

К. Р. ТРЕТЯК¹, О. В. ЛОМПАС², Р. І. ЯХТОРОВИЧ³

¹ Кафедра вищої геодезії та астрономії, Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери 12, Львів, Україна, 79013

² Кафедра вищої геодезії та астрономії, Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери 12, Львів, Україна, 79013

³ Навчально-наукова лабораторія «Геодезичних та геоінформаційних технологій», Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери 12, Львів, Україна, 79013

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ГНСС-ВЕКТОРІВ ПРИ МОНІТОРИНГУ ДЕФОРМАЦІЙ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

Мета. Метою дослідження є оптимізація моніторингу за допомогою ГНСС просторових зміщень на складних інженерних спорудах та мінімізація інтервалів ГНСС-спостережень за заданих параметрів точності

Методика. Для проведення експерименту розгорнуто тестову знімальну мережу з різними довжинами векторів, яка імітує процес моніторингу на реальному об'єкті. Мережа складалася з 4 пунктів, на яких встановлено двочастотні ГНСС-приймачі. На одному з пунктів для моделювання деформацій встановлено спеціально розроблений пристрій, який давав змогу проводити зміщення антени та фіксувати їх з високою точністю. Як геодезичну основу вибрано референцні станції SULP та NTEH, а також станцію JANT, яку встановлено на пілоні 2-го навчального корпусу Національного університету «Львівська політехніка». Безперервні спостереження проводилися у статичному режимі з 25 січня по 8 лютого 2017 року включно. Протягом 15 днів спостережень проводилися зміщення антени в горизонтальній площині за допомогою пристрою для моделювання деформацій. Всього за досліджуваний період проведено 4 зміщення. Для виявлення модельних деформацій використовувались виміряні поодинокі вектори від опорних станцій SULP, NTEH, JANT з інтервалами спостережень 1, 3 та 6 годин, а також результати врівноважування мережі з цих векторів. **Результати.** Дані спостережень опрацьовано у програмному пакеті Leica Geo Office 8.2. За результатами виконаних спостережень обчислено точність виявлення просторових зміщень антени для різних довжин векторів та тривалостей ГНСС-спостережень. Проведені експериментальні дослідження для векторів до 2 км показують, що для досягнення точності визначення деформацій на рівні 3 мм в горизонтальній площині та 5 мм по висоті достатньо 1 годинного інтервалу спостережень при дискретності запису даних 1 с. **Практична значущість.** Отримані результати у подальшому можна використати як рекомендації під час проектування та побудові автоматизованих систем моніторингу складних інженерних споруд.

Ключові слова: ГНСС- станція, супутникові спостереження, моніторинг, деформації.

Вступ

За останні роки інженери все частіше застосовують супутникові технології для моніторингу складних інженерних споруд. Сьогодні широкого застосування набули автоматизовані системи моніторингу, які встановлені на 4 гідроелектростанціях України (Дністровська ГЕС, Канівська ГЕС, Дніпровська ГЕС та Середньодніпровська ГЕС). Але використання автоматизованих систем моніторингу не обмежується лише ГЕС та ГАЕС – є також інші складні інженерні споруди (мости, висотні будівлі, повітряні переходи, шляхопроводи, тощо), які вимагають постійного геодезичного нагляду.

Є багато прикладів успішного використання автоматизованих систем, які встановлені на різних об'єктах і безперервно проводять

геодезичний моніторинг. Наприклад, в статті [Currie, 2013] проведений огляд основних і найбільш практичних методів моніторингу деформацій разом з досягнутими точностями і розробками автоматизованих вимірювань в режимі реального часу в Новій Зеландії. Для просторових визначень використовують сучасні ГНСС-приймачі, що дають можливість в режимі реального часу визначати координати з точністю 10–20 мм, а при статичних спостереженнях за тривалості 30–120 хвилин отримати координати з точністю 5 мм і краще. У [Chrzanowski, 2001] показано, що використання 1 годинних інтервалів супутникових спостережень, виконаних за допомогою автоматизованих систем моніторингу, дозволяє виявити деформації більші 10 мм.

Ще одним цікавим прикладом може служити автоматизована система моніторингу греблі Расоїма (США), яка розгорнута ще у 1995 році [Hudnut, 1998]. Вона складається з 6 станцій – 2 станції безпосередньо на дамбі, 1 станція встановлена неподалік на нерухомому скальному масиві та ще 3 станції використовуються з мережі референцних станцій в радіусі 2.5 км. Станції працюють безперервно, накопичують дані з інтервалом 30 с та по каналах зв'язку відправляють до центру опрацювання. За результатами опрацювання добових файлів спостережень з використанням точних ефемерид авторами досягнуто точностей 4–6 мм у плані та 12 мм по висоті.

У [Srbinoski, 2010] приведено результати спостереження за дамбою Маврово (Болгарія), виконані традиційними лінійно-кутовими (мікротріангуляція, трилатерація) та супутниковими методами. Супутникові спостереження проводились в режимі швидкої статистики тривалістю по 10 хв з дискретністю запису 1 с. Розходження між результатами, отриманими цими методами, не перевищувало 5 мм, що свідчить про високу точність та надійність супутникових методів моніторингу за деформаціями [Kaftan, 2013].

Подібні порівняння між результатами супутникових та наземних спостережень отримано у [Kalkan, 2010]. Для моніторингу дамби Atatürk (Туреччина) протягом 3 років використовувались 8 годинні супутникові спостереження з інтервалом запису 5 с. В результаті досягнуто точність виявлення деформацій кілька мм, а при порівнянні з результатами від наземних спостережень різниця не перевищувала 1 см.

Протягом місяця спіробітники компанії JAVAD проводили тестування автоматизованої системи моніторингу на гідроелектростанції. За результатами тестів з використанням ГНСС-обладнання досягнута точність 1–2 мм в плані та 2–4 мм по висоті. Попередні результати моніторингу деформацій в автоматичному режимі показують, що використання годинних інтервалів ГНСС-спостережень дозволяють виявити зміщення пункту в межах декількох міліметрів. Головні умови для забезпечення такої точності: відсутність багатощляховості і перешкод в смузі частот супутникових вимірювань, які виконуються на референцних і

пунктах що контролюються, а також правильне розміщення цих пунктів на об'єкті. [Иодис, 2015]

Системи компаній Leica GeoSystems (Leica GeoMoS), Topcon (DC3) та Trimble (Trimble 4D Control 3.0) застосовуються в різних напрямках: будівництво та експлуатація, охорона навколишнього середовища та гірничі роботи. Відмінність даних систем полягає у кількості модулів і реалізації програмного забезпечення кожного з виробників. Прикладом реалізованого проекту є система моніторингу Leica GeoMoS при будівництві мосту в Москві (2010 р). Точність проведення моніторингу 1–2 мм і 2–3 мм при дискретності 15 хв і 1 с відповідно. Також система працювала при будівництві олімпійських об'єктів в Сочі. При дискретності 2 години отримана точність 0,6 мм $\pm$ 1 мм/км. Система Trimble 4DC використана в Цюриху (Швейцарія) при будівництві підземної лінії. Дискретність проведення робіт склала 30 хв, а точність 1 мм $\pm$ 1 мм/км.

Як бачимо з вищесказаного, для отримання більшої точності надають перевагу статичним спостереженням перед кінематичними, причому тривалість спостережень на різних об'єктах неоднакова. Ще однією особливістю автоматизованих систем моніторингу є, як правило, відсутність довгих векторів (більше 5 км), що дозволяє скоротити тривалість спостережень без суттєвих втрат у точності.

Для моніторингу зміщень контрольних точок Нижнекамської ГЕС (Росія) розроблено автоматизовану систему супутникового моніторингу із використанням систем ГЛОНАСС/GPS [Космическая ГЭС, 2013], яка забезпечує визначення зміщень із точністю 1–3 мм за 6-годинний цикл. Слід зазначити, що якраз 6 годинна тривалість сесії статичних супутникових спостережень власне вважається оптимальною для визначення координат з міліметровою точністю, що відповідає вимогам до високоточного моніторингу об'єктів такого типу. Подібна методика широко використовувалась до встановлення автоматизованих систем співробітниками Інституту геодезії Національного університету «Львівська політехніка» для моніторингу ряду українських ГЕС: Канівської ГЕС (травень, жовтень 2007, 2010); Кременчуцької ГЕС (2007); Дніпродзержинської ГЕС (травень,

жовтень 2007); Дніпровської ГЕС (2005, 2010); Дністровської ГАЕС (2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2009, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016) [Бисовецкий, 2011; Ломпас, 2016]. Також необхідно відмітити, що протягом досліджуваного періоду, для даних об'єктів точність визначення горизонтальних зміщень становила 2 мм, а вертикальних – 3 мм. Проте, використання 6 годинного або довшого сеансів спостережень призводить до втрати оперативності моніторингу, тому поряд з вимогами щодо точності, вибір оптимальних інтервалів спостережень є важливим критерієм при проектуванні подібних систем.

Мета

Метою дослідження є оптимізація моніторингу за допомогою ГНСС просторових

зміщень на складних інженерних спорудах (мости, висотні будівлі, греблі ГЕС та ГАЕС, тощо) та мінімізація інтервалів ГНСС-спостережень при заданих параметрах точності. Також розглянуто можливість використання в процесі моніторингу виміряних поодиноких векторів без врівноваження.

Методика

Для проведення експерименту розгорнуто тестову знімальну мережу з різними довжинами векторів, яка імітує процес моніторингу на реальному об'єкті. Як геодезичну основу вибрано 3 станції (рис. 1): референцні станції SULP та NTEH та станцію JAHT, яку встановлено на пілоні 2-го навчального корпусу Національного університету «Львівська політехніка» (рис. 2).

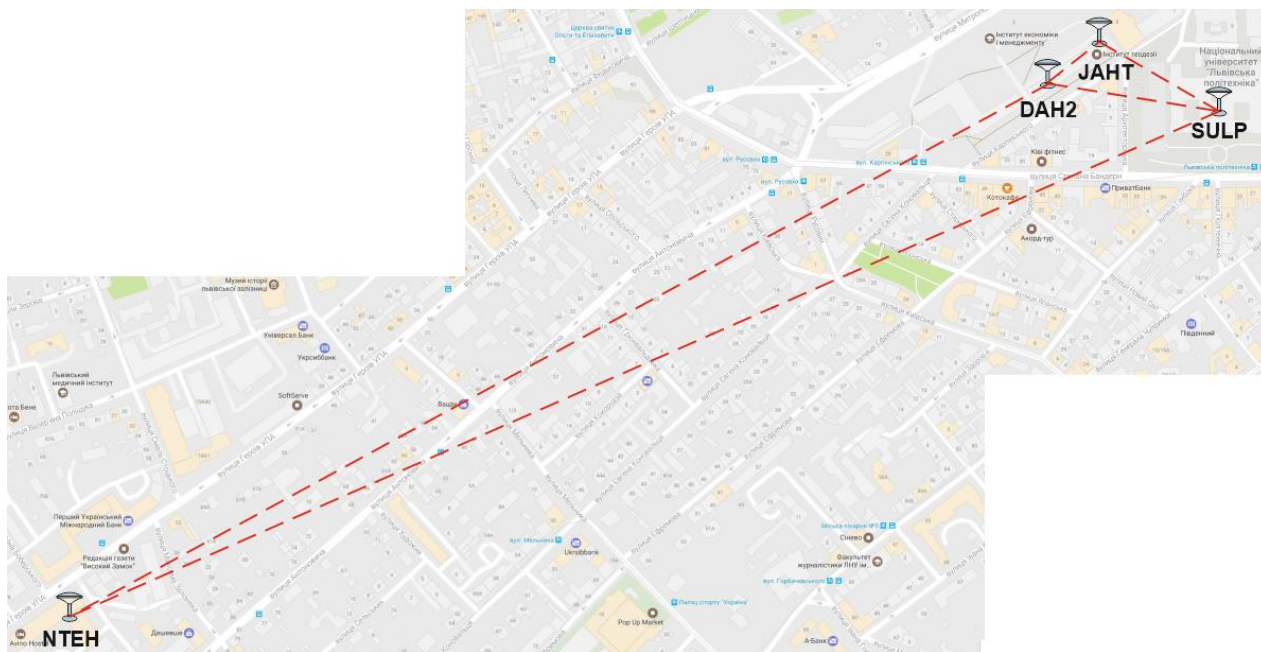
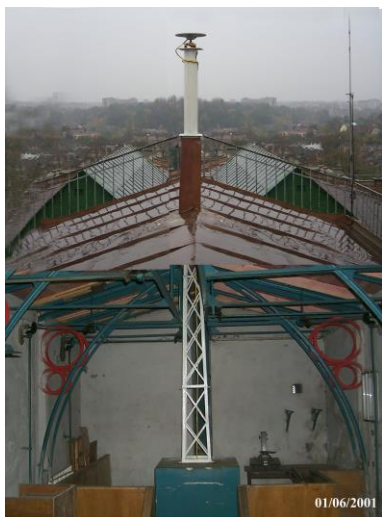


Рис. 1. Схема тестової знімальної мережі

На пункті DAN2 (2-ий навчальний корпус Національного університету «Львівська політехніка») для моделювання деформацій встановлено спеціально розроблений пристрій, який дозволяв проводити зміщення антени та фіксувати їх з високою точністю (рис. 3). Пристрій складається з двох кареток, що рухаються у взаємоперпендикулярних

напрямах. Крім того, ліва каретка може рухатися і по висоті. За допомогою мікрометричних гвинтів каретки можна зміщувати на певні відстані з високою точністю (до 0.01 мм). На пристрої для моделювання деформацій встановлено ГНСС-антену Trimble ZEPHYR GEODETIC Model 2 з двочастотним приймачем Trimble R7.



SULP



NTEH



JANT

Рис. 2 Опорні станції для моніторингу



Рис. 3. Пристрій для моделювання деформацій

На всіх приймачах встановлено такі параметри: кут відсічки – 10° , дискретність запису даних – 1 с. Станція SULP знаходиться на відстані 190 м від пристрою для імітації зміщень, станція NTEH – 1400 м, а станція JANT – на відстані 30 м.

Безперервні спостереження проводилися у статичному режимі з 25 січня по 8 лютого 2017 р. включно. Протягом 15 днів спостережень

проводились зміщення антени в горизонтальній площині за допомогою пристрою для моделювання деформацій. Протягом 15 днів проведено 4 зміщення. Розклад та величина зміщень подано у таблиці 1. Оскільки рух каретки відбувався по лінії з азимутом $279^\circ 09' 09.7''$, для коректного аналізу величини зміщень спроектовано на напрямки Півночі та Сходу.

Розклад проведених зміщень на пристрої для моделювання деформацій

	Дата	Всесвітній час	Відлік по мікрометру диференціальної каретки	Величина зміщення каретки (мм)	ΔN (мм)	ΔE (мм)
1	25.01.2017 р.	18:00	55.0			
				15	-2.38	+14.81
2	01.02.2017 р.	12:30	70.0			
				10	+1.59	-9.87
3	03.02.2017 р.	11:32	65.0			
				5	+0.79	-4.94
4	06.02.2017 р.	09:00	60.0			
				5	+0.79	-4.94
5	08.02.2017 р.	09:25	55.0			

Для виявлення модельних деформацій використовувались виміряні поодинокі вектори від опорних станцій SULP, NTEH, JAHT з інтервалами спостережень 1, 3 та 6 годин, а також результати врівноважування мережі з цих векторів.

Результати

Результати спостережень, виконаних за описаною вище методикою, опрацьовано у програмному пакеті Leica Geo Office 8.2. У деяких автоматизованих системах моніторингу, зокрема встановлених на греблях українських ГЕС, інформація про можливі деформації отримується на основі виміру поодиноких

векторів. Тому, одним з основних завдань є встановлення доцільності використання такого підходу до моніторингу деформацій та порівняння його з результатами, отриманими після врівноваження мережі. Спочатку опрацьовано поодинокі вектори NTEH-DAH2, SULP-DAH2 та JAHT-DAH2. Інтервал спостережень на них становив 6, 3 та 1 години. Довжини векторів становили 1400 м, 190 м та 30 м відповідно. На рис.(4-6) представлено зміщення антени ГНСС-приймача в горизонтальній площині, по висоті, а також у північному та східному напрямках N та E за 6 годинний, 3 годинний та 1 годинний інтервали.

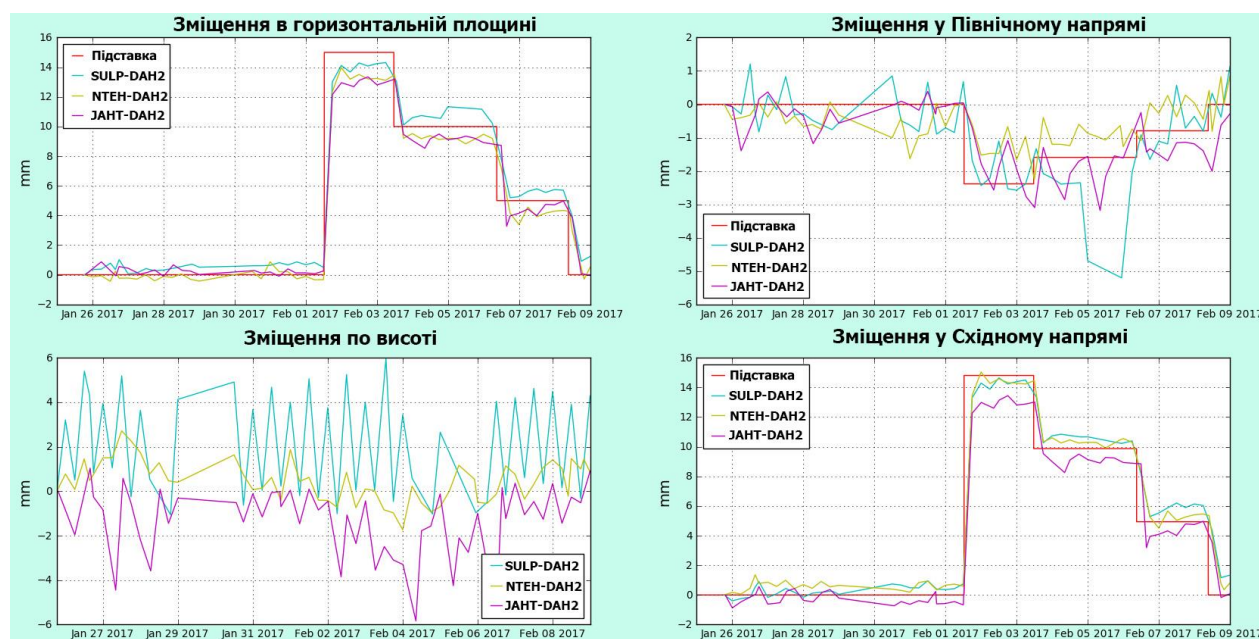


Рис. 4. Результати вимірювання векторів за 6 годинний інтервал

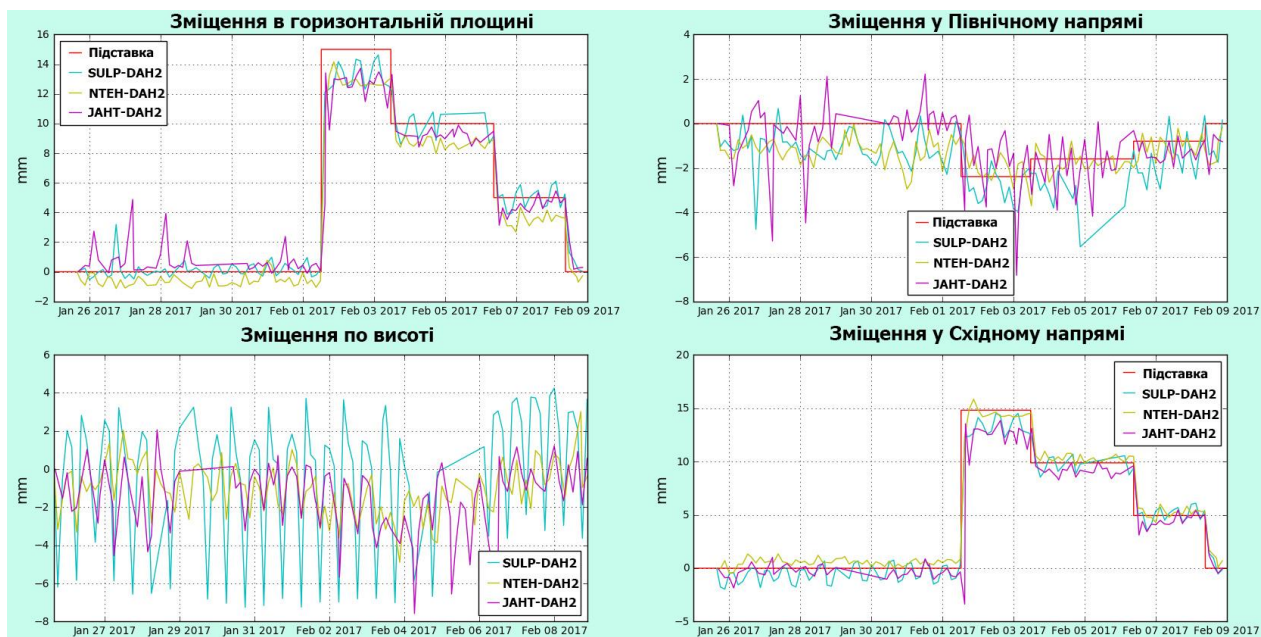


Рис. 5. Результати вимірювання векторів за 3 годинний інтервал

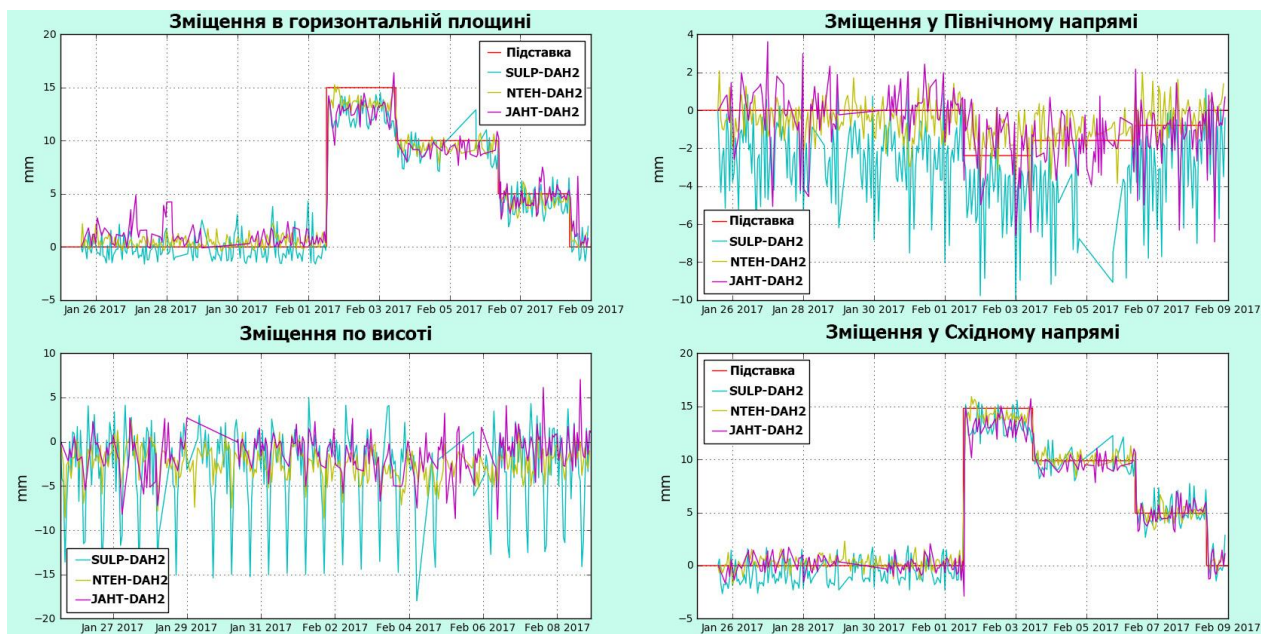


Рис. 6. Результати вимірювання векторів за 1 годинний інтервал

Основні числові характеристики для поданих графіків зібрано у Таблиці 2, де міститься інформація про кількість спостережуваних епох, середнє значення похибки (Сер.), середнє квадратичне відхилення (СКП), мінімальне та максимальне

відхилення (Мін. та Макс.), що дають уявлення про розмах похибок. Усі величини у Таблиці 2 подано у міліметрах. Зміщення в горизонтальній площині позначено **d**, зміщення у Північному та Східному напрямі **n** та **e** відповідно, а зміщення по висоті – **u**.

Основні статистичні характеристики зміщень по окремих векторах

		SULP-DAH2					NTEH-DAH2					JAHT-DAH2				
		К-ть	Сер.	СКП	Мін.	Макс	К-ть	Сер.	СКП	Мін.	Макс	К-ть	Сер.	СКП	Мін.	Макс
Інтервал 6h	d	49	0.5	1.0	-2.0	3.9	56	-0.3	1.2	-2.6	4.3	54	-0.2	1.3	-2.8	3.8
	n	49	-0.2	0.9	-3.6	1.4	56	0.2	0.7	-1.6	1.8	54	-0.3	0.6	-2.0	1.7
	e	49	0.6	1.0	-1.5	4.4	56	0.7	1.1	-1.3	5.4	54	-0.4	1.2	-2.5	3.9
	u	49	2.1	2.3	-1.1	6.0	56	0.5	0.9	-1.7	2.7	54	-1.3	1.6	-5.8	1.0
Інтервал 3h	d	100	-0.2	1.0	-2.9	3.2	113	-1.0	0.8	-0.6	3.1	102	-0.4	1.8	-10.5	4.9
	n	100	-1.0	0.9	-4.8	1.2	113	-0.7	0.8	-0.1	1.4	102	-0.2	1.3	-5.3	2.8
	e	100	-0.5	1.0	-2.6	2.5	113	0.4	0.7	0.7	4.7	102	-0.9	2.0	-18.2	3.2
	u	100	-0.4	3.5	-7.2	4.3	113	-1.1	1.4	-0.1	3.0	102	-1.5	1.8	-7.6	2.1
Інтервал 1h	d	297	-0.7	1.5	-9.3	4.3	331	-0.1	1.0	-8.1	2.3	238	0.0	1.7	-10.5	6.7
	n	297	-2.4	2.0	-8.0	1.9	331	0.1	1.1	-3.4	2.8	238	-0.1	1.5	-6.9	3.6
	e	297	-0.6	1.3	-8.0	3.8	331	0.1	0.8	-7.3	2.7	238	-0.2	1.6	-17.7	5.7
	u	297	-3.0	4.7	-18.0	5.0	331	-2.5	1.8	-8.7	2.3	238	-1.2	2.3	-8.8	7.0

Основним критерієм, що становить для нас найбільший інтерес, є середнє квадратичне відхилення. Як видно з рис (4–6) і Таблиці 2, середнє квадратичне відхилення в горизонтальній площині коливається від 1–1.5 мм для 6 годинного інтервалу спостережень до 2 мм за 1 годинний. Подібна ситуація спостерігається і для Північної та Східної компоненти. Такий високий рівень горизонтальної точності задовольняє вимоги переважної більшості автоматизованих систем моніторингу, для яких цей критерій становить 3–5 мм. Щодо висотної компоненти, то тут середнє квадратичне відхилення коливається від 1.5–2 мм за 6 годинний інтервал до майже 5 мм за 1 годинний.

Крім того слід зауважити, що у нашому випадку точність не сильно залежала від довжини вектора – інколи з найкоротшого вектора JAHT-DAH (30 м) отримували гіршу точність, ніж з найдовшого вектора NTEH-DAH (1400 м). Особливо це зауваження стосується висотної компоненти. Також з рис (4–6) та Таблиці 2 випливає, що використання 6 годинного інтервалу спостережень не дає суттєвих переваг у точності перед 1 годинним інтервалом. Це нашої думку про можливість використання коротших інтервалів

спостережень для систем моніторингу на основі супутникових технологій. Хоча використання 1 годинних інтервалів дає незначне погіршення в точності (приблизно 1 мм в плані та 2 мм по висоті) порівняно з 6 годинним, проте значно підвищує оперативність системи моніторингу. Для підтвердження цієї гіпотези побудовано гістограми розподілу помилок для кожного вектора за різних інтервалів спостережень (рис. 7–9). На рис. 7–9 іншим кольором виділено область (± 3 мм в плані та ± 5 мм по висоті), яка задовольняє вимоги щодо точності більшості сучасних автоматизованих систем моніторингу деформацій складних інженерних споруд, зокрема і систем, встановлених на греблях українських ГЕС.

Як бачимо з гістограм, більшість відхилень описують нормальний закон розподілу і за винятком кількох відсотків перебувають в межах ± 3 мм в горизонтальній площині. По висоті результати передбачувано виявилися гіршими (відхилення коливаються в межах ± 5 мм), проте як видно з графіків та гістограм відхилення носять стрибкоподібний характер. Така поведінка висотної компоненти та можливість усунення «пилки» потребує додаткових досліджень.

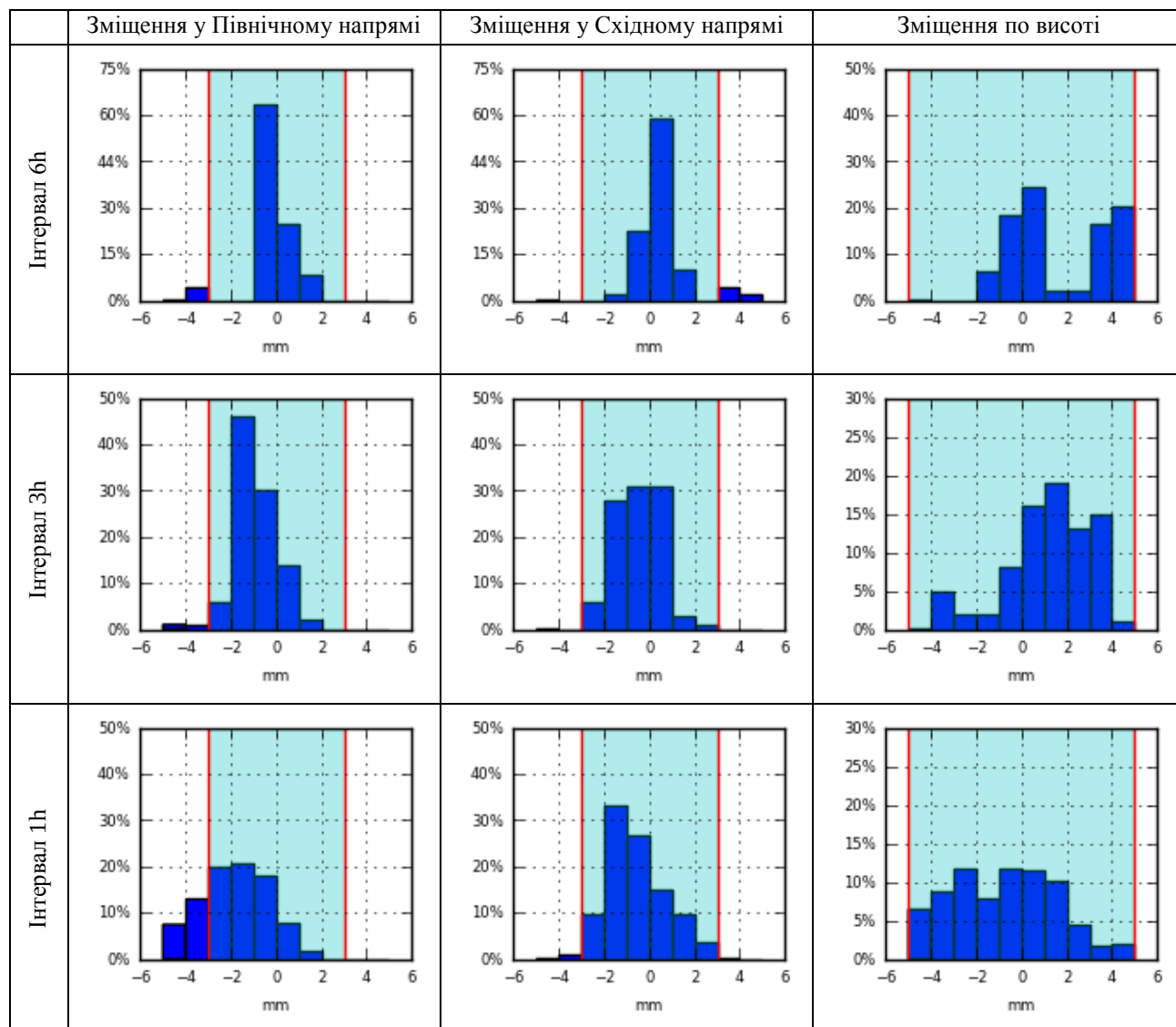
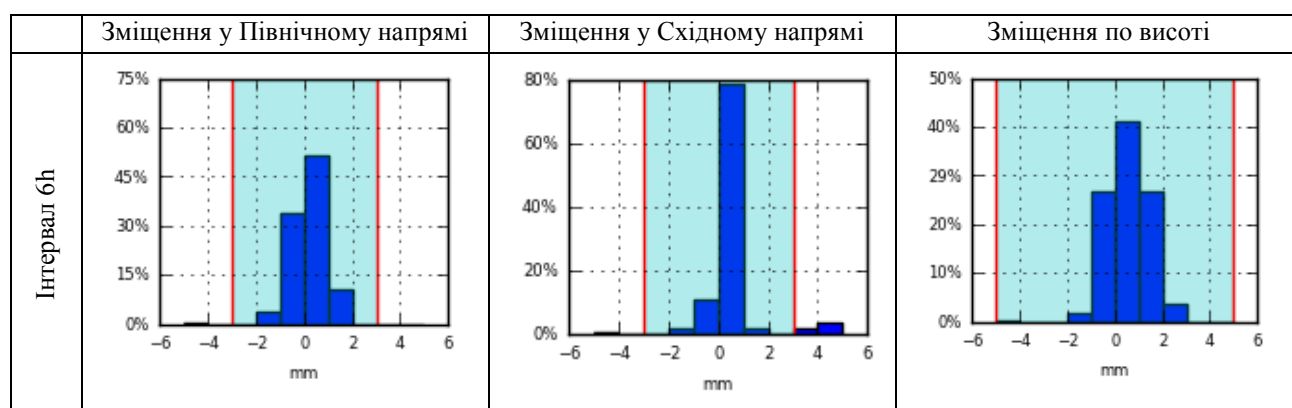


Рис. 7. Гістограми розподілу помилок для вектора Sulp-DAH



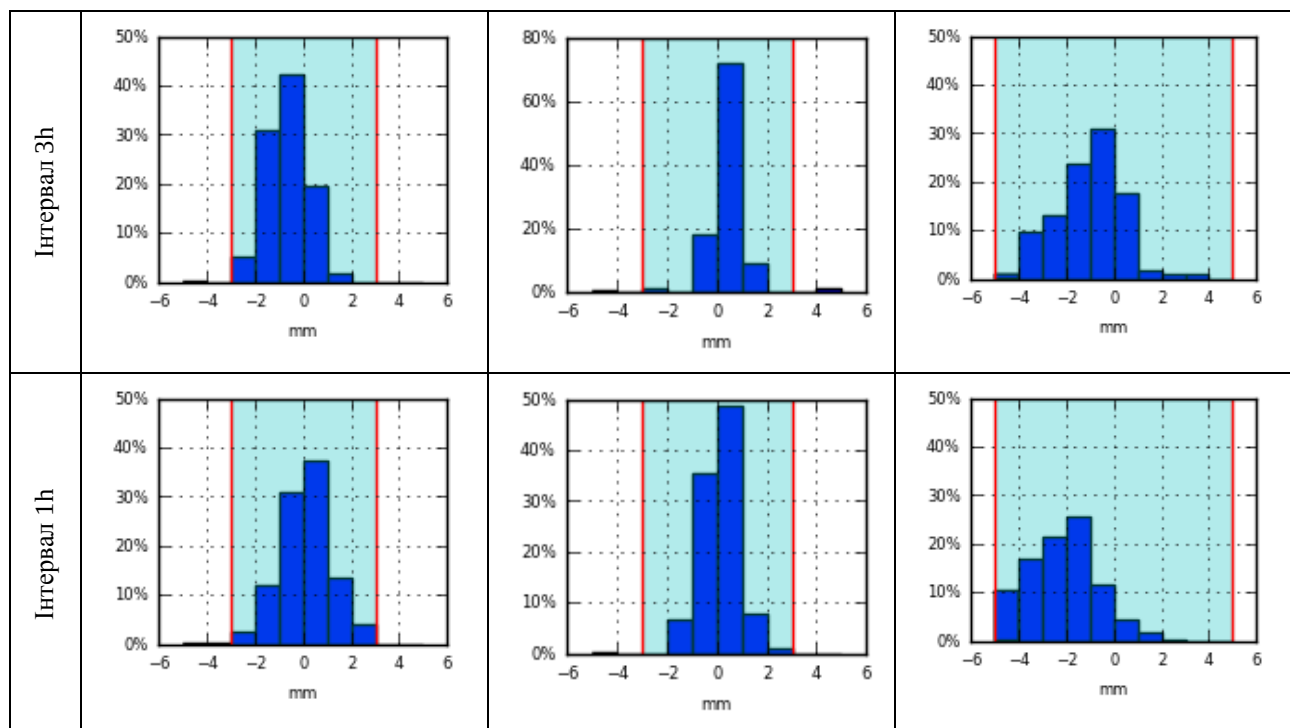
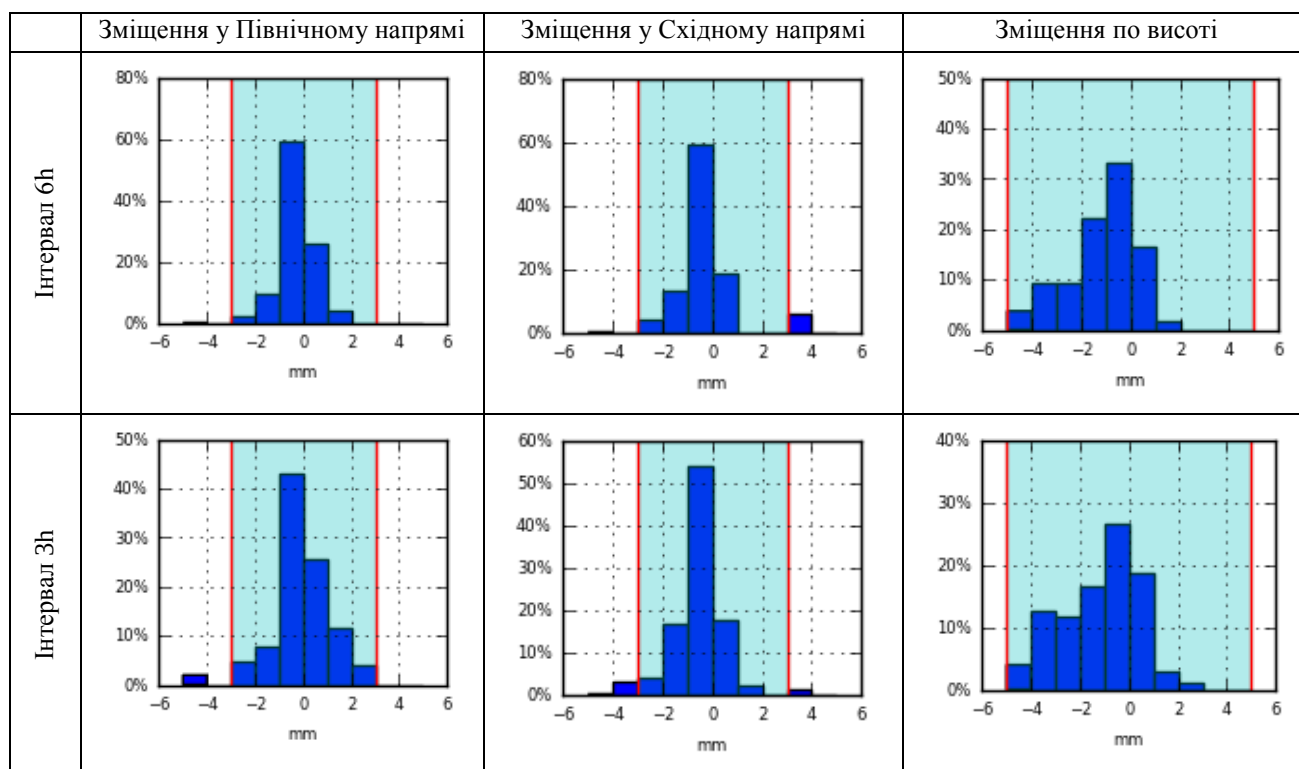


Рис. 8. Гістограми розподілу помилок для вектора NTEH-DAH



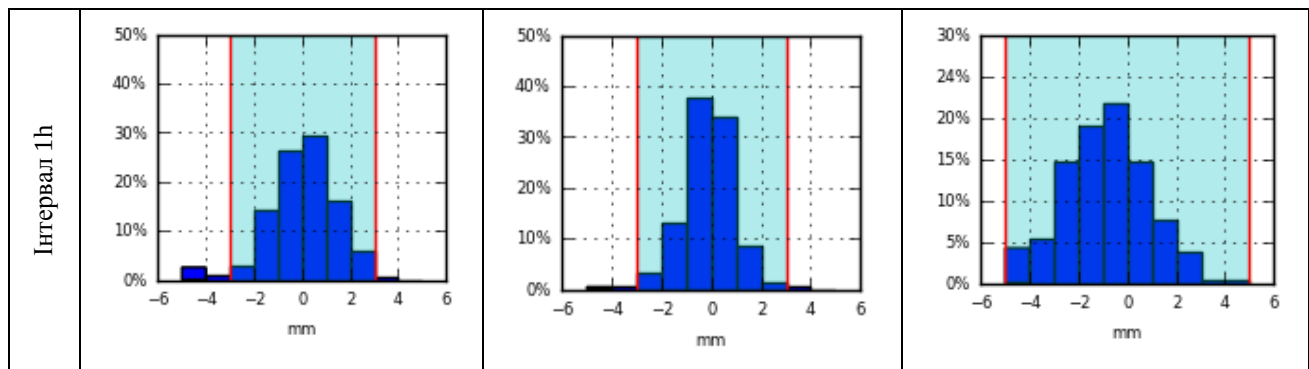


Рис. 9. Гістограми розподілу помилок для вектора JANT-DAN

Для встановлення доцільності використання у процесі моніторингу деформацій процедури врівноваження виконано порівняння результатів вимірювань, отриманих від поодиноких векторів та після врівноваження. Для цього, на основі отриманих вимірюваних векторів, створена

та врівноважена мережа у програмному пакеті Leica Geo Office 8.2. На рис 10 подані графіки відхилень за досліджуваний період для врівноважених даних. Основні статистичні характеристики відхилень, отриманих після врівноваження, подано у Таблиці 3.

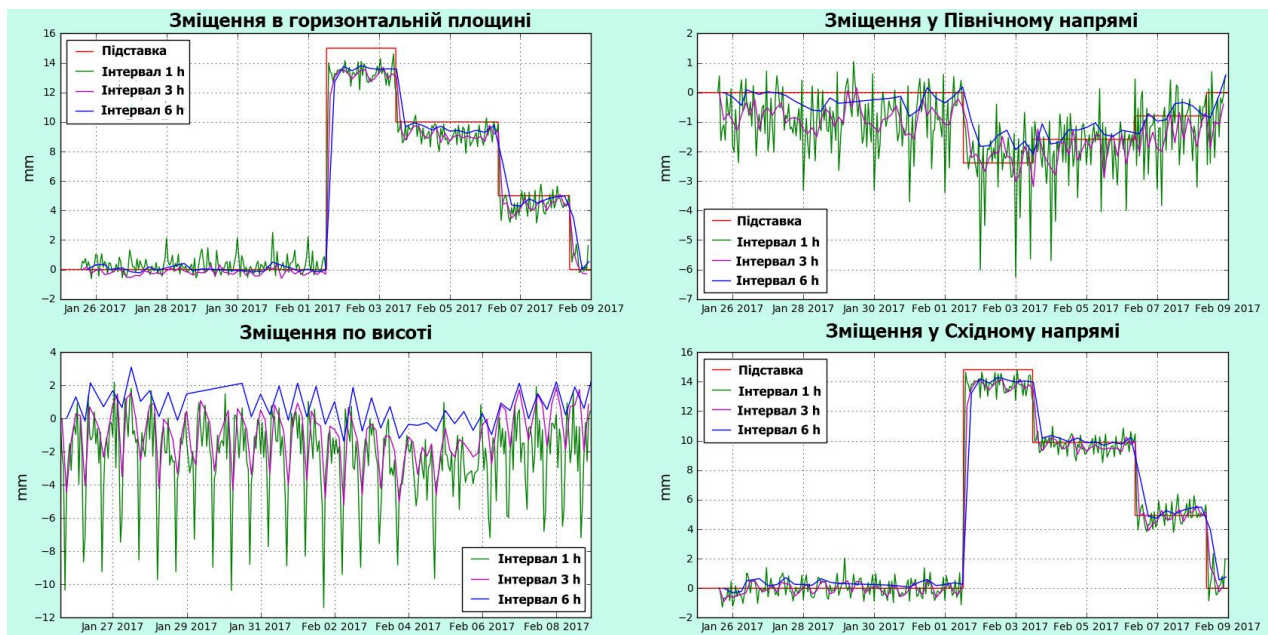


Рис 10. Відхилення, отримані за врівноваженими даними

Таблиця 3

Основні статистичні характеристики відхилень після врівноважування

	Інтервал 6h					Інтервал 3h					Інтервал 1h				
	К-сть	Сер.	СКП	Мін.	Макс.	К-сть	Сер.	СКП	Мін.	Макс.	К-сть	Сер.	СКП	Мін.	Макс.
d	53	-0.1	1.0	-2.3	3.6	115	-0.5	0.7	-3.2	3.1	341	-0.3	1.0	-7.1	3.0
n	53	0.1	0.5	-0.9	1.4	115	-0.6	0.6	-1.9	1.4	341	-0.5	1.0	-4.1	2.0
e	53	0.3	0.9	-1.6	4.1	115	-0.2	0.7	-2.4	3.6	341	-0.1	0.8	-6.2	3.2
u	53	0.7	1.1	-1.4	3.1	115	-1.0	1.7	-5.2	1.9	341	-2.3	2.4	-11.4	2.2

За результатами отриманих після врівноваження відхилень побудовано гістограми розподілу помилок (рис 11).

Аналогічно до випадку з окремими векторами, іншим кольором виділено область помилок ± 3 мм в плані та ± 5 мм по висоті.

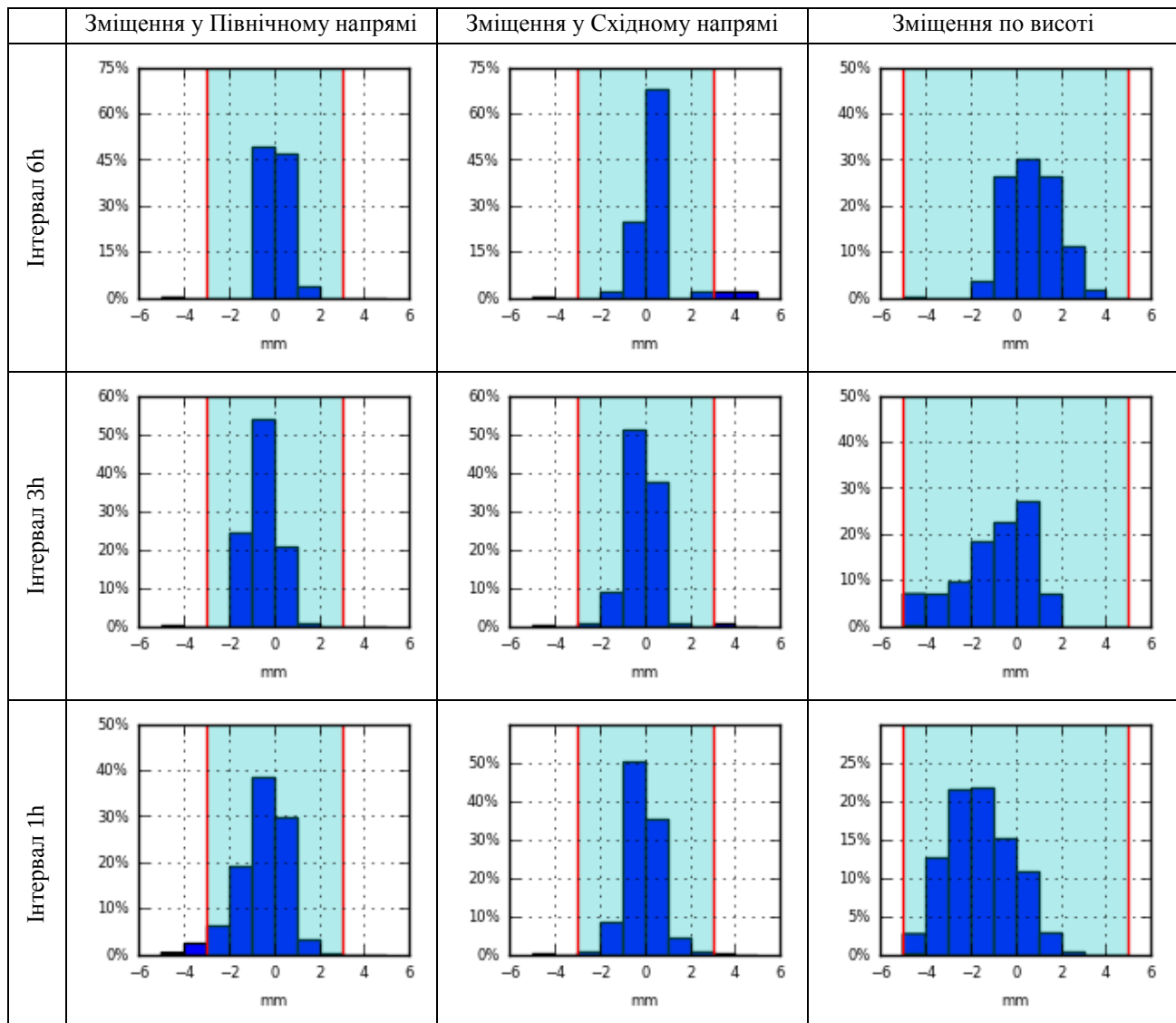


Рис. 11. Гістограми розподілу помилок, отриманих після врівноваження

З поданих вище рис. 11 і Таблиці 3 можна помітити незначне підвищення точності як для горизонтальної, так і для вертикальної складових. Середнє квадратичне відхилення у плані становить ≈ 1 мм незалежно від тривалості. По висоті середнє квадратичне відхилення коливається від 1 мм при 6 годинному інтервалі до 2.5 мм при 1 годинному інтервалі. При аналізі гістограм бачимо, що відхилення також підкоряються нормальному закону розподілу і більше 95% перебувають у межах ± 2 -3 мм для планових координат та ± 3 -4 мм для висоти.

Наукова новизна і практична значущість

Отримані результати у подальшому можна використати як рекомендації при проектуванні та побудові автоматизованих систем моніторингу складних інженерних споруд.

Висновки

Більшість сучасних автоматизованих систем деформаційного моніторингу складних інженерних об'єктів, зокрема і системи, встановлені на греблях українських ГЕС, орієнтуються на точність визначення деформацій на рівні 3–5 мм. При цьому

використовуються 6 годинні інтервали спостережень, що значно знижує оперативність реагування системи на можливі надзвичайні події. За результатами виконаних досліджень доведено можливість використання 1 годинних інтервалів замість 6 годинних без суттєвих втрат по точності, так як середнє квадратичне відхилення в горизонтальній площині коливається від 1–1.5 мм для 6 годинного інтервалу спостережень, а для 1 годинного – до 2 мм. Для висотної компоненти середнє квадратичне відхилення коливається від 1.5–2 мм за 6 годинний інтервал та майже до 5 мм за 1 годинний. Хоча використання 1 годинних інтервалів дає незначне погіршення в точності (приблизно 1 мм в плані та 2 мм по висоті) порівняно з 6 годинним, проте значно підвищує оперативність системи моніторингу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Баран П. І. Інженерна геодезія: Монографія / П. І. Баран. – К: ПАТ «ВІПОЛ», 2012 – 618 с.
- Бисовецкий Ю. А. Автоматизация геодезических наблюдений за гидротехническими сооружениями гидроэлектростанций Укргидроэнерго / Ю. А. Бисовецкий, К. Р. Третьяк, Э. С. Щучик. // Гідроенергетика України. – 2011. – №2. – С. 45–51.
- Богданец Е. С. Изучение процессов деформаций с использованием автоматизированной системы мониторинга / Е. С. Богданец, О. О. Черемухина // Master's Journal. 2014. № 1. С. 82–90.
- Иодис В. Я., Бойков А. В., Конева А. А. Использование аппаратуры JAVAD GNSS для оценки пространственных смещений здания «Триумф Палас» / Геопрофи 2, 2016- С. 10–13
- Иодис В. Я. Система мониторинга деформаций компании JAVAD GNSS / Геопрофи 3, 2015
- Космическая ГЭС [Электронный ресурс] // ОАО «НПК «РЕКОД». – 2013. – Режим доступа до ресурсу: http://rekod.ru/projects/providing_critical_facilities/space_ges/.
- Ломпас О. В., Яхторович Р. І. Вибір оптимальної тривалості спостережень для моніторингу горизонтальних зміщень супутниковими технологіями. // Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «GeoTerrace-2016». – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2016. – с. 50–53
- Currie S. Deformation surveying of dams in New Zealand, IPENZ Proceedings of Technical Groups 39 (LD) 2013
- Chrzanowski A., Lutes J., Bastin G. An Automated And Integrated Monitoring Program For Diamond Valley Lake In California, Department of Geodesy and Geomatics Engineering University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, 2001.
- Hudnut K., Behr J. Continuous GPS monitoring of structural deformation at Pacoima Dam, California, Seismol. Res. Lett., 69(4), 299–308 (July – August, 1998)
- Kaftan V. I., Ustinov A. V. Use of global navigation satellite systems for monitoring deformations of water-development works. // Power Technology and Engineering, May 2013. Vol. 47. Issue 1. P. 30–37.
- Kalkan Y., Alkan R. M., Bilgi S. Deformation monitoring studies at Ataturk Dam, FIG Congress Facing the Challenges-Building the Capacity, Sydney, Australia, 11–16 April 2010.
- Srbinoski Z., Bogdanovski Z. Application of GNSS technology in geodetic asculation of embankment dams, in: BALGEOS 2009, Vienna, Austria, 27–29 January 2010.

Надійшла 14.11.2017 р.