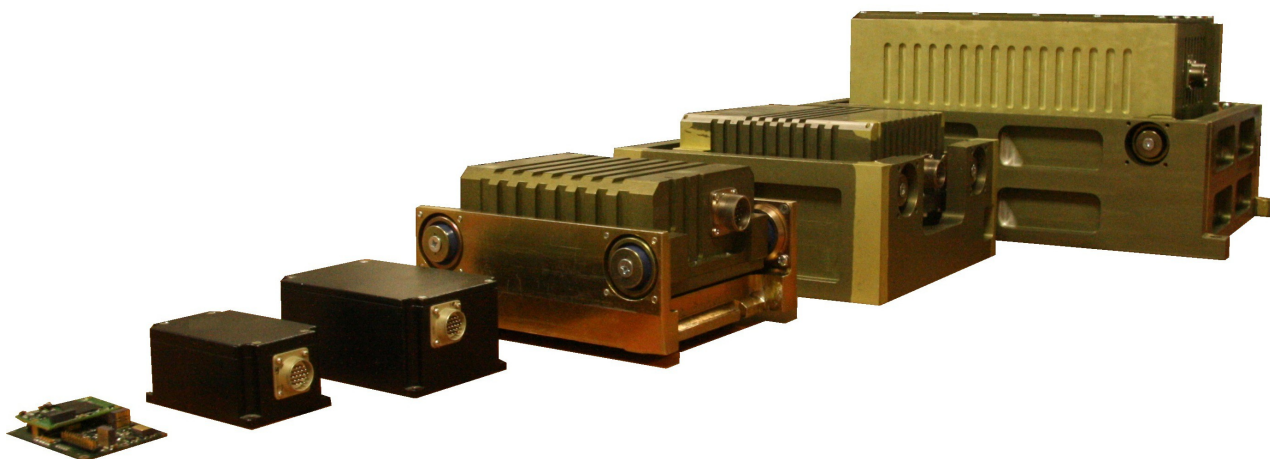


ЛАБОРАТОРИЯ **ГИРО** **ЛАБ**

ООО «Гиrolаб»: разработка и производство широкой линейки гирокомпасов и Бесплатформенных Инерциальных Навигационных Систем (БИНС) для применения в системах навигации, ориентации, стабилизации различных конечных изделий, требующих БИНС различного класса точности и функциональности для наземного, морского, авиационного применений на базе волоконно-оптических гирокомпасов с замкнутым контуром, разомкнутым контуром и МЭМС.

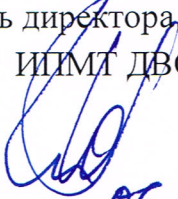


www.gyrolab.ru ; www.БИНС.рф ; sales@gyrolab.ru

Москва
Тел./Факс: (495) 229 1480

Пермь:
Тел.: (342) 207 5398 / 97
Факс: (342) 207 5398

«Утверждаю»
заместитель директора по научной работе
ИПМТ ДВО РАН


Ю.В. Матвиенко
« 06 » сентября 2014 г.

ПРОТОКОЛ

проведения испытаний макетного образца инерциальной навигационной системы автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) на базе БИНС GL-1000

1. Объект испытаний

Макет альтернативной инерциальной навигационной системы АНПА на базе БИНС GL-1000.

2. Цель испытаний

Целью работ является проверка возможности замены ИНС зарубежного производства (PHINS) на российский аналог (БИНС GL-1000, ф. Гиrolаб) для применения в СЧ ОКР "Аркадак".

3. Условия проведения испытаний

Работы проводились на первом этапе в лабораторных условиях, в помещении лаборатории систем навигации и обработки сенсорной информации ИПМТ ДВО РАН (с 1-го по 2-е сентября 2014г.), и на втором этапе в акватории залива Петра Великого, на борту катера РПР-2538 (с 3-го по 5-е сентября 2014г.).

4 Методика испытаний

Объектом испытаний является образец БИНС GL-1000.

Испытания проводятся в два этапа. 1-й этап в лабораторных условиях, на неподвижной платформе. 2-й этап в морских условиях, на борту обеспечивающего судна в условиях качки.

Необходимое для проведения испытаний оборудование: БИНС GL-1000, смарт-антенна СНС из комплекта GL-1000, ИНС PHINS смарт-антенна СНС из комплекта PHINS, персональный компьютер, обеспечивающее судно, технологические элементы конструкции обеспечивающей крепление БИНС GL-1000 и ИНС PHINS на общей базовой поверхности, соединительные кабели и блоки питания. Программное обеспечение: программа пульта БИНС GL-1000, iXRepeaterIns7.5 (штатное ПО PHINS).

Целью испытаний является: оценка возможности применения БИНС GL-1000 на АНПА в условиях моря (выставка во время качки и дрейфа судна), экспериментальное исследование характеристик макетного образца инерциальной навигационной системы АНПА на базе БИНС GL-1000.

Эксперимент 1 – оценка работы БИНС на неподвижной платформе.

БИНС GL-1000 и PHINS крепятся на общей базовой поверхности (плоская алюминиевая плита). Конструкция устанавливается на неподвижное основание.

Приборы подключаются к ПК (PHINS через Ethernet, БИНС GL-1000 через виртуальный COM порт). Производится запуск штатных программ (программа пульта БИНС GL-1000 и iXRepeaterIns7.5). После включения питания в ИНС осуществляются необходимые настройки, синхронизация часов, посылаются широта и долгота места, производится процедура выставки. Для сохранения результатов измерений включается логирование данных. Данные от БИНС GL-1000 и PHINS сохраняются в отдельные файлы.

Во время всего эксперимента приборы остаются неподвижными. Продолжительность эксперимента до 24 часов.

Режим работы БИНС GL-1000: коррекция от ДЛ заменяется коррекцией по нулевой скорости, коррекция от GPS отключена. Цель эксперимента – выяснить устойчивость работы ИНС в полностью автономном режиме, подтвердить

возможность использования БИНС во время длительных запусков АНПА (до суток).

По результатам эксперимента оценить отклонение измеренного курса от среднего значения на протяжении всего временного интервала (построить график). Сравнить показания БИНС GL-1000 с PHINS. Оценить угловые поправки взаимного расположения корпусов БИНС GL-1000 с PHINS на общей базовой поверхности.

Эксперимент 2 – оценка работы БИНС на подвижной платформе (судно в условиях качки и дрейфа).

Собранная конструкция с БИНС GL-1000 и PHINS устанавливается на судно.

На борту судна крепятся антенны приемников СНС.

Приборы подключаются к ПК (PHINS через Ethernet, БИНС GL-1000 через виртуальный COM порт). Производится запуск штатных программ (программа пульта БИНС GL-1000 и iXRepeaterIns7.5). После включения питания в ИНС осуществляются необходимые настройки, синхронизация часов, широта и долгота места поступает от приемника СНС, производится процедура выставки. Для сохранения результатов измерений включается логирование данных. Данные от БИНС GL-1000 и PHINS сохраняются в отдельные файлы.

Продолжительность эксперимента от 1 до 4 часов.

Режим работы БИНС GL-1000: коррекция от ДЛ отключена, коррекция от GPS включена. Контролируемые параметры: курс, крен, дифферент, угловые скорости, ускорения, координаты. Цель эксперимента – выяснить устойчивость и точность работы ИНС во время и после выставки на подвижной платформе.

По результатам эксперимента сравнить показания БИНС GL-1000 с PHINS. Оценить точность измерения курса, оценить скорость выхода на заданную точность.

Эксперимент 3 – оценка работы БИНС на подвижной платформе (судно в условиях качки и дрейфа) в автономном режиме.

Собранная конструкция с БИНС GL-1000 и PHINS устанавливается на судно. На борту судна крепятся антенны приемников СНС.

Приборы подключаются к ПК (PHINS через Ethernet, БИНС GL-1000 через виртуальный COM порт). Производится запуск штатных программ (программа пульта БИНС GL-1000 и iXRepeaterIns7.5). После включения питания в ИНС осуществляются необходимые настройки, синхронизация часов, широта и долгота места поступает от приемника СНС, производится процедура выставки. Для сохранения результатов измерений включается логирование данных. Данные от БИНС GL-1000 и PHINS сохраняются в отдельные файлы.

Продолжительность эксперимента до 2 часов.

Режим работы БИНС GL-1000 на первом этапе: коррекция от ДЛ отключена, коррекция от GPS изначально включена. Контролируемые параметры: курс и координаты.

Режим работы БИНС GL-1000 на втором этапе: коррекция от ДЛ отключена, коррекция от GPS выключена на период до 20 минут. Контролируемые параметры: курс, координаты.

Режим работы БИНС GL-1000 на третьем этапе: коррекция от ДЛ отключена, коррекция от GPS включена на период не менее 5 минут.

Цель эксперимента – выяснить динамику нарастания ошибки измерения скорости и координат при работе ИНС на подвижной платформе в автономном режиме.

5. Результаты испытаний

5.1 Эксперимент N1 - оценка работы БИНС на неподвижной платформе

На рисунке 1 показан макет альтернативной инерциальной навигационной системы АНПА на базе БИНС GL-1000 размещенный на общей базовой поверхности (плоской алюминиевой плите) совместно с ИНС PHINS, используемой при измерениях в качестве эталона.

Пластина с БИНС GL-1000 и PHINS установлена на поворотную платформу КПА-5.

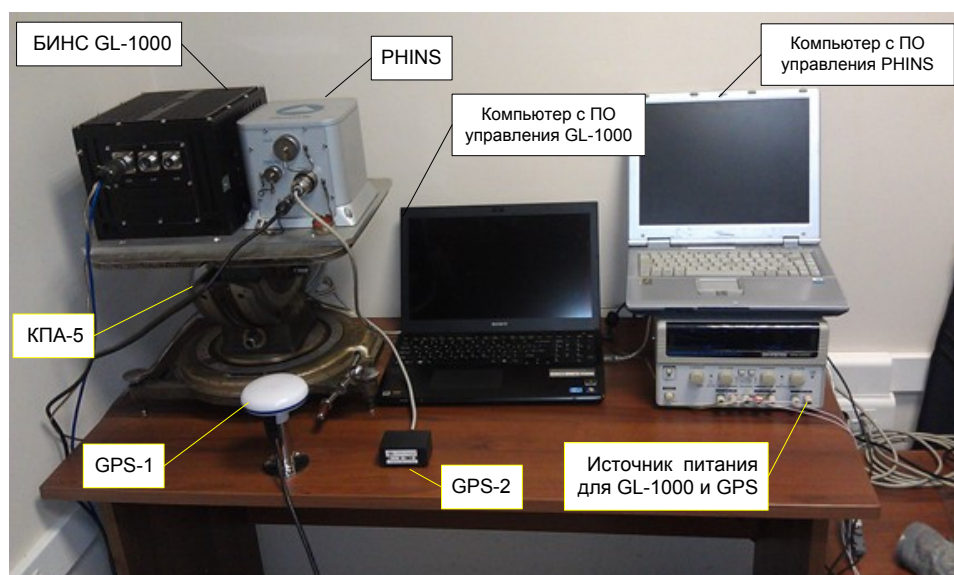


Рисунок 1 – Макет ИНС.

В состав используемого оборудования кроме PHINS и GL-1000 также вошли:

- источник питания GWINSTEK GPS-3303;
- приемник СНС для БИНС GL-1000;
- приемник СНС для PHINS;
- компьютер с предустановленным ПО управления PHINS (программа IxRepiterIns7.5);
- компьютер с предустановленным ПО управления БИНС GL-1000 (программа Vertical_Gyro_v191213.exe);

- поворотная платформа КПА-5.

Для оценки работы БИНС на неподвижной платформе в соответствии с методикой (п. 4, эксперимент 1) произведена запись результатов работы БИНС GL-1000 и ИНС PHINS в режиме с коррекцией нулевыми значениями скорости. Продолжительность работы – 24 часа 42 минуты. Во время работы платформа оставалась неподвижной. На рисунках 2-4 показаны графики измеренного курса для PHINS и GL-1000. На графиках наблюдаются колебания курса в пределах $0,02^\circ$ для PHINS и $0,08^\circ$ для GL-1000, что соответствует паспортным характеристикам приборов.

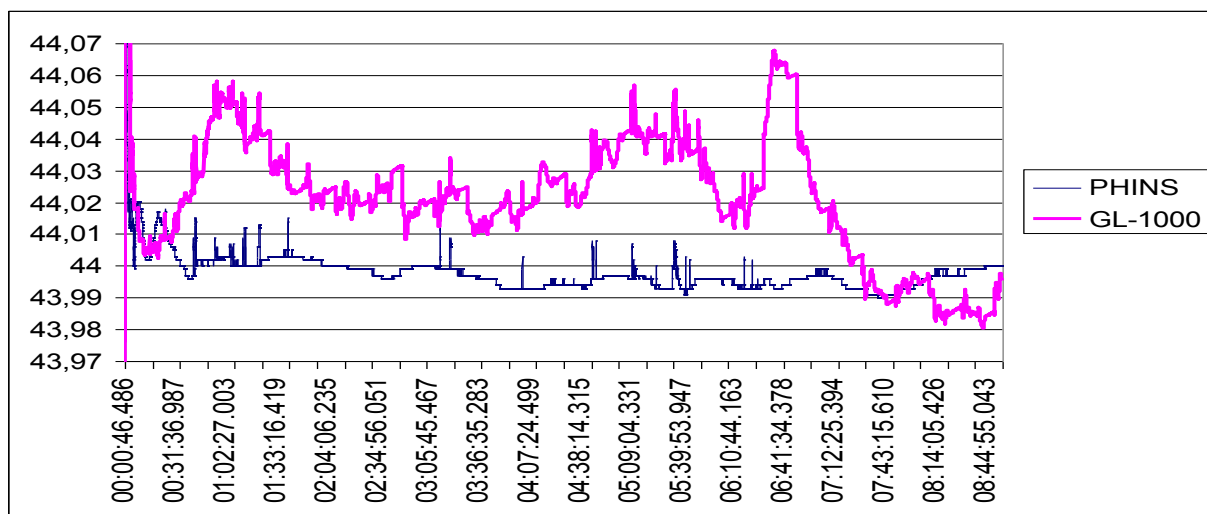


Рисунок 2 – Измеренный курс по данным PHINS и GL-1000 (часть 1)

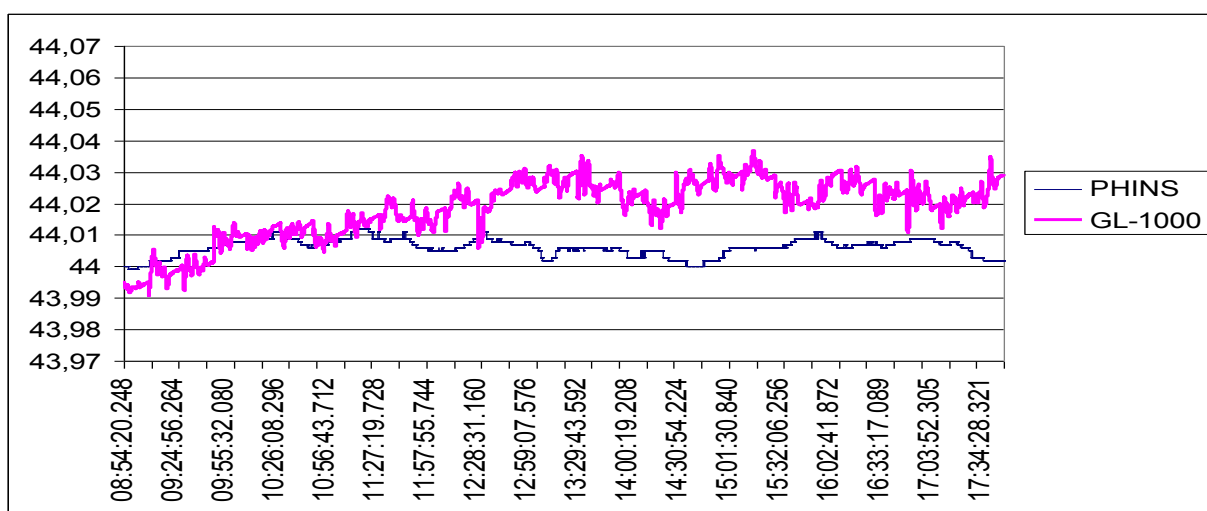


Рисунок 3 – Измеренный курс по данным PHINS и GL-1000 (часть 2)

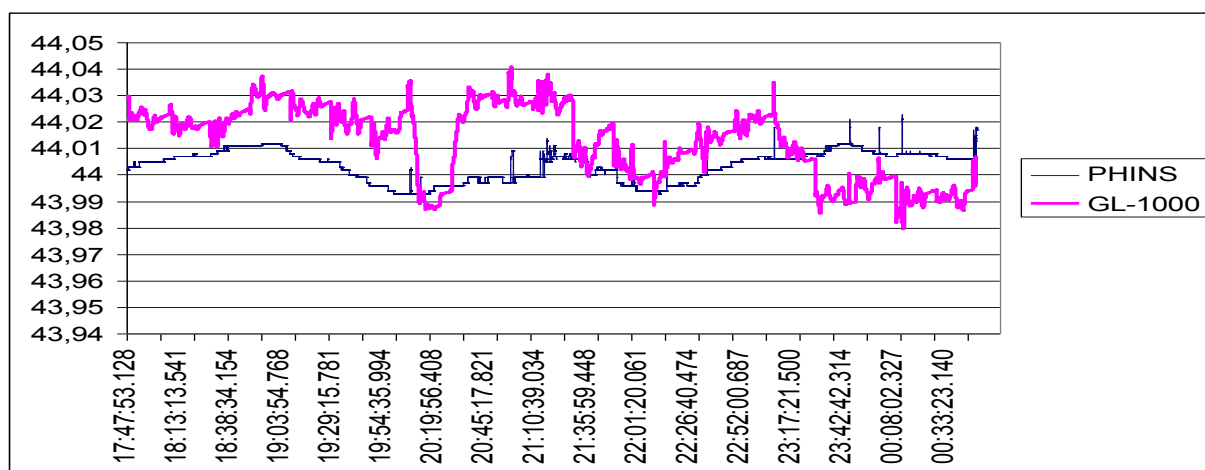


Рисунок 4 – Измеренный курс по данным PHINS и GL-1000 (часть 3)

По результатам измерений среднее значение измеренного курса за 24 часа работы PHINS составило – $44,0025^\circ$, среднее значение измеренного курса GL-1000 составило – $44,018^\circ$. Рассогласование средних курсов – $0,015^\circ$. За 24 часа работы сбоев в работе БИНС GL-1000 не выявлено.

На рисунке 5 приведен график измеренного курса для GL-1000 для всего периода выставки БИНС (40 минут). Паспортная точность измерения курса GL-1000 - $0,08^\circ \cdot \sec(\text{широты})$ (1σ), то есть для широты Владивостока - $0,11^\circ$. На неподвижной платформе БИНС GL-1000 достиг указанной точности на 168 секунде после включения. Выставка производилась в режиме рестарта.

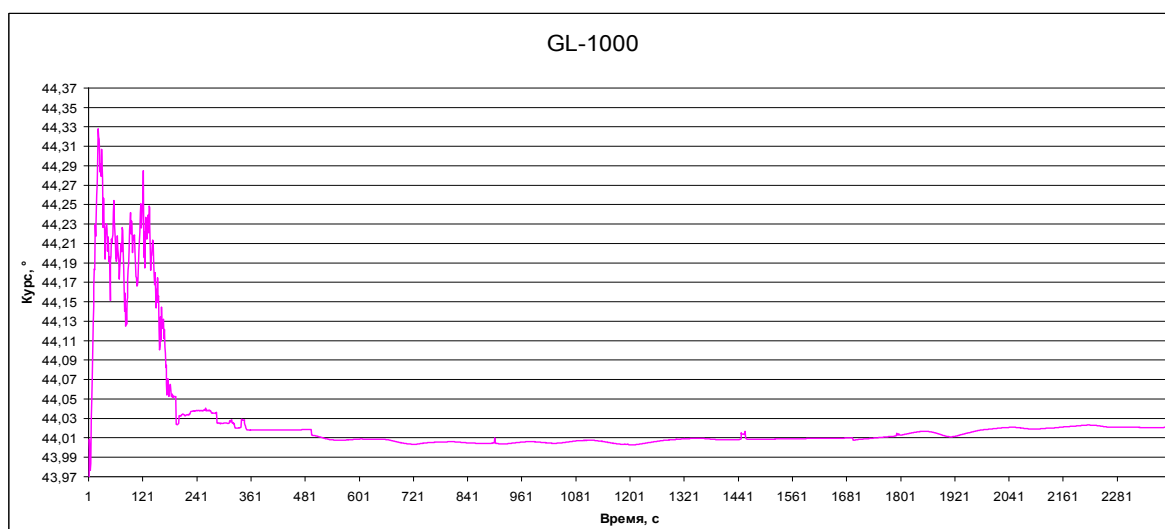


Рисунок 5 – Измеренный курс по данным GL-1000 в период выставки (первые 40 минут)

В дополнение к предыдущим измерениям, по истечении 24 часов работы приборов, были измерены рассогласования курсов от PHINS и GL-1000 на различных углах ориентации поворотной платформы КПА-5. В таблице 1 приведены данные полученные для углов 0°, 270°, 180°, 90° и снова 0°. Измерения проводились в течении часа для каждого угла.

Таблица 1 - Рассогласование курсов от PHINS и GL-1000

Номер измерения	Угол КПА-5, °	Курс PHINS, °	Курс GL-1000, °	Время	Рассогласование PHINS и GL-1000, °
1	0	102,136	102,142	13:33:00	-0,006
2	0	102,203	102,125	14:32:00	0,078
3	270	12,305	12,195	14:33:00	0,11
4	270	12,314	12,207	14:59:00	0,107
5	270	12,32	12,207	15:36:00	0,113
6	180	282,311	282,235	15:37:00	0,076
7	180	282,309	282,291	16:02:00	0,018
8	180	282,309	282,308	16:38:00	0,001
9	90	192,242	192,282	16:40:00	-0,04
10	90	192,253	192,309	17:07:00	-0,056
11	90	192,261	192,336	17:39:00	-0,075
12	0	102,247	102,31	17:42:00	-0,063
13	0	102,24	102,137	18:27:00	0,103

Углы поворота платформы задавались вручную и контролировались с помощью индикаторной шкалы с ценой деления 0,1°. Полученные рассогласования показаний PHINS и GL-1000 по курсу не превышали 0,11°.

5.2 Эксперимент N2 - оценка работы БИНС на подвижной платформе (судно в условиях качки и дрейфа).

Для проведения данного эксперимента пластина с ранее размещенными на ней PHINS и GL-1000 и прочие элементы макета ИНС были установлены в помещении катера РПР-2538 (рисунок 6, рисунок 7).

Место проведения испытаний – Амурский залив в районе о. Русский. Скорость ветра – 6-8 м/с. Зафиксированные ускорения, вызванные качкой – до $0,8 \text{ м/с}^2$.

Выставка и работа БИНС в ходе эксперимента N2 производилась в режиме с коррекцией от СНС (спутниковой навигационной системы Глонасс/GPS).



Рисунок 6 – Катера РПР-2538



Рисунок 7 – Расположение аппаратуры макета инерциальной навигационной системы АНПА на базе БИНС GL-1000 в помещении катера РПР-2538

В ходе эксперимента N2 произведено 5 включений макета ИНС с процедурой выставки морских условиях и продолжительностью работы от 54 минут до 2 часов.

Результаты всех включений сведены в таблицах 2-4. Показания двух систем регистрировали через 20 минут после включения, через 40 минут после включения и перед выключением приборов.

В результате измерений установлено, что в режиме выставки среднеквадратическое отклонение рассогласования курсов PHINS и GL-1000 составило:

- после 20 минут: $0,265^{\circ}$;
- после 40 минут: $0,068^{\circ}$.

Таблица 2 - Рассогласование курсов от PHINS и GL-1000 при испытаниях на подвижной платформе (20 минут после включения)

№	Курс PHINS, °	Курс GL-1000, °	Разница PHINS - GL-1000, °	Условия
1	354,766	354,713	0,053	пришвартованное судно
2	162,345	162,800	-0,455	судно на якоре
3	107,520	107,755	-0,235	судно на якоре
4	329,655	329,430	0,225	судно на якоре
5	356,723	356,732	-0,009	пришвартованное судно
СКО			0,265	

Таблица 3 - Рассогласование курсов от PHINS и GL-1000 при испытаниях на подвижной платформе (40 минут после включения)

№	Курс PHINS, °	Курс GL-1000, °	Разница PHINS - GL-1000, °	Условия
1	352,295	352,285	0,010	движение судна
2	91,155	91,180	-0,025	судно на якоре
3	124,220	124,285	-0,065	судно на якоре
4	181,050	180,950	0,100	движение судна
5	353,130	353,060	0,070	пришвартованное судно
СКО			0,068	

Таблица 4 - Рассогласование курсов от PHINS и GL-1000 при испытаниях на подвижной платформе (окончание испытания)

№	Курс PHINS, °	Курс GL-1000, °	Разница PHINS - GL-1000, °	Условия
1	90,199	89,982	0,217	судно на якоре, время испытания 120 минут
2	99,687	99,605	0,082	судно на якоре, время испытания 120 минут
3	119,238	119,273	-0,035	судно на якоре, время испытания 64 минут
4	358,740	358,707	0,033	пришвартованное судно, время испытания 54 минуты

Ниже показаны фрагменты записи измеренных курсов от PHINS и GL-1000, полученные при третьем включении в фазе движения катера (рисунок 8) и в фазе остановки у причальной стены (рисунок 9). Выставка БИНС GL-1000 при этом производилась в течении первых 6 минут - на якорной стоянке, и последующие 34 минуты в движении со средней скоростью 4 м/с.

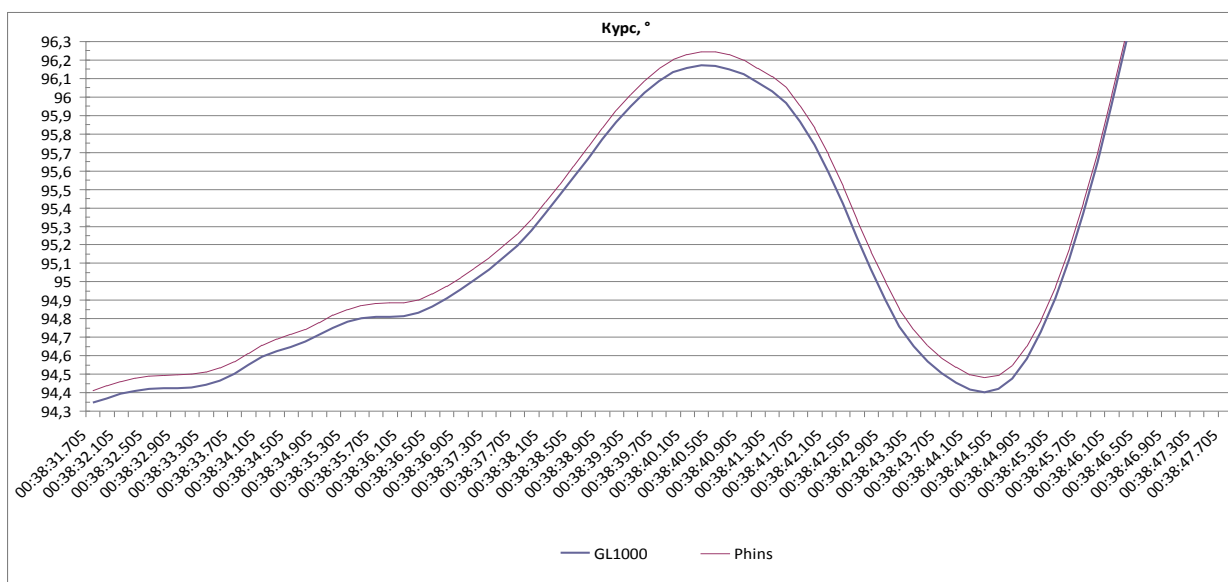


Рисунок 8 – Измеренный курс по данным PHINS и GL-1000 во время движения катера в конце процедуры выставки GL-1000

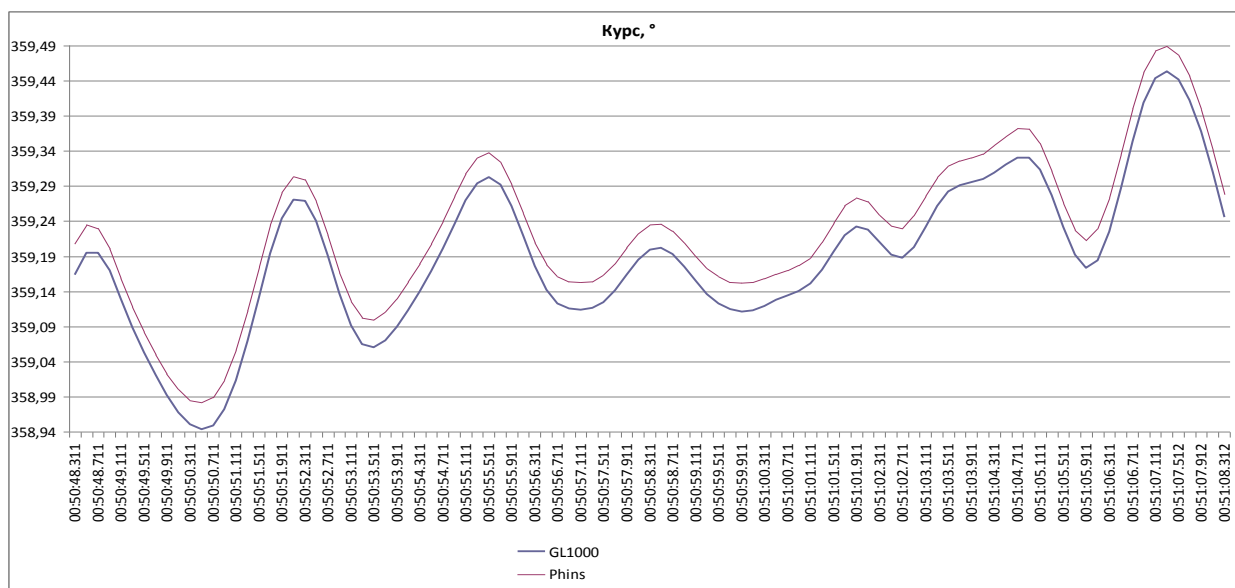


Рисунок 9 – Измеренный курс по данным PHINS и GL-1000 (катер у причальной стенки)

На рисунках 10, 11 показаны фрагменты записи измеренных курсов от PHINS и GL-1000, полученные при выставке и работе ИНС на якорной стоянке катера (второе включение). Продолжительность работы 2 часа.

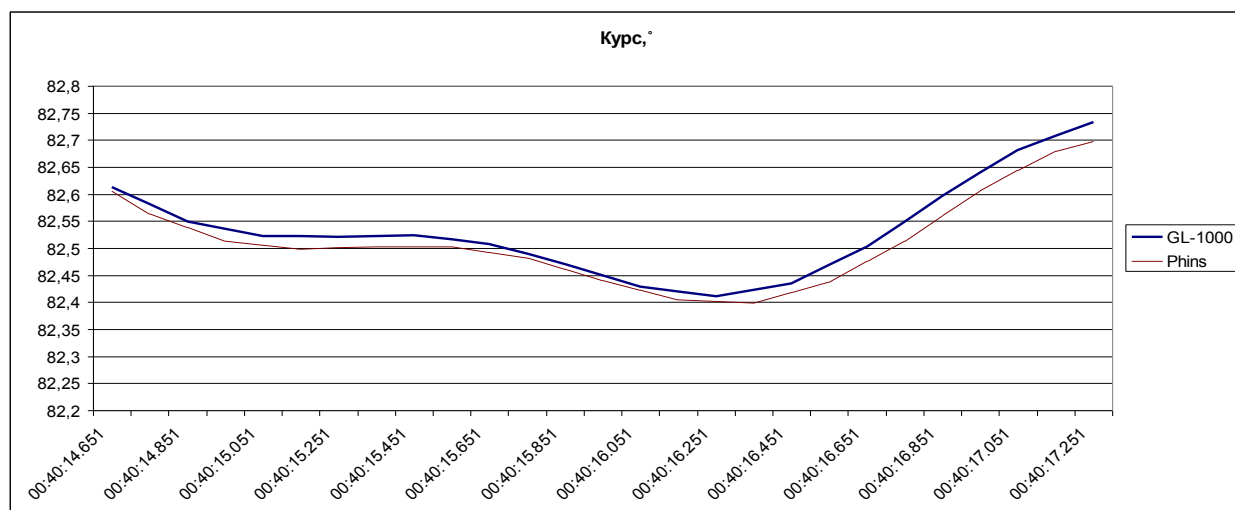


Рисунок 10 – Измеренный курс по данным PHINS и GL-1000 после выставки (40 минут) на якорной стоянке

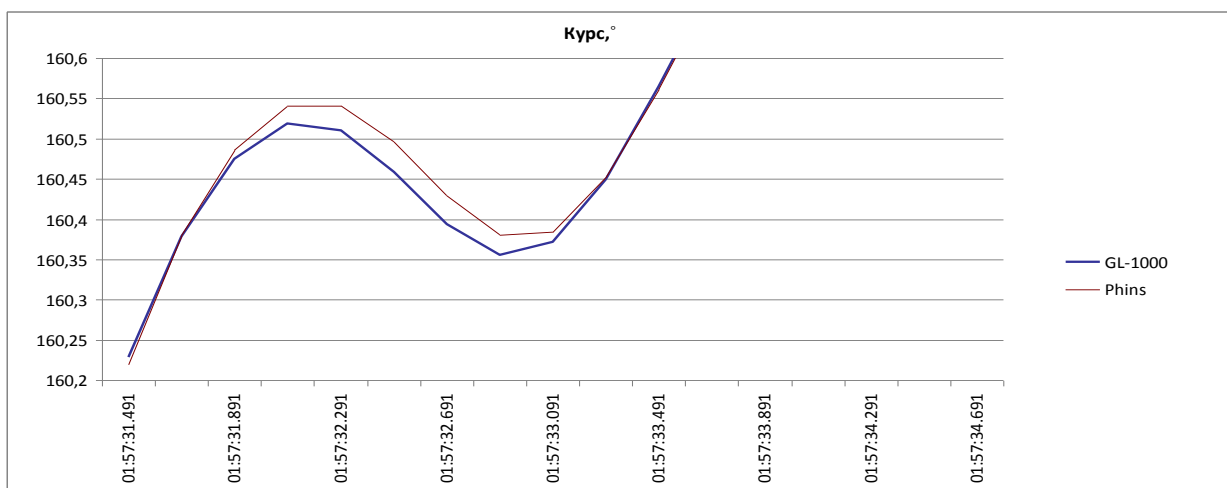


Рисунок 11 – Измеренный курс по данным PHINS и GL-1000 после 2 часов работы на якорной стоянке

На рисунке 12 показано как изменялся курс катера по данным ИНС в течении 2 часов работы на якорной стоянке.

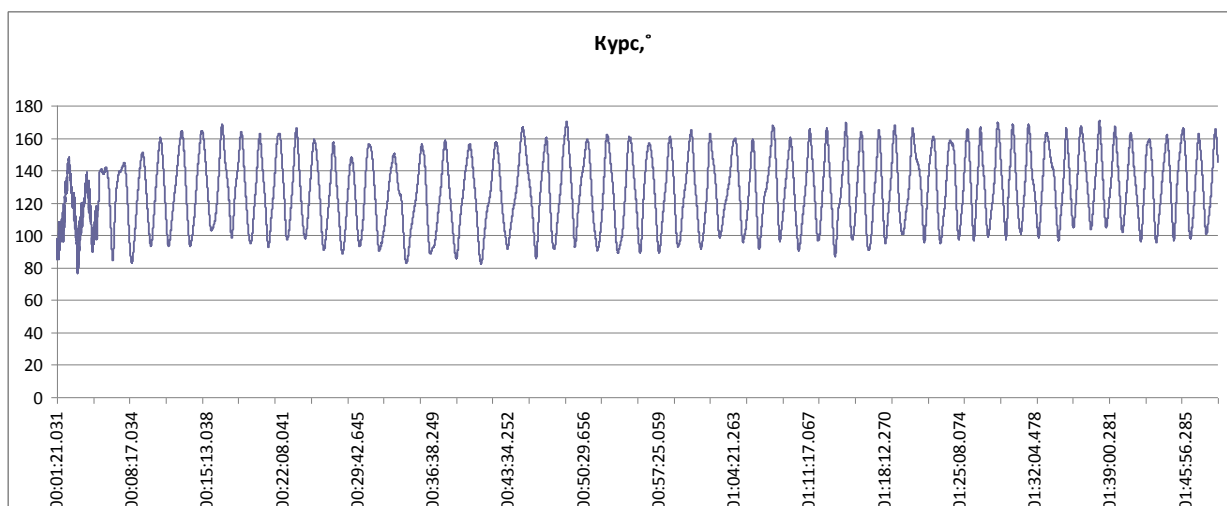


Рисунок 12 – Колебания курса катера по данным GL-1000 за 2 часа на якорной стоянке

5.3 Эксперимент N3 - оценка работы БИНС на подвижной платформе (судно в условиях качки и дрейфа) в автономном режиме.

Результаты оценки работы БИНС GL-1000 на подвижной платформе в автономном режиме приведены на рисунках 13 – 14, где координаты X, Y представлены в проекциях Гаусса – Крюгера системы координат СК-42. Выставка

БИНС производилась в режиме с коррекцией от СНС. Для перевода БИНС в автономный режим коррекция от СНС была отключена на 20 минут. Координаты от приемника СНС при этом продолжали фиксироваться для последующего сравнения с координатами полученными БИНС.

Коррекция от СНС была отключена в 8:22:15. В автономном режиме работы БИНС GL-1000 по проекции координаты Y стала накапливаться погрешность. Через 1 минуту работы погрешность достигла 10 метров. Через 5 минут работы погрешность достигла 61 метра. Через 10 минут работы погрешность достигла 166 метров.



Рисунок 13 – Рассогласование БИНС и СНС по координате X (автономный режим)



Рисунок 14 – Рассогласование БИНС и СНС по координате Y (автономный режим)

5. ВЫВОДЫ

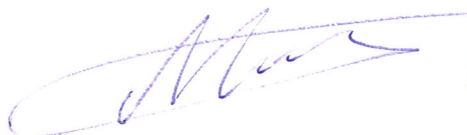
В процессе испытаний сбоев в работе БИНС GL-1000 не выявлено. Точность измеряемых параметров соответствует заявленным характеристикам. Подтверждена способность БИНС GL-1000 к выставке и работе в морских условиях, при воздействии качки и при сносе стоящего на якоре судна-носителя.

Ведущий научный сотрудник лаборатории
систем навигации и сенсорной информации
ИПМТ ДВО РАН



Ваулин Ю.В.

Начальник отдела ООО "Гиролаб"



Мальгин Н.В.