

Ш. САРКАР, А. БОСЕ

## ИЗУЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ РЕШЕНИЙ ГЛОНАСС НА ТЕРРИТОРИИ ИНДИИ

*С конца 2011 г. система ГЛОНАСС является полностью функциональной. Это обусловило интерес к использованию ее для обеспечения избыточности и независимости систем, а также построения робастной навигационной среды с несколькими глобальными навигационными спутниковыми системами. В статье обсуждаются точности системы ГЛОНАСС в автономном и интегрированном с GPS режимах работы на основе исследований, проведенных по реальным данным из разных регионов Индии в 2012–2014 гг. Результаты демонстрируют потенциал ГЛОНАСС в качестве независимой глобальной навигационной системы и ее преимущества как активного компонента мультисистемной структуры в Индии и соседних регионах.*

**Ключевые слова:** ГЛОНАСС, автономный и интегрированный с GPS режимы, Индия

### Введение

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) становятся все более популярными, теперь пользователи могут работать с несколькими системами одновременно. В настоящее время системы GPS и ГЛОНАСС обладают полной функциональностью в части обеспечения точных параметров PVT (положение–скорость–время). Система GPS при автономном использовании зачастую неспособна соответствовать требованиям, предъявляемым к единственной глобальной навигационной системе, в то время как совместное использование нескольких систем может обеспечить их независимость, избыточность и надежную работу.

С середины и до конца 1990-х годов спутники ГЛОНАСС были наблюдаемы в Индии и обеспечивали достаточно высокое качество работы [1]. Затем ситуация резко ухудшилась, и с 2000 г. система стала нерабочей. После принятия плана модернизации и его реализации начиная с 2004 г. система ГЛОНАСС в восстановленной форме стала полностью рабочей с конца 2011 г. [2]. Мы изучили план модернизации системы ГЛОНАСС и процесс его реализации и выяснили, что с конца 2011 г. космический сегмент ГЛОНАСС остается постоянным с достаточным количеством рабочих спутников на орбите [3, 4]. Мы начали исследовать возможности восстановленной и модернизированной системы ГЛОНАСС на территории Индии в качестве альтернативы GPS и активного компонента мультисистемной структуры наряду с GPS. Были изучены публикации других ученых, чтобы оценить роль и качество работы ГЛОНАСС как ак-

---

**Саркар** Шрея. Аспирант Университета Бурдван (Индия).

**Босе** Аниндья. Доктор наук, научный сотрудник Университета Бурдван.

Научный редактор к.т.н. Н.В.Михайлов.

тивного компонента мультисистемной структуры [5–12] и показатели работы ГЛОНАСС в сложных условиях [13]. Одни из указанных работ основаны на теоретических исследованиях, выполненных до полного развертывания восстановленной системы ГЛОНАСС, другие посвящены качеству работы системы в разных регионах, а некоторые – решениям, полученным по данным GPS.

Настоящая статья посвящена двухсистемному подходу на основе данных в реальном времени. Во-первых, авторы постарались исследовать возможность полноценного использования рабочей системы ГЛОНАСС в индийском регионе в автономном и интегрированном с GPS режимах. Соответственно были исследовали функциональные возможности недорогих одностотных коммерческих двухсистемных ГНСС-приемников без дифференциальной коррекции и вероятность их применения в различных массовых среднеточных приложениях в реальном времени. Для этой цели было изучено качество работы ГЛОНАСС в Индии на основе данных 2011–2014 гг., собранных в разных частях страны. Представленные здесь результаты являются уникальными для Индии, так как до этого попыток сбора долговременных данных от удаленных областей не производилось.

Аналогичных данных по восстановленной системе ГЛОНАСС для Индии, которая является значимым регионом в плане доступности мультисистемных сигналов вследствие своего географического положения, а также потенциально растущим рынком для решений ГНСС, не существует. Анализ выявил доступность мощных и достаточно мощных сигналов ГЛОНАСС в Индии и окружающих районах с худшим геометрическим фактором [4, 14]. В статье представлены результаты исследований точности полученных решений при использовании ГЛОНАСС в автономном режиме и в сочетании с GPS (интегрированном режиме), которые могут быть полезны для всех участников рынка ГНСС для оценки потенциала ГЛОНАСС в целях экономически эффективной разработки систем и решений.

### Условия проведения экспериментов и полученные данные

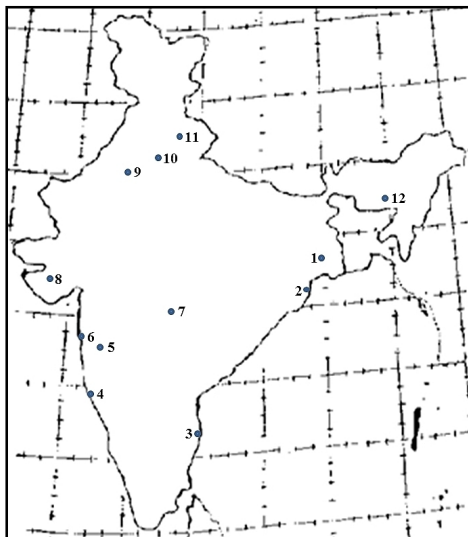


Рис. 1. Точки мониторинга данных ГНСС в Индии

Мониторинг данных ГНСС проводился в течение 2012–2014 гг. из точки в Индии, расположенной в восточной части страны ( $23.2545^\circ$  с.ш.,  $87.8468^\circ$  в.д., обозначена «1» на рис. 1), и из нескольких других точек в режимах GPS, ГЛОНАСС и интегрированном режиме. Места проведения экспериментов показаны на рис. 1 и в табл. 1. Точки мониторинга данных были разбросаны по Индии, чтобы получить общие результаты для всего региона. Большой объем долговременных данных был записан для проверки правильности данных, а также для наблюдения воспроизводимости полученных результатов.

Мониторинг данных ГНСС проводился с помощью двух видов ГНСС-приемников (с функциями приема сигналов GPS и

ГЛОНАСС), для которых введены обозначения Rx № 1, Rx № 2; краткое описание аппаратуры и ПО этих приемников дано в табл. 2.

Т а б л и ц а 1

План мониторинга данных ГНСС

Номер точки	Расположение	Комментарии
1	Бурдван	Постоянная станция, использующая приемники Rx № 1 и Rx № 2  Данные записывались в каждой точке в течение 2-4 дней с помощью приемника Rx № 1 с августа по ноябрь 2012 г.
2	Баласор	
3	Ченнай	
4	Гоа	
5	Пуна	
6	Панвел	
7	Нагпур	
8	Раджкот	
9	Пилани	
10	Нойда	
11	Дехрадун	
12	Шиллонг	

Т а б л и ц а 2

Краткое описание испытательной установки

Приемник	Краткое описание аппаратуры	ПО сбора данных	Формат и скорость передачи данных
Rx № 1	Оригинальная плата GoeS-1M, одночастотный, 24 канала	Собственной разработки	Формат NMEA 0183, 1 Гц
Rx № 2	Javad DELTA G3T с антенной GrAnt G3T, мультимчастотный, 216 каналов	Javad NetView®	

В состав испытательной установки вошли сами приемники, компьютер для записи данных и внешняя ГНСС-антенна, укрепленная на крыше. Из исходного потока данных NMEA были извлечены полезные данные: дата, время наблюдения, навигационное решение, геометрические факторы точности для каждого наблюдения и данные по всем спутникам, используемым в решении.

В данной статье особое внимание уделено возможности получения навигационного решения по ГЛОНАСС с помощью автономных одночастотных недорогих приемников ГЛОНАСС, поэтому больше результатов представлено для приемника Rx № 1.

Приемник Rx № 2, двухчастотный приемник ГНСС JAVAD G3T, оснащенный функцией динамической калибровки ГЛОНАСС 0,2 мм и усиленным подавлением многолучевости, сложный и дорогой, поэтому результатов, полученных с его помощью, меньше, но они подтверждают результаты, полученные от первого приемника.

### Результаты и обсуждение

Результаты, полученные путем анализа записанных данных, представлены здесь для отдельных созвездий (GPS или ГЛОНАСС) или для комбинации GPS+ГЛОНАСС (интегрированный режим).

### Точность решения при автономном использовании системы ГЛОНАСС (без дифференциальной коррекции)

Авторы проанализировали точность данных о местоположении, полученных по всем видимым сигналам ГЛОНАСС С/А L1 в автономном режиме, т.е. без дифференциальной коррекции или поправок. Данные, полученные при использовании ГЛОНАСС в течение 1 ч с частотой 1 Гц, показаны на рис. 2 и 3 для первого и второго приемников соответственно. На обоих рисунках площадь графика составляет  $22,22 \times 22,22$  м. Результаты для обоих приемников демонстрируют колебания мгновенных навигационных определений по ГЛОНАСС, причем колебания значений широты оказываются выше колебаний значений долготы.

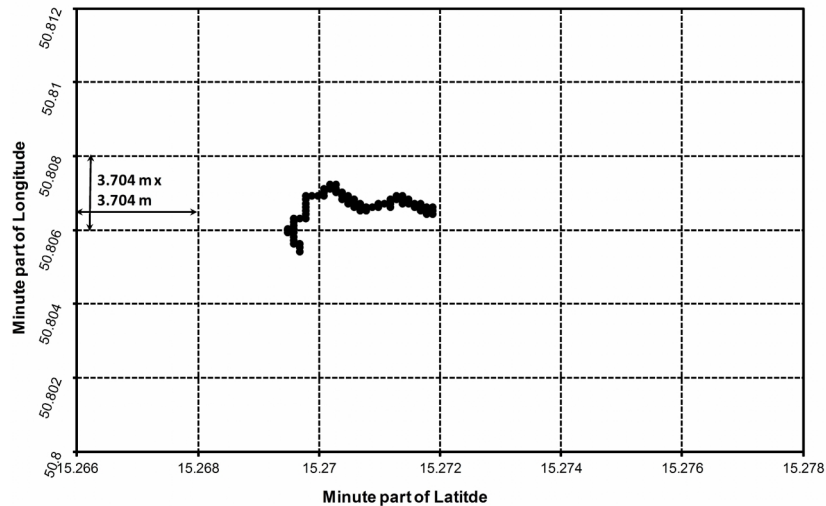


Рис. 2. Изменение местоположения в автономном режиме ГЛОНАСС (05/06/2013, 00:00:00 – 01:00:00 по индийскому времени) по данным Rx № 1

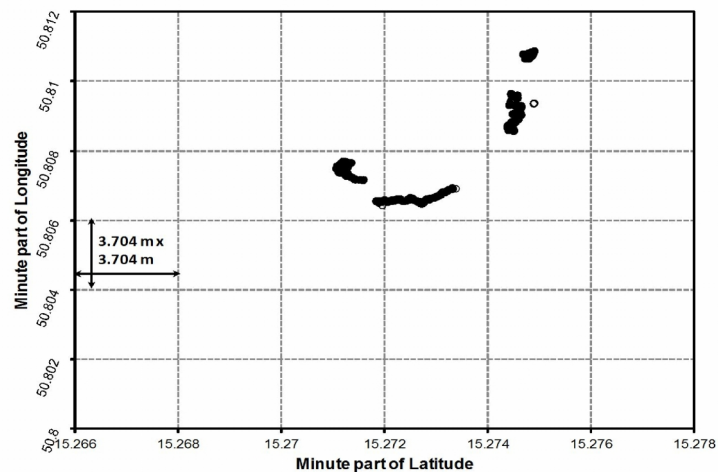


Рис. 3. Изменение местоположения в автономном режиме ГЛОНАСС (02/05/2013, 11:43:58 – 12:43:59 по индийскому времени) по данным Rx № 2

На рис. 2 и 3 представлены кратковременные данные, поэтому, чтобы лучше оценить точность автономной системы ГЛОНАСС, было решено провести систематический анализ более долговременных данных. Для этого осуществлялся сбор данных по каждому дню и вычислялось среднее значение и среднеквадратическое отклонение широты и долготы в течение дня. Затем процесс многократно повторялся. Средние значения положения, полученные за 4 месяца, и среднеквадратического отклонения за 2 месяца при использовании Rx №1 показаны на рис. 4 и 5. На рис. 4 каждая точка данных представляет собой среднее значение наблюдения в течение дня, а точка пересечения жирных черных линий – положение опорной антенны. Видно, что, за исключением данных за март 2012 г., максимальный разброс усредненной за день широты составляет менее 16 м, а в марте 2012 г. его значение доходит до 30 м. Максимальный разброс усредненной за день долготы не превышает 10 м. Аналогичные большие колебания данных за март 2012 г. также наблюдались при использовании режимов GPS и GPS+ГЛОНАСС и могут быть связаны с аппаратными/программными сбоями используемого приемника. Большинство колебаний находятся в квадрате размером 3,5×3,5 м.

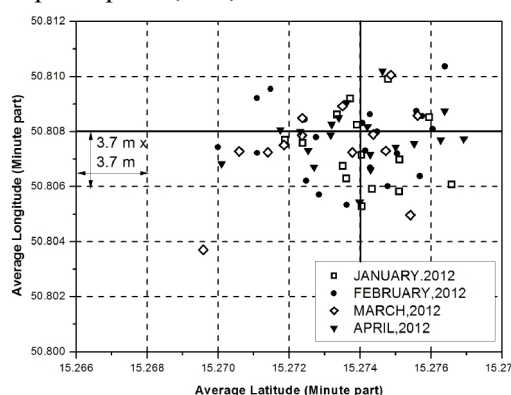


Рис. 4. Средние однодневные значения положения с использованием ГЛОНАСС (Rx №1).  
Average – средняя

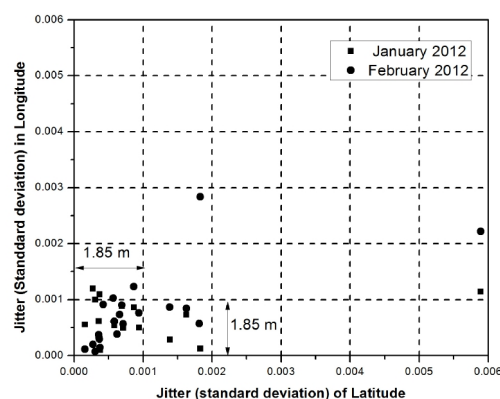


Рис. 5. Стандартное отклонение однодневных значений положения с использованием ГЛОНАСС (Rx №1).  
Jitter – (здесь) флюктуации

Для более подробного исследования точности ГЛОНАСС мы решили применить подход, использующий все отдельные решения вместе. Поэтому для следующего анализа данных ГЛОНАСС о местоположении произведен расчет погрешностей отдельных навигационных решений относительно заданной опорной точки. Для этого, во-первых, рассчитаны опорные положения двух антенн ГНСС (Rx №1 и Rx №2), произведены сбор и осреднение данных GPS за очень долгий период, в качестве опорной широты ( $La_0$ ), долготы ( $Lt_0$ ) и высоты ( $h_0$ ) для каждой антенны выбраны средние значения [1]. Опорные значения широты и долготы для Rx №1 показаны на рис. 4 (жирные черные линии). С помощью этих заданных опорных координат вычислены погрешности широты, долготы и высоты для каждого наблюдения. Затем по приведенным ниже уравнениям рассчитаны трехмерные (3d) и двухмерные (2d) погрешности (в метрах) для отдельных решений. Принято, что 1 угл. мин кривизны земной поверхности эквивалентна 1852 м.

$$Error_{3d} = \sqrt{\Delta h^2 + (1852 \cdot \Delta Lt \cdot \cos(La_0))^2 + (1852 \cdot \Delta La)^2}, \quad (1)$$

$$Error_{2d} = \sqrt{(1852 \cdot \Delta Lt \cdot \cos(La_0))^2 + (1852 \cdot \Delta La)^2}, \quad (2)$$

где  $Error_{3d}$  – трехмерная погрешность решения относительно опорного значения,  $Error_{2d}$  – двухмерная (горизонтальная) погрешность решения относительно опорного значения,  $\Delta h$  – отличие мгновенной высоты от опорной, м,  $\Delta Lt$  – отличие мгновенной долготы от опорной, угл. мин.,  $\Delta La$  – отличие мгновенной широты от опорной, угл. мин.

Для более масштабного анализа были проведены сбор и исследование данных ГЛОНАСС за каждый месяц 2012 г. В табл. 3 приведены средние значения двухмерных и трехмерных погрешностей и стандартное отклонение погрешностей местоопределения при помощи ГЛОНАСС при использовании Rx №1 за несколько месяцев наблюдений. Видно, что средняя двухмерная горизонтальная погрешность ГЛОНАСС остается в пределах 10 м, а средняя трехмерная погрешность не превышает 20 м.

Т а б л и ц а 3

**Двухмерные и трехмерные погрешности местоопределения ГЛОНАСС  
в разные периоды времени  
(при использовании Rx №1)**

Месяц, год	Средняя погрешность (м)		Стандартное отклонение погрешности (м)	
	2d	3d	2d	3d
Март 2012	9,128	16,292	3,336	8,007
Сентябрь 2012	4,818	9,275	2,295	5,007
Декабрь 2012	4,570	11,541	4,015	11,567
Апрель 2013	4,078	9,697	2,357	5,925
Июль 2013	4,174	8,493	1,739	5,029
Апрель 2014	3,545	6,707	2,861	2,901
Май 2014	5,093	9,431	1,650	3,141

Средние значения погрешностей за месяц не содержат информации о распределении погрешностей, поэтому был применен более детальный анализ. Двухмерные и трехмерные погрешности положения, полученные по всем измерениям за месяц, были разделены на несколько классов. Использовались классы разной ширины – 1, 2, 5 и 10 м для погрешностей до 6, 6–10, 10–20 и 20–40 м соответственно. Количество измерений, попадающих в каждый класс за месяц, складывалось, и, пользуясь общим количеством измерений за месяц, был рассчитан процент попадания погрешности в каждый класс. Затем вычислялся суммарный процент погрешности в данном классе путем сложения всех процентов попадания в этом и более высоком классах. Достигнутые двухмерные и трехмерные погрешности и их распределение за разные месяцы представлены на рис. 6 и 7 для Rx №1 и на рис. 8 и 9 для Rx №2, где показаны суммарный процент и верхняя граница рассматриваемого класса погрешностей.

Анализ рис. 6–9 свидетельствует о том, что для автономных односторонних решений ГЛОНАСС двухмерные (горизонтальные) погрешности во всех случаях не превышают 40 м, в 90% случаев – 15 м и в 50% случаев находились в пределах 5 м. Трехмерные погрешности ГЛОНАСС во всех случаях также не пре-

вышают 40 м, в 90% случаев –35 м и в 50% случаев находились в пределах 13 м. Однако аппаратные и программные средства приемника могут улучшить точность мгновенных решений, как видно из результатов, представленных на рис 8 и 9.

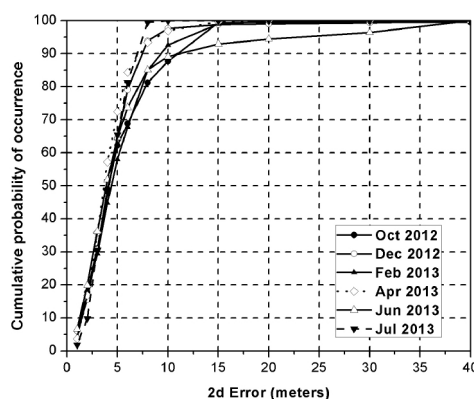


Рис. 6. Распределение двухмерных погрешностей положения ГЛОНАСС (Rx №1).  
Горизонт. ось – двухмерная погрешность (м)  
Верт. ось – суммарная вероятность попадания

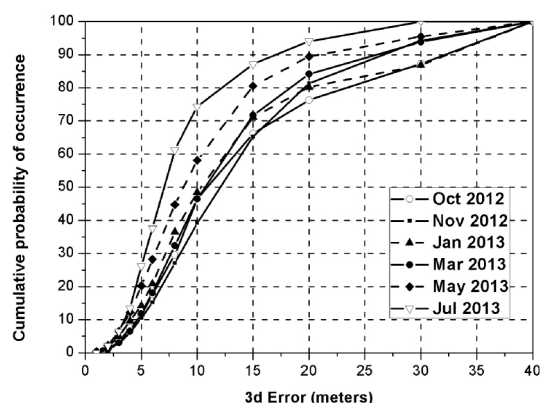


Рис. 7. Распределение трехмерных погрешностей положения ГЛОНАСС (Rx №1)

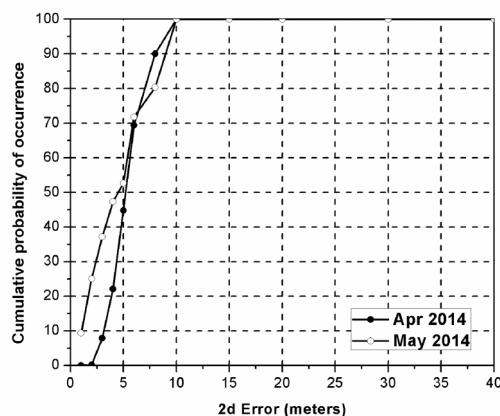


Рис. 8. Распределение двухмерных погрешностей положения ГЛОНАСС (Rx №2)

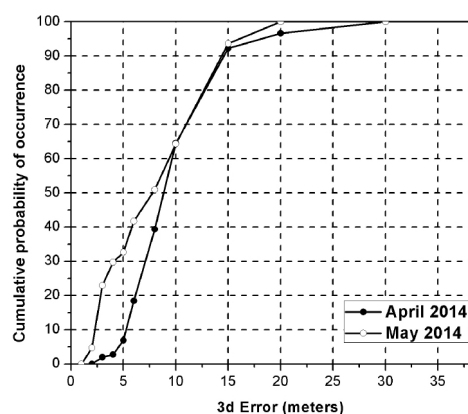


Fig. 9. Распределение трехмерных погрешностей положения ГЛОНАСС (Rx №2)

### Точность интегрированных решений. Вклад ГЛОНАСС

В настоящее время при наличии двух работающих и нескольких новых, активно развивающихся ГНСС мультисистемный подход стал важным аспектом их теории и практики. В связи с этим интересно изучить результаты и возможные преимущества комбинации ГЛОНАСС и GPS.

В начале исследования, 8 апреля 2014 г., был произведен сбор данных в течение 1 ч с частотой поступления 1 Гц в режимах GPS, ГЛОНАСС и в интегрированном режиме с помощью Rx №1. Рассчитаны погрешности отдельных значений широты и долготы для каждого наблюдения относительно опорных координат приемника (черные линии на рис. 10). Видно, что, наименьшие от-

клонения наблюдаются в интегрированном режиме, а наибольшие – при работе ГЛОНАСС. Полученные результаты требуют долговременного и систематического исследования, чтобы оценить возможности работы ГЛОНАСС совместно с GPS. Такое исследование помогло бы сравнить качество сигналов ГЛОНАСС и GPS при работе в автономном режиме.

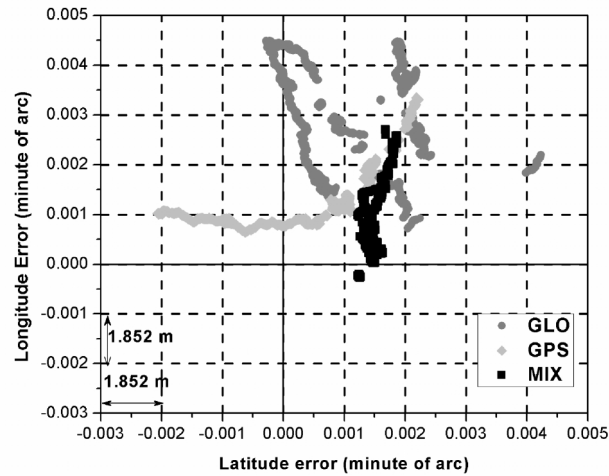


Рис. 10. Погрешности положения при работе в режимах GPS, ГЛОНАСС и GPS+ГЛОНАСС; дата 08.04.2014; данные за 1 ч при частоте передачи данных 1 Гц для каждого режима, приемник Rx №1

Для оценки работы ГЛОНАСС в интегрированном режиме мы провели исследование с помощью приемника Rx №1 (27.05.2014). Для получения данных о местоположении было выбрано созвездие – 4 спутника GPS со средними геометрическим фактором, а затем один за другим вводились спутники ГЛОНАСС для работы в интегрированном режиме. Было введено от 1 до 4 спутников ГЛОНАСС, и в каждом случае производился сбор данных в течение 10-20 мин при неизменной геометрии спутников GPS.

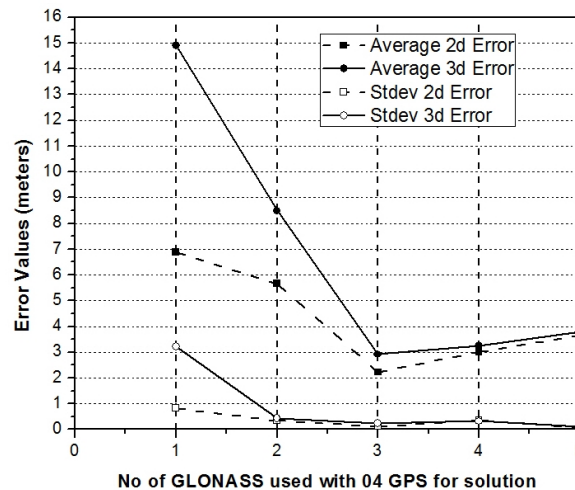


Рис. 11. Эффект введения спутников ГЛОНАСС при наличии 4 спутников GPS в интегрированном режиме.

Горизонт. ось – количество спутников ГЛОНАСС при наличии 4 спутников GPS  
Верт. ось – значение погрешности (м)



Средние двухмерные и трехмерные погрешности и стандартные отклонения погрешностей для каждого случая были рассчитаны по уравнениям (1) и (2), результаты представлены на рис. 11. Видно, что при увеличении количества спутников ГЛОНАСС пропорционально увеличивается точность решения в интегрированном режиме. Данный результат ясно демонстрирует потенциальные преимущества ГЛОНАСС для повышения точности решений при отсутствии дифференциальной коррекции в коммерческом приемнике в режиме GPS+ГЛОНАСС.

Для сравнения погрешностей, полученных в режимах GPS, ГЛОНАСС и интегрированном режиме использовались максимальные отклонения значений широты, долготы и высоты за месяц. Наибольшие значения отклонений и их среднеквадратические значения, переведенные в метры, даны в табл. 4, 5 и 6.

Т а б л и ц а 4

**Сравнение колебаний широты  
при работе GPS, ГЛОНАСС и в интегрированном режиме.**

Месяц наблюдений	Максимальный разброс (м)			Стандартное отклонение (м)		
	MIX	GPS	ГЛОНАСС	MIX	GPS	ГЛОНАСС
<b>Результаты от приемника Rx №1</b>						
Март 2012	9,077	15,180	22,409	4,190	3,708	7,179
Сентябрь 2012	8,149	9,075	13,740	1,963	2,853	3,407
Январь 2013	8,148	2,778	25,094	2,270	2,63	12,30
Апрель 2013	32,595	8,704	28,521	9,606	2,606	3,148
Июнь 2013	0,556	9,074	16,483	0,166	1,970	3,080
Май 2014	7,038	7,038	6,482	1,409	1,414	1,679
<b>Результаты от приемника Rx №2</b>						
Апрель 2014	9,703	12,769	15,872	2,860	3,132	3,494
Май 2014	2,661	6,801	11,016	0,613	1,970	2,867

Т а б л и ц а 5

**Сравнение колебаний долготы  
при работе GPS, ГЛОНАСС и в интегрированном режиме**

Месяц наблюдений	Максимальный разброс (м)			Стандартное отклонение (м)		
	MIX	GPS	ГЛОНАСС	MIX	GPS	ГЛОНАСС
<b>Результаты от приемника Rx №1</b>						
Март 2012	6,675	11,571	13,612	2,590	2,622	2,987
Сентябрь 2012	6,466	5,955	16,505	0,347	1,473	4,043
Январь 2013	5,785	2,212	22,222	1,491	0,683	4,214
Апрель 2013	4,764	4,424	20,929	1,406	1,099	3,170
Июнь 2013	0,340	9,018	12,081	0,093	0,935	2,705
Май 2014	9,26	15,001	12,779	1,740	2,164	3,492
<b>Результаты от приемника Rx №2</b>						
Апрель 2014	5,79	5,026	10,977	1,494	1,161	2,435
Май 2014	2,309	4,568	12,284	0,680	1,346	3,312

**Сравнение колебаний высоты  
при работе GPS, ГЛОНАСС и в интегрированном режиме**

Месяц наблюдений	Максимальный разброс (м)			Стандартное отклонение (м)		
	MIX	GPS	ГЛОНАСС	MIX	GPS	ГЛОНАСС
	<b>Результаты от приемника Rx №1</b>					
Март 2012	—	29,0	38,10	6,40	9,43	9,44
Сентябрь 2012	15,7	23,5	52,8	2,76	7,28	9,08
Июнь 2013	0,90	22,8	38,4	0,18	2,28	7,21
Май 2014	16,7	22,6	23,5	3,234	2,570	7,817
<b>Результаты от приемника Rx №2</b>						
Апрель 2014	15,90	13,75	33,45	2,92	3,67	7,73
Май 2014	4,91	3,71	14,02	1,26	0,92	4,31

Из таблиц видно, что обычно самые маленькие отклонения наблюдаются в интегрированном режиме, затем идет режим GPS; и самые большие отклонения – в режиме ГЛОНАСС. Иногда низкая стабильность ГЛОНАСС увеличивает отклонения навигационных решений в интегрированном режиме. Также в большинстве случаев отклонение по широте выше отклонения по долготе. Во всех случаях отклонения по высоте больше, чем отклонения в плановых координатах. Однако аппаратные и программные коррекции, применяемые в Rx №2, обеспечивают получение более точных решений ГЛОНАСС.

Далее сравниваются двухмерные и трехмерные точности при работе с одной или несколькими системами. Данные GPS, ГЛОНАСС и интегрированного режима, собранные за несколько месяцев, проанализированы по той же методике, что была применена ранее для расчета суммарного процента погрешностей положения в различных диапазонах. Результаты анализа данных представлены на рис. 12 (для приемника Rx №1), где графики с левой стороны демонстрируют двухмерные погрешности, а с правой – трехмерные. Аналогичные результаты для приемника Rx №2 приведены на рис. 13.

Анализ графиков показывает, что оба вида погрешностей в режиме ГЛОНАСС выше, чем в режиме GPS. Минимальные погрешности наблюдаются в интегрированном режиме. При использовании режима GPS+ГЛОНАСС в одночастотных коммерческих приемниках без дифференциальной коррекции наблюдается повышение точности. В интегрированном режиме применение ГЛОНАСС помогает ограничить двухмерные погрешности до 10 м, а трехмерные – до 20 м. Эти результаты подтверждают важность применения ГЛОНАСС совместно с GPS в недорогих автономных приемниках.

Другое преимущество использования ГЛОНАСС проявляется в условиях плохой видимости спутников, тогда применение спутников ГЛОНАСС в интегрированном режиме помогает решить проблему. В табл. 7 приведены результаты исследования с использованием намеренно высоких масок углов возвышения спутника. Углы отсечки удерживаются на уровне 30 и 45°, чтобы симитировать условия каньона, и приемник работает в интегрированном режиме.

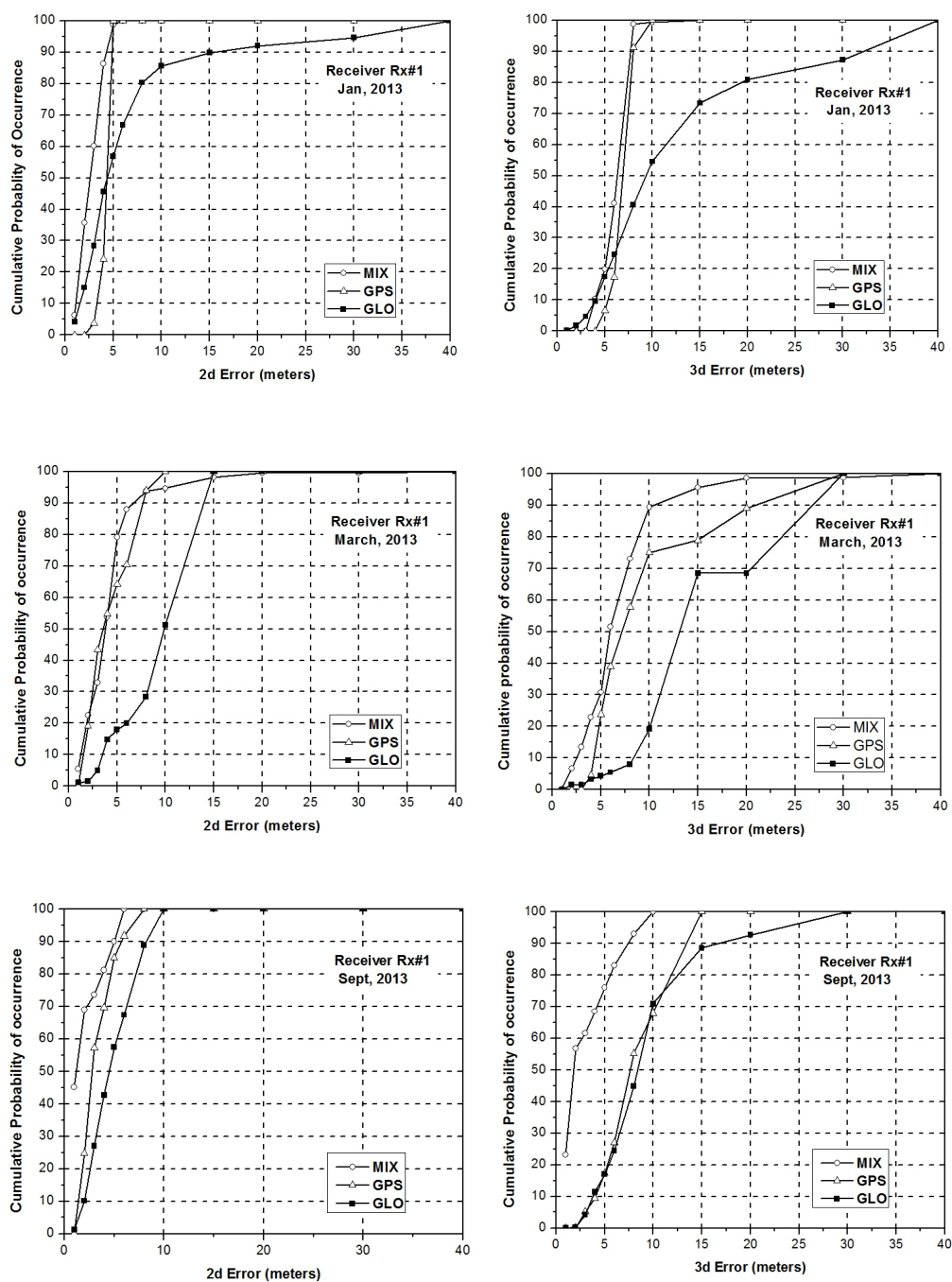


Рис. 12. Сравнение достижимых точностей в режиме GPS, ГЛОНАСС и GPS+ГЛОНАСС при использовании Rx №1

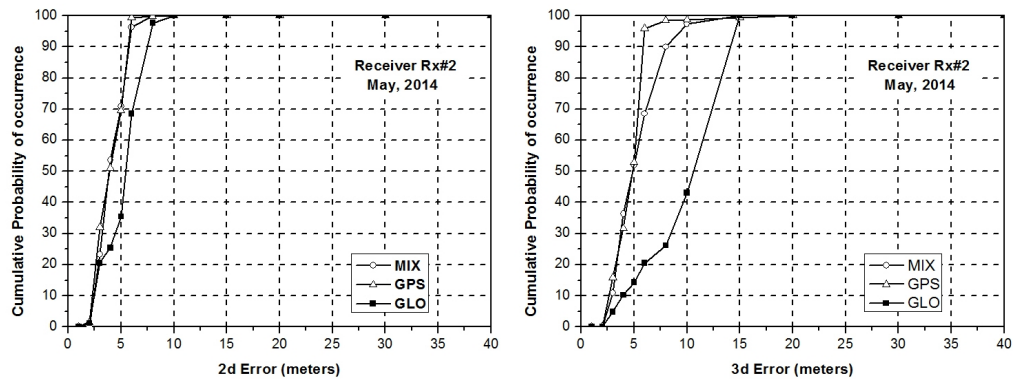


Рис. 13. Сравнение достижимых точностей в режиме GPS, ГЛОНАСС и GPS+ГЛОНАСС при использовании Rx №2

Т а б л и ц а 7

**Применимость спутников ГНСС при высоком угле отсечки (место: Бурдван)**

Маска угла возвышения	Дата, время	Кол-во используемых спутников GPS (видимых выше 5°)	Количество используемых спутников ГЛОНАСС (видимых выше 5°)
30°	16.10.2014, 18:05:38	5 (9)	5 (9)
	20.10.2014, 17:35:49	5 (8)	3 (10)
	19.11.2014, 16:39:37	4 (10)	3 (10)
45°	16.10.2014, 18:08:12	3 (9)	1 (8)
	20.10.2014, 17:34:13	3 (8)	1 (10)
	19.11.2014, 16:52:00	4 (10)	1 (10)

Видно, что при маске угла возвышения 45° можно достичь одновременной доступности минимум четырех спутников для получения трехмерного решения только при использовании двух систем.

Таким образом, сделан вывод, что, во-первых, система ГЛОНАСС как активная альтернатива GPS может быть использована в Индии и соседних регионах при небольшом снижении точности для обеспечения независимости и избыточности систем и, во-вторых, ГЛОНАСС при совместном использовании с GPS обеспечивает надежное получение навигационных решений при плохих условиях приема сигналов ГНСС, а также более высокую точность положения, чем любой из автономных режимов в одночастотных приложениях реального времени без внешних коррекций.

Данные, собранные с других точек мониторинга в Индии, были изучены с помощью такой же методики анализа и дали аналогичные результаты, таким образом, результаты исследования можно считать общими для Индии и соседних регионов.

### Заключение

В условиях растущего интереса к мультисистемному подходу система ГЛОНАСС, будучи единственной рабочей глобальной альтернативой GPS, способна обеспечить пользователям такие преимущества, как независимость и из-

быточность. Представленные результаты получены на основе долговременного исследования с использованием ГНСС-приемников различной функциональности. Данные собраны из разных регионов Индии, включая области вблизи географических границ.

В силу своего географического положения пользователи ГНСС в Индии должны иметь возможность получать и использовать большое количество сигналов от различных рабочих или запускаемых систем ГНСС. С учетом растущей экономики региона можно предсказать рост рынка ГНСС [15]. Достигнутая точность ГЛОНАСС укрепляет доверие к этой системе.

ГЛОНАСС как автономная система может быть использована в Индии, при применении недорогих одночастотных приемников без дифференциальной коррекции она обеспечивает средние точности, достаточные для множества массовых ГНСС-приложений. Для более сложных приложений точность системы повышается за счет аппаратных и программных коррекций. Будучи активным компонентом мультисистемной структуры ГНСС, ГЛОНАСС наряду с GPS обеспечивает не только множество преимуществ, включая улучшенный сценарий «сигнал в космосе» (Signal in Space (SiS)), снижающий влияние атмосферных эффектов, но и достаточное количество спутников для получения навигационного решения в условиях ухудшенной видимости, а также улучшенную геометрию спутников [14]. В конечном итоге, большая точность в интегрированном режиме по сравнению с автономными режимами способствует появлению более активного интереса к использованию режима GPS+ГЛОНАСС в недорогих массовых приложениях ГНСС.

Большой интерес представляет изучение работы новых глобальных и региональных навигационных систем – GALILEO, BEIDOU, QZSS и IRNSS, а также преимущества их использования в Индии в автономном и интегрированном режимах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Banerjee P., Bose, A., and Dasgupta A.** The usefulness of GLONASS for positioning in the presence of GPS in Indian subcontinent, *Navigation, Journal of the Institute of Navigation (UK)*, 2002, vol. 55, no. 3, pp. 463–475, doi: 10.1017/S0373463302001960.
2. **Glonass-M sat fully operational**, Voice of Russia, <http://english.ruvr.ru/2011/10/26/59382687.html>, 31 October, 2011
3. **Bose A. and Sarkar S.** Revitalized GLONASS Constellation Status in mid 2010, *European Journal of Navigation*, 2010. vol. 8, no. 2, pp. 45–46.
4. **Bose A., Sarkar S., Hazra K. Banerjee P., and Sateesh Reddy G.** A preliminary report on the usefulness of revitalized GLONASS in India”, *Proc. Pearl Jubilee International Conference on “Navigation and Communication” (NAVCOM-2012)*, Hyderabad, India, 20-21 December, 2012, pp 150–153.
5. **Eisfeller B., Ameres G., Kropp V., and Sanroma D.** Performance of GPS, GLONASS and Galileo, 2007, [www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo07/220Eisfeller.pdf](http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo07/220Eisfeller.pdf)
6. **Kahvecioglu S.** GLONASS: History, state of the art and an outlook on future, *International Review of Aerospace Engineering*, Aug 2011, vol. 4, no. 4, pp. 228-239.
7. **Choy S., Zhang S., Lahaye F., and Héroux P.** A comparison between GPS-only and combined GPS+GLONASS Precise Point Positioning, *Journal of Spatial Science*, 2013, vol. 58, no. 2, 2013, pp. 169-190.
8. **GLONASS: Dispelling the myths around Russia’s GPS**, RIA Novosty, January 10, 2014, [http://rbth.com/science\\_and\\_tech](http://rbth.com/science_and_tech)
9. **Bays K.** Considerations for Testing GLONASS, NGS ‘Best Practices for RTN Administration’ Webinar, 20 March, 2014, [http://www.ngs.noaa.gov/corbin/class\\_description/RTN\\_Best\\_Practices\\_0314.shtml](http://www.ngs.noaa.gov/corbin/class_description/RTN_Best_Practices_0314.shtml)

10. Ji S., Chen W., Ding X., and Chen Y. Potential benefits of GPS/GLONASS/GALILEO integration in an urban canyon – Hong Kong, The Journal of Navigation, 2010, vol. 63, no. 4, pp. 681–693.
11. O'Driscoll C., Lachapelle G., and Tamazin M. Dynamic Duo, Combined GPS/GLONASS receivers in urban environments, GPS World, 2011, vol. 22, no. 1, pp. 51–58.
12. Tung Hai Ta, Duc Minh Truong, Tu Thanh Thi Nguyen, Trung Tran Hieu, Thuan Dinh Nguyen, and Gustavo Belforte. Multi-GNSS positioning campaign in South-East Asia, Coordinates, 2013, vol. 9, no. 11, pp. 11-20.
13. Dhital A., Bancroft J.B. and Lachapelle G. A new approach for improving reliability of personal navigation devices under harsh GNSS signal conditions, Sensors, 2013, vol. 13, pp. 15221-1524, doi:10.3390/s131115221.
14. Bose A., Hazra K., and Sarkar S. A study on satellite geometry variation for Multi-GNSS from India, International Journal of Engineering Research, 2014, vol. 3, no. 10, pp. 575-579.
15. **2015 GNSS Market report**, European Global Navigation Satellite System Agency, no. 4, March 2015, available online <http://www.gsa.europa.eu/2015-gnss-market-report>

**Sarkar S., Bose A.** (The University of Burdwan, Golapbag Burdwan 713 104, INDIA).  
 Studies on Solution Accuracy of GLONASS from India // Гироскопия и Навигация. 2015.  
 № 4(91). P. 117-130.

**Abstract.** GLONASS is declared fully operational in its revitalized form since late 2011. This generated interest for using it for redundancy and system independence and for a robust Multi-GNSS navigation environment. This paper discusses the accuracy capabilities of revitalized GLONASS in standalone and in mixed mode of operation with GPS on basis of studies made using real-life data from different parts of India collected over 2012 – 2014. The results show the potentials of GLONASS as an independent global navigation system and the advantages of it as an active component of usable Multi-GNSS from India and the surrounding regions.

**Key words:** GLONASS, GPS, Multi-GNSS, India

Материал поступил 06.04.15.