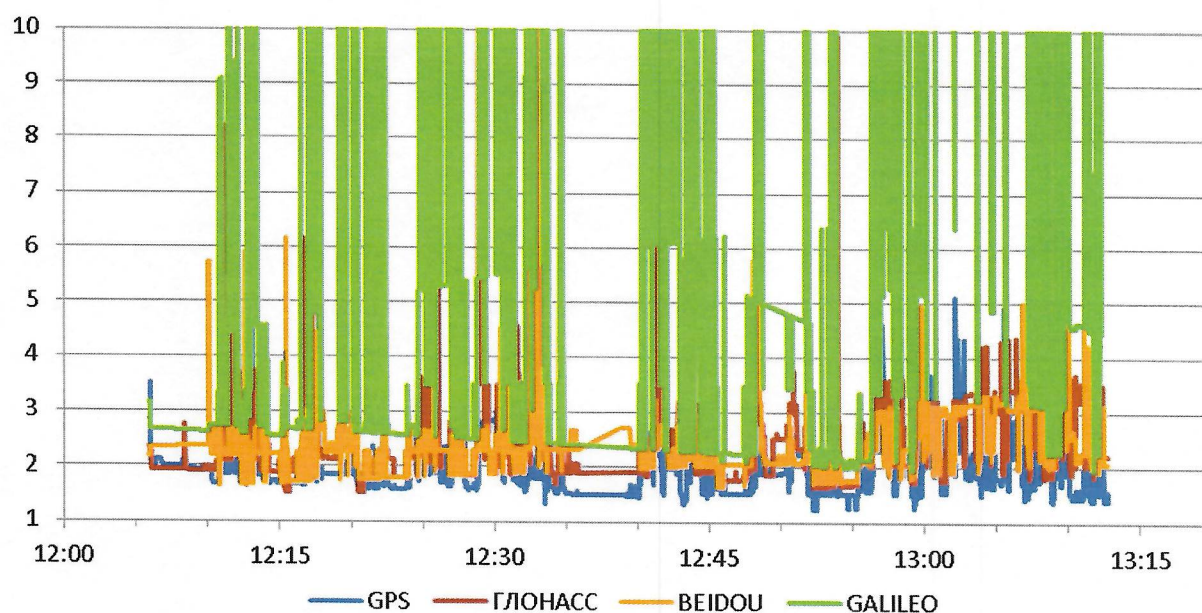


Рисунок 7 Геометрический фактор PDOP (два круга, значения выше 10 не показаны)

8.1.3 Интегральные характеристики условий навигации на маршруте испытаний приведены в таблице 3.

Таблица 3. Интегральные характеристики условий навигации на маршруте

ГНСС	Значение характеристики
Среднее количество видимых НКА	
GPS	8.8
ГЛОНАСС	6.9
BeiDou	8.7
Galileo	4.9
ГЛОНАСС+BeiDou	15.6
Медиана PDOP	
GPS	1.9
ГЛОНАСС	2.2
BeiDou	2.3
Galileo	4.5
ГЛОНАСС+BeiDou	1.5
Доля отсчетов с PDOP<6	
GPS	100%
ГЛОНАСС	97%
BeiDou	98%
Galileo	62%
ГЛОНАСС+BeiDou	100%

8.1.4 Источников помех сигналам ГНСС во время испытаний не зафиксировано.

8.2 Погрешности позиционирования НАП

8.2.1 В базе данных диспетчерской системы Компании «Радиома» хранятся только широта и долгота (без высоты), поэтому погрешности позиционирования определялись только для плановых координат.

8.2.2 Графики погрешностей позиционирования от времени испытанных образцов НАП приведены на рисунках 8-9.

8.2.3 Итоговые погрешности позиционирования испытанных образцов НАП приведены в таблице 4.

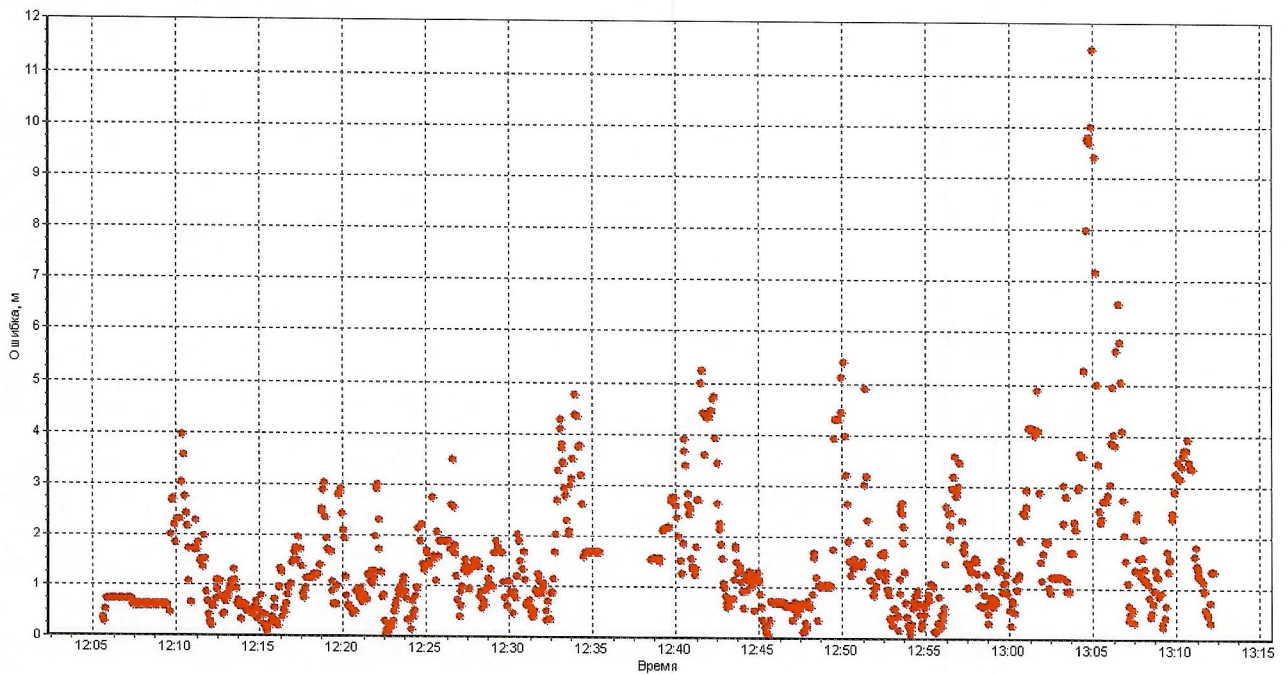


Рисунок 8 Погрешности позиционирования НАП Навик-Про

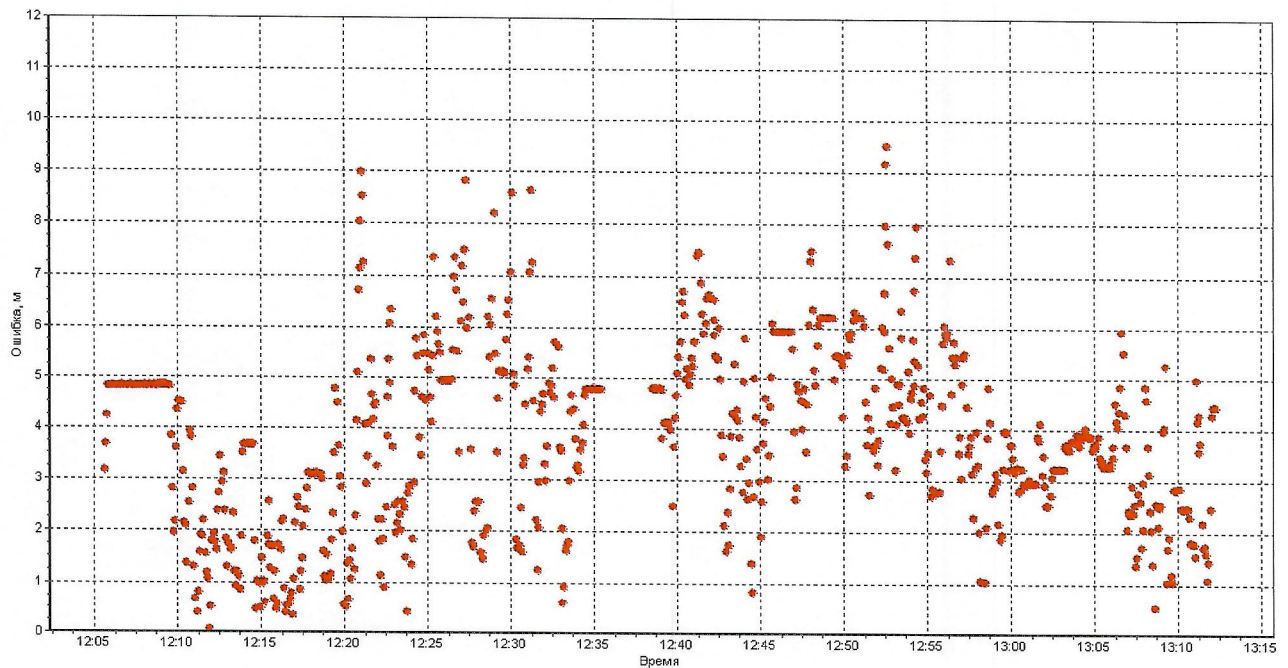


Рисунок 9 Погрешности позиционирования НАП Навик-Про М

8.2.4 Анализ графиков погрешностей и их итоговых характеристик показывает следующее.

На графиках НАП Навик-Про видны всплески погрешностей. Во всех случаях возрастание погрешностей возникает сразу после изменения режима движения (начало движения после остановки на некоторое время, остановка после движения в течение некоторого времени). Погрешность достигла максимума в 13:05:06 (UTC+0), когда началось движение после стояния в пробке на светофоре. Вероятно, возрастание погрешностей вызвано работой программного фильтра НАП.

На графике НАП Навик-Про М заметных всплесков погрешностей не отмечается.

Возможно, они маскируются общим более высоким уровнем погрешностей, по сравнению с Навик-Про.

Таблица 4 Погрешности позиционирования испытываемой НАП

НАП	Погрешности по высоте, м				СКП	Погрешности в плане, м				Кол-во место-определений	
	СКП	по уровню				СКП	по уровню				
		P=0.5	P=0.68	P=0.95			P=0.997	P=0.5	P=0.68		P=0.95
Навик-Про	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	865
Навик-Про М	н/д	н/д	н/д	н/д	4.2	3.8	4.8	6.5	8.9	8.9	796

8.3 Работоспособность и эффективность СДКМ

8.3.1 Проверка работоспособности российского широкозонного функционального дополнения ГНСС – системы дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ) и оценка его эффективности проводились с использованием НАП SigmaQM, Sigma-G3T (Javad) и 2-х НАП NV08C-RTK (КБ Навис). При этом один из NV08C-RTK работал в абсолютном режиме, а другой был настроен на дифференциальный режим с использованием корректирующей информации (КИ) СДКМ (ретрансляция через спутники PRN-125, PRN-140, PRN-141). Приемники Sigma переключались с абсолютного режима местоопределений на дифференциальный с использованием КИ СДКМ с повторным проездом по одному и тому же маршруту.

8.3.2 Данные о полученных погрешностях позиционирования НАП и доле местоопределений в дифференциальном режиме (в процентах по отношению к общему количеству местоопределений с разрешенным дифрежимом) приведены в таблице 5.

Таблица 5 Оценка работы НАП с использованием КИ СДКМ

НАП, режим	Погрешности по высоте, м				Погрешности в плане, м				Кол-во местоопределений	Доля местоопределений в дифрежиме		
	СКП	по уровню			СКП	по уровню						
		P=0.5	P=0.68	P=0.95		P=0.997	P=0.5	P=0.68			P=0.95	P=0.997
Sigma-QM, abc	5.3	3.4	3.8	5.8	37.4	3.8	1.0	1.7	6.4	28.2	1 589	-
Sigma-QM, СДКМ	15.5	1.1	1.8	11.6	71.5	12.1	1.5	2.8	14.1	64.9	2 007	94%
Sigma-G3T, abc	7.5	3.7	4.6	6.8	56.0	6.8	1.2	1.7	6.4	55.5	2 019	-
Sigma-G3T, СДКМ	6.0	3.0	4.1	9.5	44.9	4.2	2.6	3.2	5.3	20.3	1 568	89%
NV08C, abc	7.1	3.0	3.5	6.6	49.2	6.7	1.1	1.6	7.3	49.2	3 708	-
NV08C, СДКМ	3.9	2.4	3.4	5.5	23.8	4.3	1.2	1.8	4.9	33.2	3 740	50%

8.3.3 НАП NV08C-RTK, настроенная на прием КИ СДКМ, работала в дифференциальном режиме в 50% случаев. Участки работы НАП в различных режимах на первом круге маршрута показаны на рисунке 10.

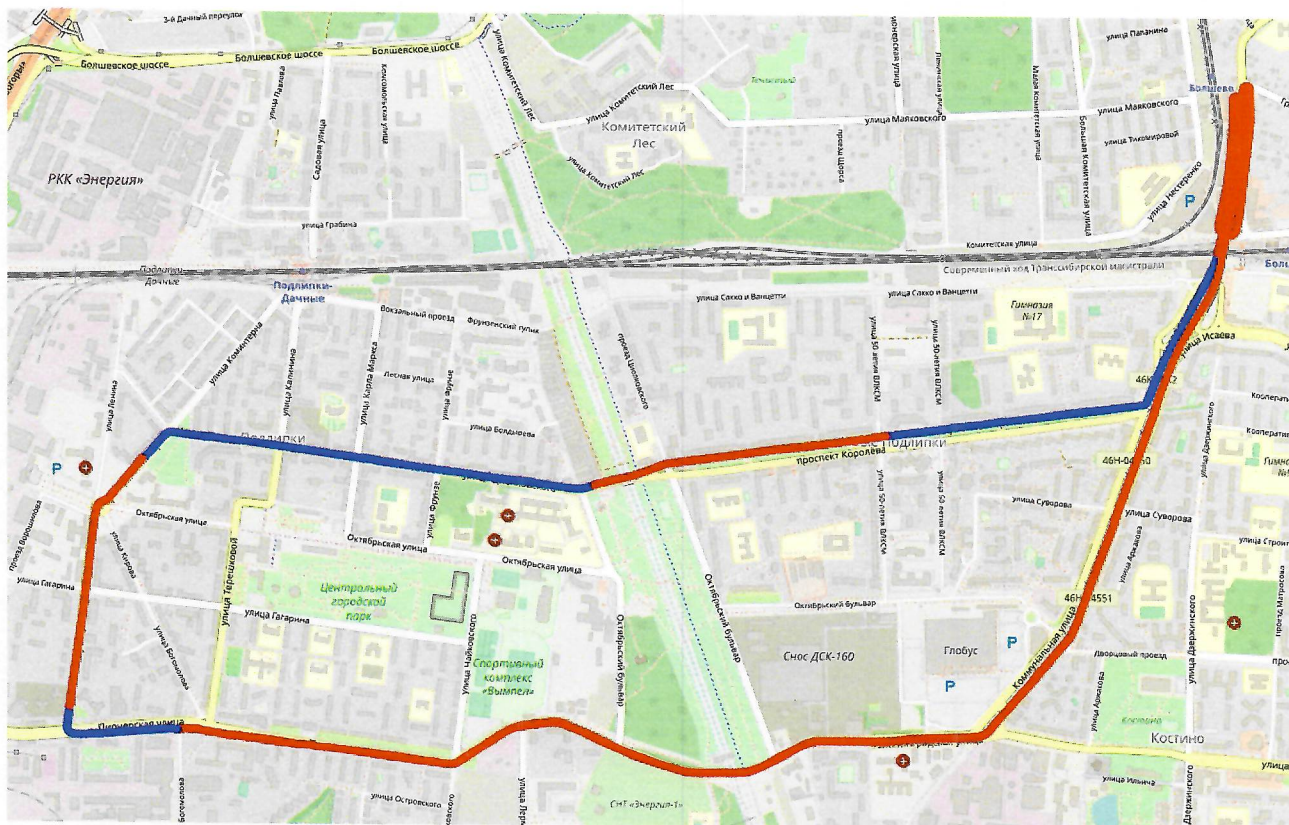


Рисунок 10 Участки работы НАП NV08C-RTK в абсолютном (синим) и дифференциальном (красным) режимах на первом круге

8.3.4 У НАП Sigma доля местоопределений дифференциальном режиме находилась в диапазоне 89-94%.

8.3.5 Все использованные НАП SigmaQM сигналы СДКМ поступали от спутника PRN-125. Для НАП Sigma-G3T распределение местоопределений в дифрежиме по использованным спутникам-ретрансляторам приведено в таблице 6. Данные об используемых источниках КИ СДКМ в сообщениях от НАП NV08C-RTK отсутствуют.

Таблица 6 Местоопределения в дифрежиме НАП Sigma-G3T

Всего	При использовании ретранслятора КИ СДКМ			
	PRN-125		PRN-140	
	Местоопред.	%	Местоопред.	%
1399	1286	92%	113	8%

9 ВЫВОДЫ

9.1 Локальные потребительские характеристики оценивались на маршруте в городских условиях. Зафиксированное количество наблюдаемых НКА и их расположение в целом достаточны для уверенной навигации как в совмещенном режиме, так и отдельно по ГЛОНАСС, GPS и Beidou. При ограничении по углу места в 5° навигация отдельно по каждой этих ГНСС была доступна ($PDOP < 6$) в 97-100% случаев. Доступность навигации по сигналам Galileo составила 62%. Доступность по совместным сигналам ГЛОНАСС+Beidou – 100%.

9.2 Испытанные образцы НАП производства компании «Радиома» при испытаниях на маршруте показали итоговые погрешности позиционирования в плане в диапазоне от 1.6 до 4.8 м ($p=0.68$). При этом погрешности у НАП Навик-Про М оказались в 2-3 раза выше, чем у Навик-Про. Для НАП Навик-Про отмечено возрастание погрешностей при смене режима движения.

9.3 Оценка доступности и эффективности СДКМ проводилась с использованием трех видов НАП. Аппаратура, наименее требовательная к перерывам в получении КИ от системы дифференциальной коррекции, работала на маршруте в дифрежиме в 94% случаев. Сравнение погрешностей НАП в абсолютном и дифференциальном режимах показывает, что использование СДКМ не приводит к однозначному и существенному улучшению точности позиционирования данной аппаратуры в данных условиях.

Начальник лаборатории отд. 03004
АО «ЦНИИмаш»



В.Л. Лапшин

Инженер 1-й категории отд. 03004
АО «ЦНИИмаш»



Д.В. Виндерских