

Шаповал Є.В.

ЗАЛЕЖНІСТЬ ФАКТИЧНОЇ ПОХИБКИ ОБСЕРВАЦІЇ ВІД ЧАСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АПАРАТУРИ

У статті розглянуто результати кількарічних вимірювань похибок обсервації, виконуваної з використанням супутникових прийомоіндикаторів. Зроблено висновок щодо збільшення похибки обсервації й необхідності зменшення проміжків часу між повірками апаратних засобів.

Ключові слова: супутникова навігація, дані прийомоіндикаторів, похибка визначення місця

Широке запровадження систем супутникової навігації, особливо поєднаних з системами автоматизованого управління судном, породжує у судноводіїв упевненість в тому, що вони постійно володіють абсолютно точними і достовірними даними щодо розташування судна. Разом з тим, досвід вказує на те, що на достовірність даних, отримуваних від систем супутникової навігації впливають досить багато факторів – від кількості супутників, що знаходяться в зоні видимості антени, до часу експлуатації як власне супутникової антени, систем передавання сигналів, так і прийомоіндикаторів.

Експеримент проводився автором зі супутниковими прийомоіндикаторами (СПІ) GPS та ГЛОНАС, виробник SAAB (модель R-4). Спостереження виконувалися з квітня по червень 2013р. і в серпні-жовтні 2014 р. на борту танкера «HARBOUR FOUNTAIN» в портах Тихого океану та Карибського моря. На рисунку 1 відповідні порти позначено такими номерами: 1 – Каллао ; 2 – Талара; 3 – Крістобал; 4 – Бальбоа.

У порту Каллао (Перу) вимірювання проводилися 19 квітня 2013 року з 19 години 21 хвилини по 19 годину 48 хвилину, а також 25 серпня 2014 року з 20 години 10 хвилин по 20 годин 37 хвилин при HDOP <4.

Судно стояло біля причалу в закритому від хвилювання порту, вантажні роботи не виконувалися. У 2013 році – погода хмарна, вітер – 2 м/с, в 2014 році – погода ясна, вітер – 1 м/с. Точні географічні координати зняті з карти-плану №38160 масштабом 1:10000. З урахуванням поправки на геодезичну систему координат $\varphi = 12^{\circ}3'44,00''N$ $\lambda = 077^{\circ}11'47,9''E$ для 2013 року і $\varphi = 12^{\circ}3'44,0''N$ $\lambda = 077^{\circ}11'47,0''E$ для 2014 року.

У порту Талара, Перу (09.04.2013/25.04.2014) судно стояло біля причалу №1 в закритому від хвилювання порту. У 2013 році – погода ясна, вітер – 5 м/с, у 2014 році – погода ясна, вітер – 7 м/с. Точні географічні координати зняті з карти-плану Admiralty Chart 3089 (Талара) масштабом 1:15000 з урахуванням поправки на геодезичну систему координат WGS84. $\varphi = 04^{\circ}34,43'N$ $\lambda = 081^{\circ} 16,92' E$ для 2013 року і $\varphi = 04^{\circ}34,40'N$ $\lambda = 081^{\circ} 16,93' E$ для 2014 року.

У порту Крістобал судно стояло біля причалу №6С в закритому від хвилювання порту. У 2013 році – погода хмарна, вітер – 10 м/с, в 2014 році – погода ясна, вітер – 4 м/с. Точні географічні координати зняті з карти-плану Admiralty Chart 3111 (Крістобал) масштабом 1:15000 з урахуванням поправки на геодезичну систему координат WGS84. $\varphi = 09^{\circ}21,16'N$ $\lambda = 079^{\circ}54,70' E$ для 2013 року і $\varphi = 09^{\circ}21,17'N$ $\lambda = 079^{\circ}54,66' E$ для 2014 року.

У порту Бальбоа судно стояло біля причалу №6А/В в закритому від хвилювання порту. У 2013 році – погода хмарна, вітер – 4 м/с, в 2014 році – погода ясна, вітер – 4 м/с. Точні географічні координати зняті з карти-плану Admiralty Chart 1401 (Бальбоа) масштабом

1:10000 з урахуванням поправки на геодезичну систему координат WGS84. $\varphi=08^{\circ}56,93'N$ $\lambda=079^{\circ}34,03' E$ для 2013 року і $\varphi=08^{\circ}56,84'N$ $\lambda=079^{\circ}34,00' E$ для 2014 року.

Частину отриманих результатів спостережень подано в таблиці 1.

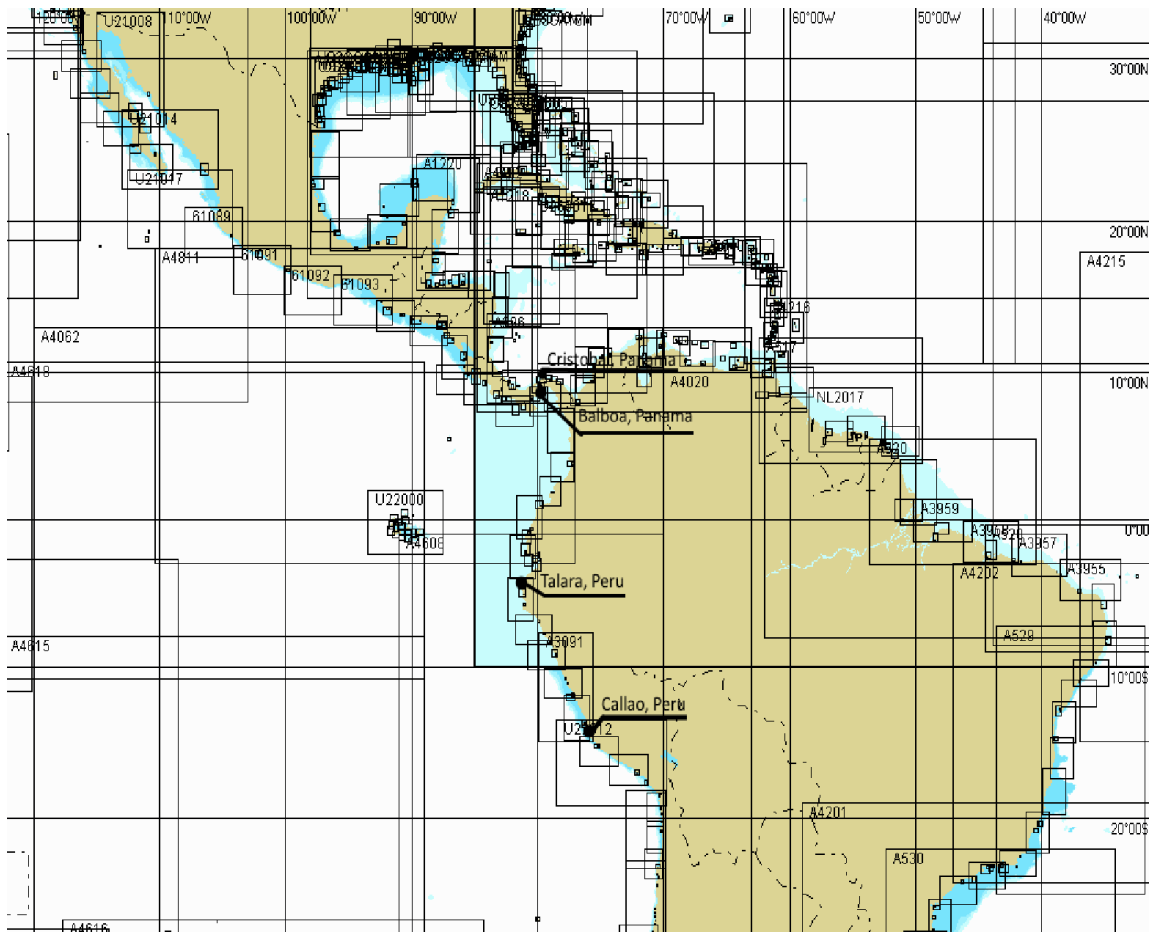


Рис. 1. Географія експерименту

З точки зору аналізу, результатами якого могли б бути висновки щодо виокремлення й уточнення джерел виникнення похибок обсервації, здійсненої за показами системи СПІ, можуть бути цікавими дані, графічне подання яких відтворено на рисунках 2-7.

Зазначені дані можуть бути трактовані як вплив іоносферної активності, багатопроменевості поширення електромагнітних хвиль тощо, але у межах нашого дослідження було акцентовано увагу на залежності показів від часу на досить тривалому часовому проміжку.

На підставі даних, поданих у таблиці 1, побудовано графіки зміни показань СПІ від часу – в порту Каллао, показані на рисунках 2 та 3. З графіків (рис.2) (2013) видно, що СПІ, встановлені на судні, мають відмінності в показах широти місця у часі.

Значення широти в СПІ GPS змінювалися протягом усього часу експерименту, з 3 по 7 хв. в сторону зменшення, з 8 по 15 хв. у сторону збільшення, з 16 по 24 хв. знову в бік зменшення і до 27 хв. у сторону збільшення. Показання СПІ ГЛОНАС також змінювалися протягом експерименту, але з більшим коливанням – спочатку в бік зменшення широти, а з 7-11 хв. в сторону збільшення, з 12-17 в сторону зменшення та по 27 хв. в сторону збільшення.

Для отриманих експериментально даних значення СКП широти становить для даних 2013 року $M_{\varphi}: M_{\varphi GPS} = 1,282\text{м}; M_{\varphi ГЛОНАС} = 2,279\text{м}$. Аналогічно обчислені значення

для даних, отриманих у 2014 році, подано у таблиці 1.

Спільним, для всіх отриманих даних щодо похибок визначення широти і довготи, є дискретність їх змін у часі.

Таблиця 1

Покази СПІ

№	2013				2014			
	GPS		ГЛОНАС		GPS		ГЛОНАС	
	Широта 12°	Довгота 77°	Широта 12°	Довгота 77°	Широта 12°	Довгота 77°	Широта 12°	Довгота 77°
1.	3,441	11,475	3,440	11,470	3,443	11,471	3,441	11,474
2.	3,441	11,475	3,440	11,470	3,443	11,471	3,442	11,474
3.	3,441	11,473	3,440	11,468	3,443	11,471	3,443	11,474
4.	3,436	11,473	3,430	11,468	3,443	11,472	3,441	11,474
5.	3,436	11,473	3,430	11,468	3,441	11,472	3,441	11,476
6.	3,436	11,473	3,430	11,472	3,437	11,472	3,441	11,476
7.	3,436	11,474	3,430	11,472	3,437	11,472	3,441	11,476
8.	3,442	11,474	3,446	11,472	3,437	11,472	3,441	11,469
9.	3,442	11,474	3,446	11,474	3,437	11,470	3,441	11,468
10.	3,442	11,474	3,446	11,474	3,437	11,470	3,438	11,468
11.	3,442	11,474	3,446	11,474	3,443	11,467	3,438	11,469
12.	3,442	11,474	3,438	11,474	3,443	11,467	3,438	11,469
13.	3,443	11,473	3,438	11,471	3,443	11,467	3,438	11,469
14.	3,443	11,473	3,438	11,471	3,440	11,467	3,442	11,469
15.	3,443	11,473	3,438	11,471	3,440	11,467	3,442	11,471
16.	3,441	11,473	3,438	11,467	3,438	11,469	3,442	11,472
17.	3,441	11,471	3,438	11,467	3,438	11,469	3,442	11,472
18.	3,441	11,471	3,445	11,467	3,438	11,469	3,442	11,471
19.	3,441	11,471	3,445	11,467	3,438	11,473	3,442	11,471
20.	3,441	11,471	3,445	11,475	3,441	11,473	3,440	11,471
21.	3,440	11,471	3,445	11,475	3,441	11,473	3,440	11,471
22.	3,440	11,474	3,445	11,475	3,441	11,473	3,437	11,471
23.	3,440	11,474	3,447	11,471	3,443	11,471	3,437	11,468
24.	3,440	11,474	3,447	11,471	3,443	11,471	3,437	11,468
25.	3,441	11,474	3,447	11,471	3,443	11,469	3,437	11,468
26.	3,441	11,474	3,447	11,468	3,443	11,469	3,442	11,468
27.	3,441	11,474	3,447	11,468	3,443	11,469	3,442	11,468





Рис. 2. Зміна показів широти СПІ від часу в порту Каллао

Покази широти місця судна біля причалу, представлені на рисунку 2 (2014 рік), були нестабільні для обох систем геопозиціонування протягом усього часу спостереження. Також з графіків слідує, що ці покази більшу частину часу не співпадають один з одним.

Значення широти в GPS змінювалися стрибкоподібно з короткими, у 3-4 хвилини, інтервалами стабільних показань. Значення широти в ГЛОНАС змінювалися також стрибкоподібно з короткими, в 3-4 хвилини, інтервалами стабільних показань. Обчислення значення СКП широти для даних 2014 року (у метрах)

$$M_{\varphi}: M_{\varphi GPS} = 1,282\text{м}; M_{\varphi ГЛОНАС} = 0,142\text{м}$$

Таким чином, значення СКП широти для даних 2013 року

$$M_{\varphi}: M_{\varphi GPS} = 1.282\text{м}; M_{\varphi ГЛОНАС} = 2,279\text{м}$$

і 2014 року

$$M_{\varphi}: M_{\varphi GPS} = 1,282\text{м}; M_{\varphi ГЛОНАС} = 0,142\text{м}$$

різні, що підтверджує тезу щодо

необхідності контролю точності СПІ СН при реальній експлуатації.

На графіках (рис. 3) також видно відмінності в показах довготи місця від часу.

Значення довготи за даними, отриманими від GPS, мали нестабільний характер на всьому проміжку експерименту з 2-ї по 6-у хвилину в сторону зменшення довготи, потім невеликий стрибок в сторону збільшення, з 12-21 хв. в знову в сторону зменшення та до 27 хв. в сторону збільшення.

Загалом покази СПІ ГЛОНАС були більш нестабільними, ніж СПІ GPS.

Для даних 2013 було отримано значення СКП довготи

$$M_{\lambda}: M_{\lambda GPS} = 0,565 \text{ м}; M_{\lambda ГЛОНАС} = 0,929 \text{ м}$$

СКП обсервації СПІ

$$M_{0GPS} = 0.981 \text{ м.}; M_{0ГЛОНАС} = 3,030 \text{ м.}$$



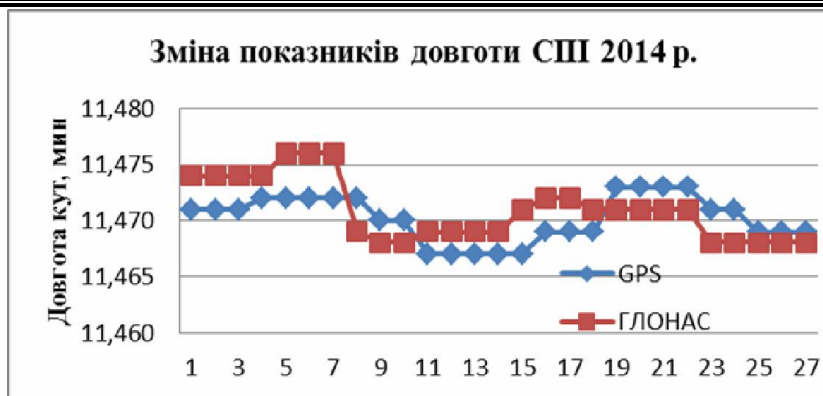


Рис. 3. Зміна показів довготи СПІ від часу в порту Каллао

На графіках (рис. 3, 2014 рік) також видно відмінності в показаннях довготи місця за часом, самі графіки практично не збігаються один з одним. Показання GPS можна розділити на три етапи. З 2 по 15 хвилини спостерігалось зменшення значень довготи, а з 16 і до 20 хв. збільшення потім до закінчення експерименту – зменшення.

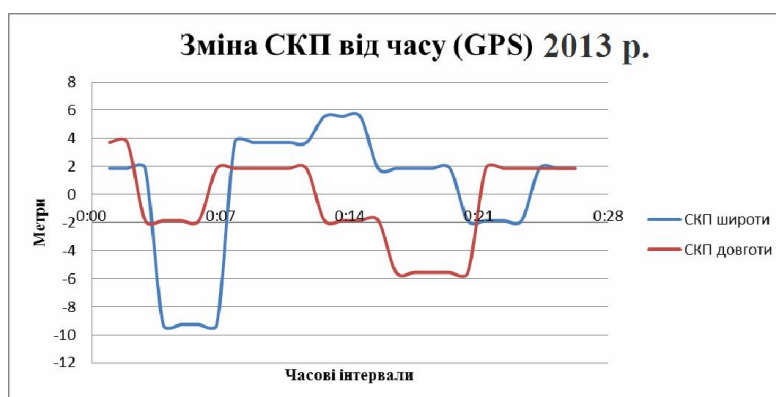
Значення довготи в СПІ ГЛОНАС мали нестабільний характер. Був помічений великий стрибок з 7-10 хвилини в бік зменшення, потім плавне збільшення до 17 хвилини й наступне стрибкоподібне зменшення показників довготи.

Для даних 2014 отримуюмо значення СКП довготи
 $M_{\lambda}: M_{\lambda GPS} = 0,430 \text{ м}; M_{\lambda ГЛОНАС} = 1,594 \text{ м}$ СКП
 $M_{\phi}: M_{\phi GPS} = 0,914 \text{ м}; M_{\phi ГЛОНАС} = 1,281 \text{ м}$ СКП
 обсервації СПІ:

Таким чином, значення СКП довготи для даних 2013 р.
 $M_{\lambda}: M_{\lambda GPS} = 0,565 \text{ м}; M_{\lambda ГЛОНАС} = 0,929 \text{ м}$ СКП
 $M_{\phi}: M_{\phi GPS} = 0,981 \text{ м}; M_{\phi ГЛОНАС} = 3,030 \text{ м}$ СКП

У 2014 році значення СКП довготи становило:
 $M_{\lambda}: M_{\lambda GPS} = 0,430 \text{ м}; M_{\lambda ГЛОНАС} = 1,594 \text{ м}$ СКП
 $M_{\phi}: M_{\phi GPS} = 0,914 \text{ м}; M_{\phi ГЛОНАС} = 1,289 \text{ м}$ СКП

Отримано різні значення СКП, що підтверджує необхідність контролю точнісних характеристик СПІ СН при реальній експлуатації.



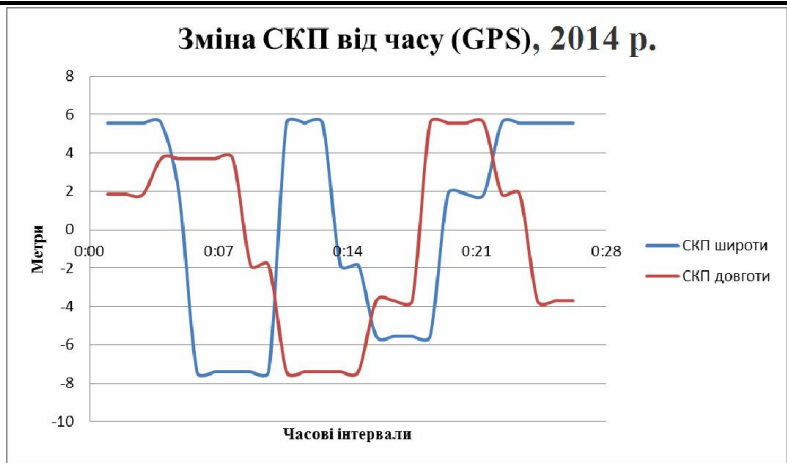


Рис. 4. Зміна СКП від часу для GPS в порту Каллао

Криві на рисунках 4 та 5 дозволяють судити про характер зміни СКП СПІ від часу. З цих графіків слідує, що СКП широти, довготи і СКП обсервації носили нерівномірний характер протягом усього часу спостереження.

На підставі отриманих експериментальних даних в порту Каллао в 2013 і 2014 роках в хмарну погоду ввечері при слабкому вітрі можна зробити висновок, що покази обох СПІ як по широті, так і по довготі протягом усього часу спостереження мають нестабільний характер, причому показання обох СПІ змінювалися стрибкоподібно.

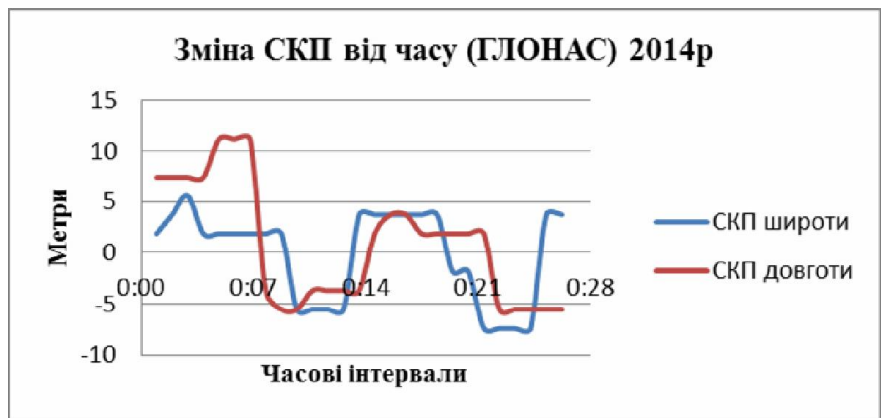
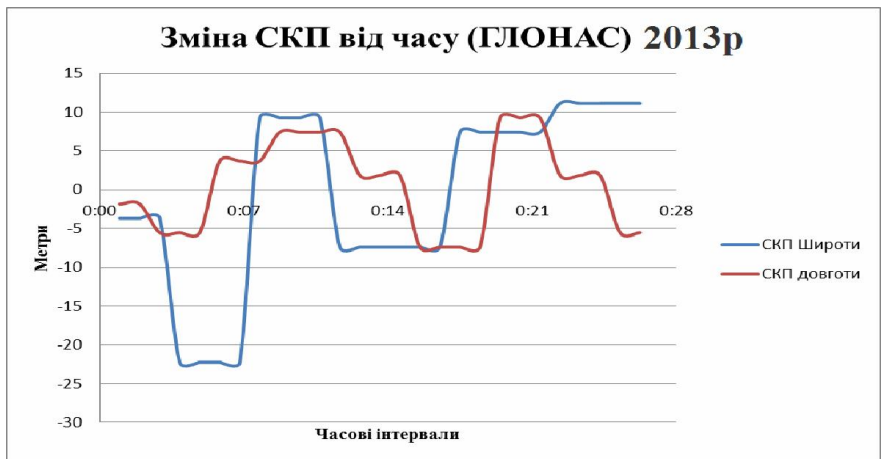


Рис. 5. Зміна СКП від часу для ГЛОНАС в порту Каллао

За отриманими результатами спостережень побудовано й графіки зміни показів СПІ від часу в порту Талара (рис. 6 і 7).



Рис. 6. Зміна показів широти СПІ від часу в порту Талара

З графіків (рис. 6) видно, що СПІ, встановлені на судні, мають відмінності в показаннях широти місця від часу.

Значення широти в СПІ нестабільні на всьому часовому інтервалі. Показання GPS в 2013р. змінювалися в бік збільшення значення широти до 17 хв. експерименту, потім в сторону зменшення.

Значення показань GPS в 2014р. змінювалися протягом усього часу як в бік збільшення, так і в бік зменшення широти. Максимальний часовий інтервал стабільних показів дорівнює 6 хвилинам. Значення широти в СПІ ГЛОНАС змінювалися плавно протягом всього натурного випробування і мали короткі інтервали стабільних показань у 2013 році. У 2014р. покази змінювались більш стрибкоподібно, найбільший інтервал стабільних показів становив 5 хв.

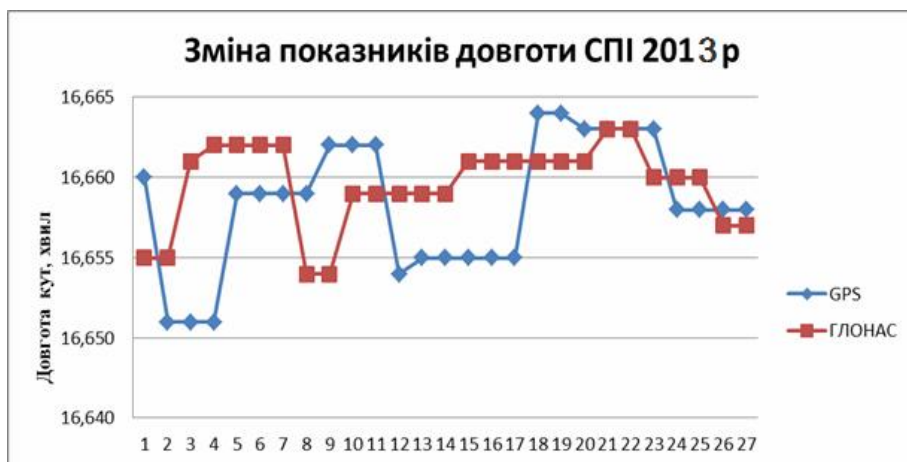




Рис. 7. Зміна показів довготи СПІ від часу в порту Талара

Обчислено значення СКП широти для даних 2013 року $M_{\phi}: M_{\phi GPS} = 2,279\text{ м}; M_{\phi ГЛОНАС} = 2,279\text{ м}$. Для даних, отриманих у 2014 році: $M_{\phi}: M_{\phi GPS} = 2,279\text{ м}; M_{\phi ГЛОНАС} = 3,561\text{ м}$. Ці результати також підтверджують необхідність контролю точності визначення широти, обумовленою СПІ, оскільки їх СКП зростає із збільшенням строку реальної експлуатації.

На графіках (рис. 7) також видно відмінності в показах довготи місця з часом. Значення довготи в СПІ GPS мали яскраво виражений нестабільний характер з великими стрибками на інтервалах з 4 по 12 і з 17 по 24 хвилини. Покази СПІ ГЛОНАС мали тенденцію до збільшення значення довготи з 2 по 7 хв. та з 9 по 21 хв. у 2013 р. У 2014 році стрибки були плавнішими, але покази все одно відрізнялися.

Обчислені значення СКП довготи $M_{\lambda}: M_{\lambda GPS} = 0,276\text{ м}; M_{\lambda ГЛОНАС} = 0,482\text{ м}$ (2013 р.) і $M_{\lambda}: M_{\lambda GPS} = 0,485\text{ м}; M_{\lambda ГЛОНАС} = 0,029\text{ м}$ (2014 р.). Середньоквадратичні похибки обсервації для обох СПІ становили: $M_{0 GPS} = 2,636\text{ м}; M_{0 ГЛОНАС} = 2,714\text{ м}$ (2013 р.).

Отримані результати, підтверджують необхідність в контролі точності СПІ при визначенні довготи, широти і обсервації в цілому, так як їх СКП змінює свої показання із збільшенням терміну реальної експлуатації.

Для зручності аналізу результати експерименту, проведеного в 4 різних портах для обох СПІ представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Покази СПІ в різних портах

Порт	Рік	GPS			ГЛОНАС		
		$(M_{\phi}),\text{ м}$	$(M_{\lambda}),\text{ м}$	М, м	$(M_{\phi}),\text{ м}$	$(M_{\lambda}),\text{ м}$	М, м
Каллао	2013	1,282	-0,566	0,982	2,279	-0,930	3,030
	2014	1,282	-0,430	0,915	0,142	-1,595	1,281
Талара	2013	2,279	-0,277	2,636	2,279	-0,483	2,714
	2014	2,279	-0,475	2,710	3,562	-0,029	6,342
Крістобал	2013	0,890	0,882	0,786	0,890	0,020	0,397
	2014	0,890	2,636	3,870	0,890	2,824	4,384
Бальбоа	2013	0,142	3,078	4,748	2,885	0,471	4,272
	2014	1,745	2,732	5,255	0,890	3,207	5,538

За даними таблиці 2 побудовані графіки (рис. 8-10), які відображають залежність СКП кожного СПІ від географічного розташування портів.

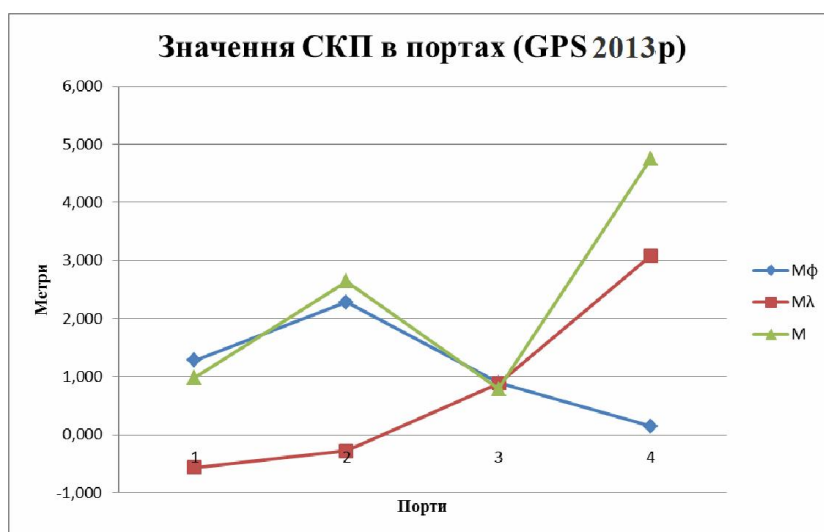


Рис. 8. Покази СПІ в різних портах

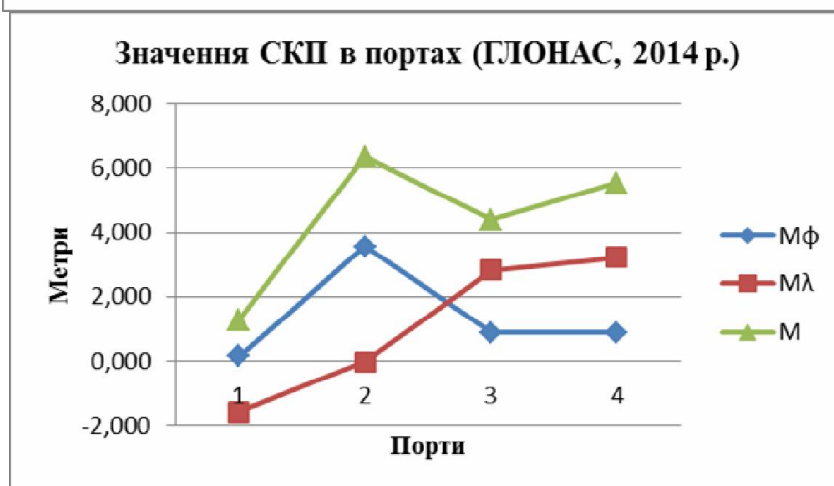
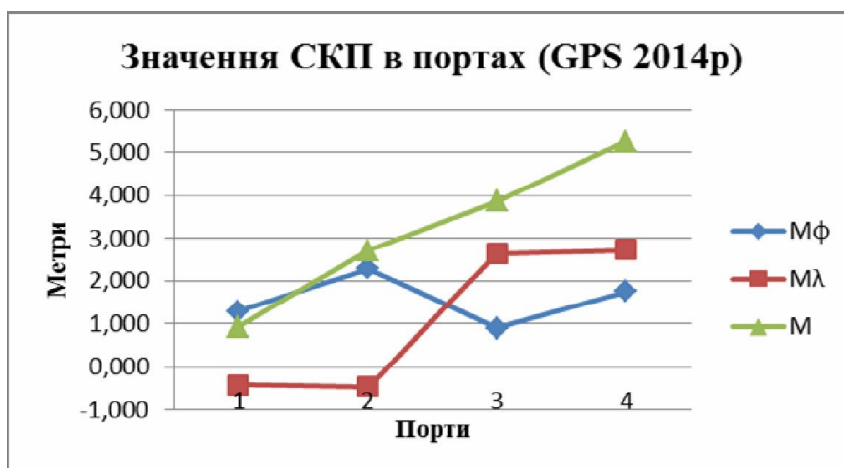


Рис. 9. Покази СПІ в різних портах

Динаміка зміни СКП обсервації для кожного СПІ в одних і тих же портах (при послідовному заході в них) у 2013 і в 2014 роках показана на рисунку 10.

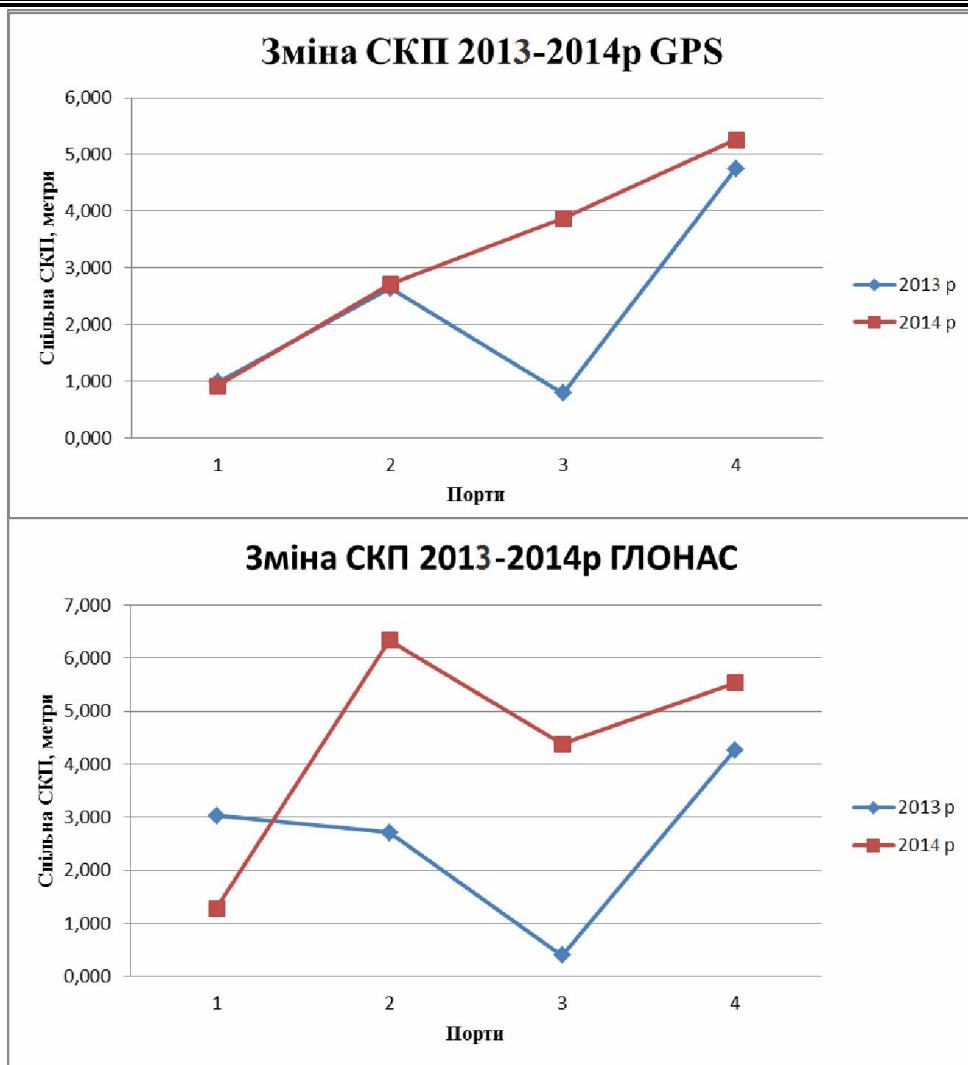


Рис. 10. Покази СШ в різних портах

Таблиця 3

Значення середньоквадратичної похибки обсервації (у метрах), обчислені за даними таблиці 2

Порт	GPS				ГЛОНАС				Мат. спод. СКП, м
	Каллао	Талара	Крістобал	Бальбоа	Каллао	Талара	Крістобал	Бальбоа	
2013	0,982	2,636	0,786	4,748	3,03	2,714	0,397	4,272	2,4456
2014	0,915	2,710	3,87	5,255	1,281	6,342	4,384	5,538	3,7871

Обчислені значення СКП для кожного порту, в якому виконувалися спостереження, і математичне сподівання СКП, обчислене для всіх портів у кожному році спостереження, подані в таблиці 3 і відображені на рисунку 11.

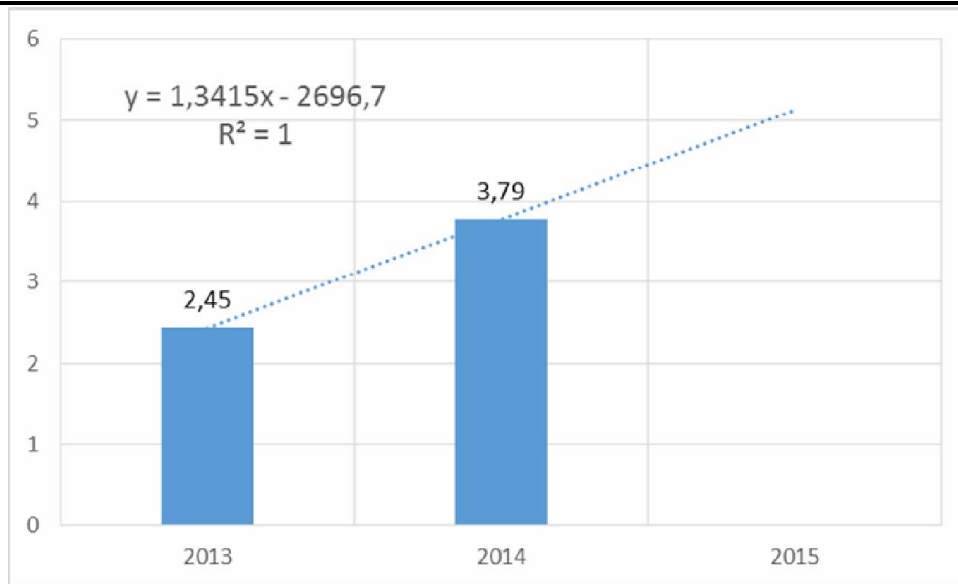


Рис. 11. Залежність СКП від часу для всіх СП і портів спостереження

Діаграма, подана на рисунку 11, ілюструє суттєве збільшення похибки обсервації від часу. Прогнозоване на 2015 рік значення СКП СП, обчислене за лінійним наближенням тренду, параметри якого подано на рисунку 11, становить 5 метрів.

Висновки. Таким чином, аналіз результатів натурного експерименту показав, що:

а) у всіх портах, в яких проводились дослідження, точнісні характеристики СП носять коливальний характер залежно від часу;

б) похибка визначення місця розташування судна при його стоянці в порту у GPS у 2013 році коливалася в межах від 0,786 м до 4,748 м, у 2014 році – від 0,915 м до 5,255м: СКП визначення місця у ГЛОНАС змінювалася від 0,397м до 4,272м у 2014 році, і від 1,281м до 6,343м у 2014 році;

в) розрахунок СКП у СП SAAB-R4 у всіх чотирьох портах, в яких проводились дослідження в 2014 році, показав, що отримані значення СКП не задовольняють вимогам до точності, встановленими резолюціями ІМО, національними нормативними документами і специфікацією сигналу GPS в стандартному режимі роботи;

г) на точність визначення місця розташування судна впливає географічне розташування порту, а також різні навігаційні і гідрометеорологічні умови;

д) термін експлуатації обладнання СП СН робить істотний вплив на його точнісні характеристики.

На підставі отриманих результатів експерименту можна зробити висновок про необхідність періодичного контролю та підвищення точнісних характеристик СА СН при реальній експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ожінський В. В. Обробка навігаційної інформації апаратурою космічних апаратів в умовах відхилень від припущень // Водний транспорт. Збірник наукових праць Київської державної академії водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного. – К. : КДАВТ, 2013. – № 1(16) С. 186-191.
2. Гоголін С., Іванович В. Обоснование точности определения места судна при использовании данных GPS в дифференциальном режиме // Водний транспорт. Збірник наукових праць Київської державної академії водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного. – К. : КДАВТ, 2013. – № 1(16) С. 205-209.

Шаповал Е.В.

**ЗАВИСИМОСТЬ ФАКТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОБСЕРВАЦИИ
ОТ ВРЕМЕНИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АППАРАТУРЫ**

В статье рассмотрены результаты измерений погрешностей обсервации, выполняемой с использованием спутниковых приемоиндикаторов. Сделан вывод об увеличении погрешности обсервации и необходимости уменьшения межповерочных промежутков времени аппаратных средств.

***Ключевые слова:** спутниковая навигация, данные приемоиндикаторов, погрешность определения места.*

Shapoval E.

**DEPENDING ON ACTUAL OBSERVATION ERRORS FROM TIME OPERATING
EQUIPMENT**

The article considers results of measurements of errors of observation carried out using satellite Receivers. It is concluded that an increase in observation errors and the need to reduce Recalibration periods hardware.

***Keywords:** satellite navigation, Receivers data, the accuracy of the place.*