



УДК 004.925.84

ТРЕТЯК К.Р., докт. техн. наук, проф., директор Інституту геодезії¹,
САВЧИН І.Р., канд. техн. наук, асистент каф. Вищої геодезії та астрономії¹,
ЗАЯЦЬ О.С., канд. техн. наук, доцент каф. Інженерної геодезії¹,
ГОЛУБІНКА Ю.І., канд. техн. наук, старший викладач каф. Інженерної геодезії¹,
ЛОМПАС О.В., канд. техн. наук, асистент каф. Вищої геодезії та астрономії¹,
¹Національний університет "Львівська політехніка"
БІСОВЕЦЬКИЙ Ю.А., начальник гідротехнічного відділу ПАТ "Укргідроенерго"

ВСТАНОВЛЕННЯ ТА СУПРОВІД АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ПРОСТОРОВИХ ЗМІЩЕНЬ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД УКРАЇНСЬКИХ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Будівництво ГЕС та створення водосховищ є активним втручанням в геолого-тектонічні, геодинамічні та гідрологічні умови, що може призвести до активізації деформаційних процесів інженерних споруд і, як наслідок: до загибелі людей, аварій, руйнувань та матеріальних збитків. Тому з кінця ХХ століття прогнозування і попередження аварійних ситуацій на гідротехнічних спорудах стали предметом активних досліджень. Важливу роль в таких дослідженнях займає геодезичний моніторинг. Під геодезичним моніторингом деформаційних процесів інженерних споруд гідроелектростанцій (ГЕС) розуміють сукупність геодезичного та геотехнічного обладнання, яким постійно виконуються систематичні виміри для дослідження зміщень споруд та технологічного устаткування.

Питання безпеки стає ще більш актуальним враховуючи той факт, що 8 з 9 ГЕС, які підпорядковані Укргідроенерго, працюють вже більше 20 років, 5 з них більше 30 років, а найстаріша Дніпровська ГЕС-1 була побудована ще у 1932 році і реконструйована в 1947. У зв'язку із цим, в рамках договору "Поставка та встановлення стаціонарної системи моніторингу просторових зміщень споруд" (№ УНЕ/Т-ДАМ2-20/09), який є частиною проекту "Реабілітація гідроелектростанцій" [6] на Дніпровській, Дністровській-1

(Рис. 1), Середньодніпровській та Канівській ГЕС встановлено сучасні автоматизовані системи контролю просторових зміщень (АСКПЗ), які запроєктовані та впроваджені компанією Leica Geosystems AG (Швейцарія) на замовлення ПАТ "Укргідроенерго". Встановлені АСКПЗ ґрунтуються на використанні програмного забезпечення Leica GeoMoS та Leica GNSS Spider [12], які в комплексі дають можливість проводити автоматизований збір і опрацювання даних, контролювати як короткочасні швидкоплинні зміни, так і проводити довгостроковий аналіз зміщень, а також відображати в реальному (або заданому) часі динамічні зміни стану конструкції.

Застосування АСКПЗ для контролю гідротехнічних споруд в останні роки набуло значного поширення. Для прикладу під час моніторингу ГЕС Сермо (Індонезія) в якості базових станцій використовувалися ГНСС-приймачі Leica GRX1200+, а спільне опрацювання даних з ГНСС-приймачів та роботизованого тахеометра Leica TSA2003 виконувалося в програмному забезпеченні Leica GeoMoS. Точність визначення координат двох базових станцій (SRM1 та SRM2) та 20-ти моніторингових точок знаходилася в межах 2–5 мм [17]. АСКПЗ на базі Trimble 4D Control було використано для моніторингу зміщень контрольних точок Нижнекамської ГЕС (Росія) та показано мож-

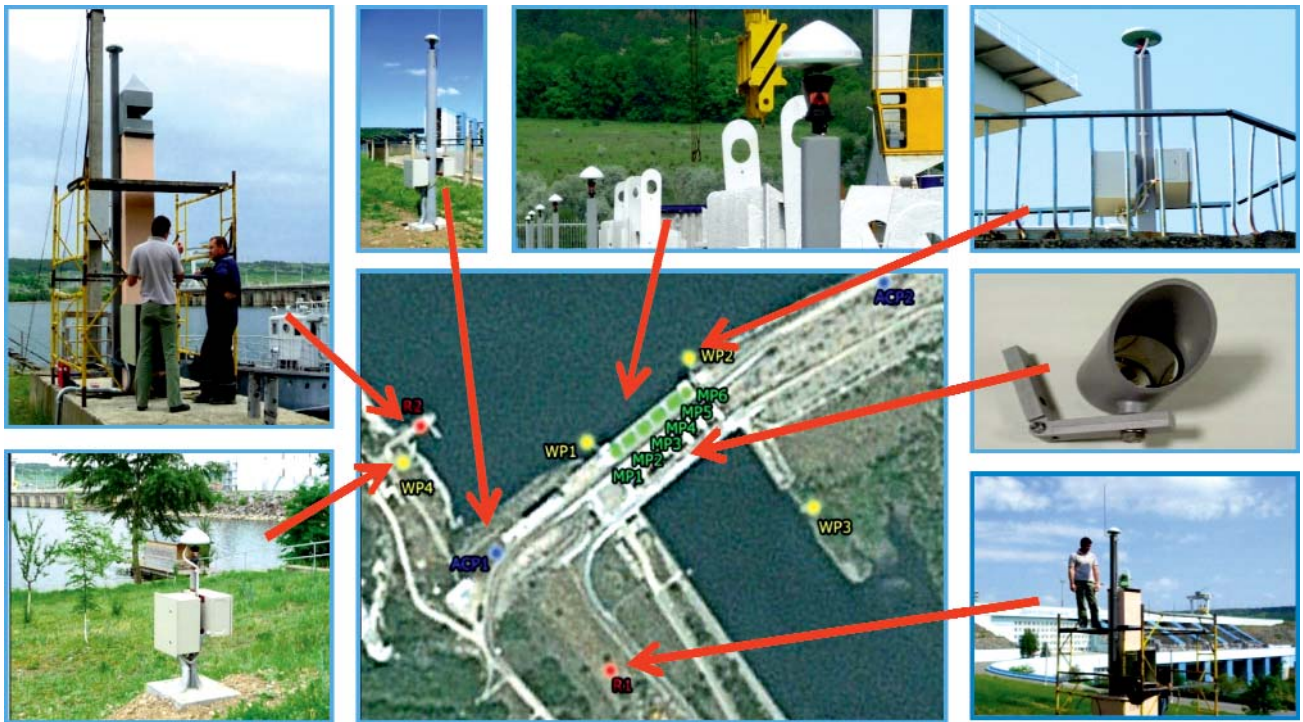


Рис. 1. АСКПЗ Дністровської ГЕС

лівість визначення лінійних зміщень гребеня греблі ГЕС з точністю 1 мм в плані та 2–3 мм по висоті [3]. Для моніторингу зміщень інженерних споруд ГЕС Копс (Австрія) та ГЕС Ргеінфелден (Німеччина) використано АСКПЗ GOSA-DC-3 [18]. Опрацювання результатів вимірювань виконувалось за допомогою Topcon DC-3. В результаті було забезпечено точність визначення зміщень – 1 мм. В Табл. 1. наведено характеристики АСКПЗ провідних виробників геодезичного обладнання, а саме Leica GeoMoS (Швейцарія), Trimble 4D Control (США) та Topcon DC-3 (Японія).

Недоліками представлених програмних продуктів є значна вартість та взаємодія тільки з устаткуванням компанії розробника. Тому, такі АСКПЗ використовуються, в основному, для моніторингу стратегічних, енергетичних, висотних та історичних об'єктів. Проте, окрім провідних виробників геодезичного устаткування та програмного забезпечення розробленням автоматизованих систем комплексного моніторингу де-

формацій займається значна кількість науково-дослідних, науково-технічних установ та приватних фірм. Вони пропонують програмне забезпечення, яке може використовувати устаткування будь-яких розробників та є набагато дешевшим. Для прикладу АСКПЗ "Cyclops" та "Centaur" [19] розроблені провідною французькою компанією SOLDATA, призначена для високоточного моніторингу складних об'єктів та спостереження за деформаціями будівель і споруд у режимі реального часу. АСКПЗ GeoRobot [11], розроблена австрійською компанією GEODATA дає можливість поєднувати різні прилади та охоплювати великі території для моніторингу. В [11] представлено багато прикладів використання даної АСКПЗ для моніторингу промислових та історичних об'єктів. Відкритим акціонерним товариством "Научно-производственная корпорация "РЕКОД" (Росія) розроблено АСКПЗ (на прикладі Нижнекамської ГЕС (Росія)) під назвою "Космическая ГЭС" [4]. Система забезпечила визначення зміщень із точністю 1 – 3 мм за

6-годинний цикл вимірювань в режимі обробки, близької до реального часу (20 хвилин), а в режимі реального часу із використанням програмного забезпечення Leica GNSS Spider 20–30 мм. Для кращого розуміння на Рис. 2 представимо типову структурну схему сучасних АЗКПЗ

Таблиця 1. Технічні характеристики АСКПЗ провідних виробників геодезичного обладнання

Характеристики	Програмне забезпечення		
	GeoMoS	4D Control	DC-3
Точність ГНСС-складової, мм	5 + 0,5 · (S _{км})	3 + 0,1 · (S _{км})	3 + 0,5 · (S _{км})
Точність тахеометричної складової, мм	0,6 + 1 · (S _{км})	1 + 1 · (S _{км})	1,5 + 2 · (S _{км})
Використання SQL бази	так	так	ні
Модульність системи	так	ні	так
Оповісний центр	так	так	так
Геотехнічні давачі	так	так	так
Цифрові нівеліри	так	ні	так

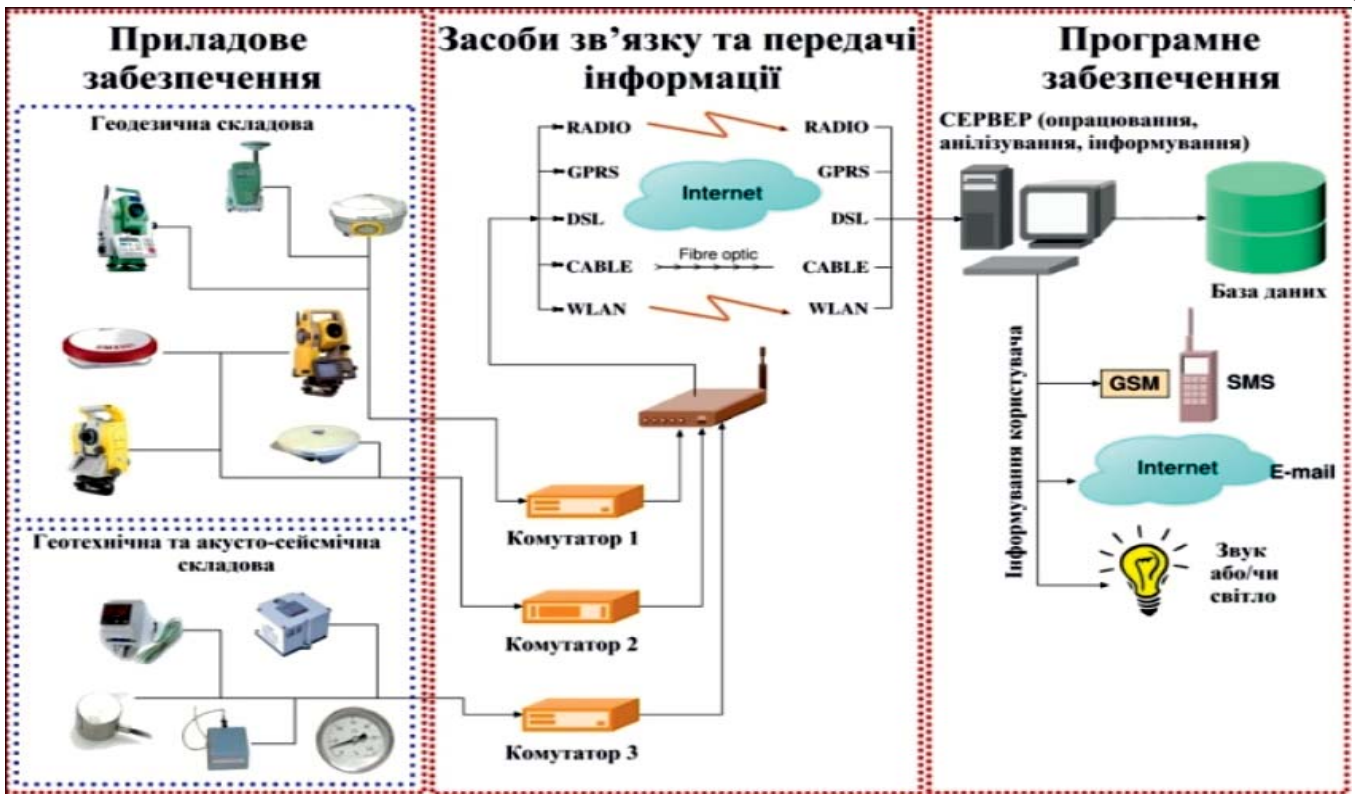


Рис. 2. Типова структурна схема сучасних АСКПЗ

Співробітниками кафедри геоінформатики та геодезії Донецького національного технічного університету розроблено автоматизований вимірювальний комплекс "Визир 3D". Він забезпечує точність визначення координат контрольних точок в межах 1 мм, як у плані, так і по висоті [7]. Результати використання даного комплексу представлено в [8] на прикладі геодезичного моніторингу та вивірки технологічного устаткування українських промислових об'єктів. Ще одним вітчизняним програмним продуктом для комплексного моніторингу деформацій є АСК "Титан" [2], яка розроблена співробітниками АТ "Банкомзв'язок". Дане програмне забезпечення функціонує на всіх об'єктах ПАТ "Укргідроенерго" та використовується для обробки та візуалізації даних інструментального контролю гідротехнічних споруд.

Огляд публікацій переконує, що існує велика кількість різноманітних АСКПЗ, кожна з яких має свої переваги та недоліки. Представлені системи відрізняються точністю вимірювань, яка коливається в межах 1–30 мм; частотою вимірювань, яка коливається в межах годин, хвилин та секунд; можливістю використання різного устаткування; розмірами площі дослідження. Важливим є те, що такі АСКПЗ дозволяють скоротити час вимірювань в 5–10 разів у порівнянні з класичними методами геодезич-

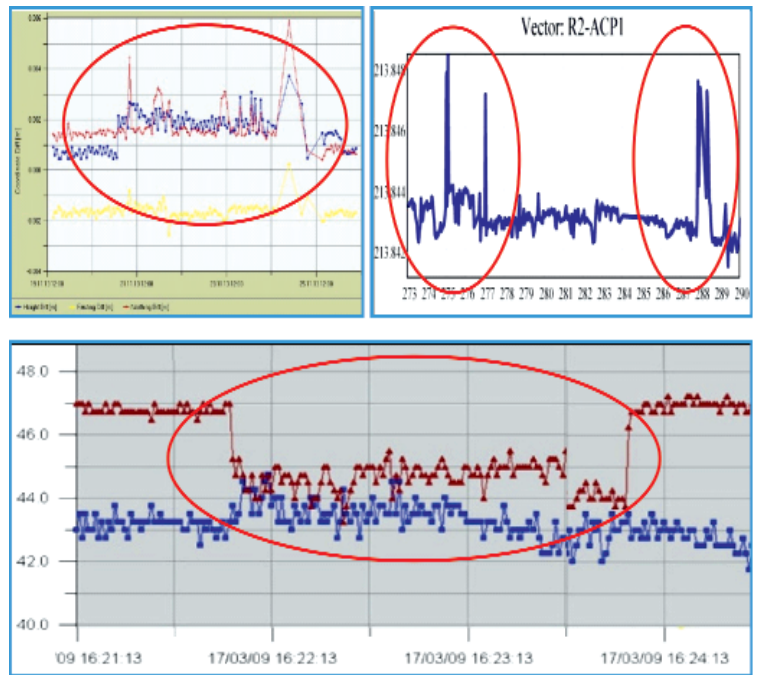


Рис. 3. Грубі похибки вимірювання в АСКПЗ

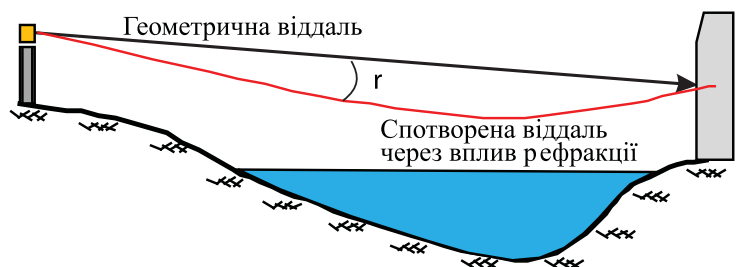


Рис. 4. Вплив рефракції на результати вимірювань



ного моніторингу [1]. Щодо фінансових витрат, то вартість створення АСКПЗ, становить всього 0,5% вартості будівлі [9].

В процесі тестування (гарантійних випробувань для підтвердження відповідності функціональним гарантіям контракту) АСКПЗ Дніпровської, Дністровської-1, Середньодніпровської та Канівської ГЕС протягом 2016 року встановлено, що використання даних систем дозволяє забезпечити комплексне вирішення проблеми спостереження за зміщеннями інженерних споруд, а також спростити та прискорити процес контролю. У випадку будь-яких відхилень від нормальних значень система подає сигнал тривоги відповідальній особі, а на монітор виводяться значення зафіксованих зміщень та їх характеристики. В процесі тестування встановлено, що кожна АСКПЗ має свої особливості та проблеми, а тому не рекомендовано, в майбутньому, використовувати один загальний підхід до проектування, встановлення, налаштування та використання таких систем. Кожна АСКПЗ потребує індивідуальної розробки й апробації технології проведення вимірювань та опрацювання їх результатів. Із загальної кількості визначено 5 основних проблем впроваджених АСКПЗ на ГЕС ПАТ "Укргідроенерго", які потребують вирішення:

- виявлення та усунення вимірювань спотворених грубими похибками, зумовленими рухом технологічного обладнання;
- врахування впливу зовнішнього середовища на результати вимірювань;
- автоматичне визначення та врахування глобальних геодинамічних процесів;
- розроблення універсальних методів розрахунку дискретності вимірювань;
- проектування оптимальної геодезичної основи для АСКПЗ.

Вирішенням даних проблем протягом останніх років активно займаються науковці Інституту геодезії Національного університету "Львівська політехніка" в рамках угоди про "Надання науково-технічних послуг для встановлення перманентної системи деформаційного моніторингу ГЕС та сумісне опрацювання даних ГНСС та ПСДМ" (№ УНЕ/Т-DAM2-20/09-1437) між НУ "Львівська політехніка" та Leica Geosystems.

Виявлення та усунення вимірювань спотворених грубими похибками.

Процес збору та опрацювання вимірювальної інформації в більшості випадків супроводжується спотвореннями, зумовленими впливом додаткових факторів (Рис. 3.)

В результаті впливу таких факторів резуль-

тати опрацювання є недостовірними. У зв'язку з цим, виникає необхідність розроблення універсальних методик фільтрації та відсіювання спотворених результатів. Проте, основні характеристики якості АСКПЗ (точність в плані та по висоті, а також вартість встановлення та експлуатації) не враховують вплив додаткових факторів. Тому, останнім часом для характеристики якості АСКПЗ використовують — надійність, під якою розуміють здатність системи враховувати вплив додаткових факторів. В [5] автор зазначає, що показник надійності є не менш важливий, ніж показники точності. Проте, в діючих інструкціях щодо побудови планових і висотних геодезичних мереж відсутні методики розрахунку та допуски на значення параметра надійності. Тобто, при аналізі більшості АСКПЗ параметр надійності не враховують, тому такі АСКПЗ є точними, але не завжди надійними [22]. Розробники АСКПЗ Дніпровської, Дністровської-1, Середньодніпровської та Канівської ГЕС зазначають, що дані системи забезпечать міліметрову точність та надійність проведення моніторингу [12, 14]. Проте, під час проведення опрацювання отриманих результатів, як на об'єктах, так і в лабораторії, передбачається тільки оцінювання точності вимірювань. У зв'язку з цим, виникає потреба оцінити надійність даних АСКПЗ.

Співробітниками інституту геодезії проведено апріорне та апостеріорне оцінювання надійності діючих АСКПЗ. Значення апріорної надійності для АСКПЗ Дніпровської, Дністровської-1 та Канівської ГЕС знаходяться межах 85–99%. Встановлено, що реальні значення надійності знаходяться в межах визначених апріорних значень. Тобто зі 100 вимірів виконаних АСКПЗ від 1 до 15 вимірів буде хибними. Такі результати підтверджують те, що додаткові фактори (грубі похибки) мають значний вплив на результати вимірювань, тому вони потребують обов'язкової фільтрації. На основі проведеного аналізу розроблено методику апостеріорної оптимізації активних геодезичних мереж моніторингу [20] для АСКПЗ Дніпровської, Дністровської-1 та Канівської ГЕС. Використання даної методики дасть можливість покращити точність результатів опрацювання АСКПЗ в 1,9–2,3 рази при незначному погіршенні надійності на 4,4–5,3%. Доведено, що методика апостеріорної оптимізації активних геодезичних мереж моніторингу із використанням параметру точності та надійності дає можливість у режимі реального часу проводити оптимізацію результатів вимірювань та визначати сукупність векторів, які потрібно вилучити з процесу опрацювання.



Врахування впливу зовнішнього середовища на результати вимірювань.

Зміна густини атмосфери впливає на швидкість і прямолінійність поширення електромагнітної хвилі, такий процес називається рефракцією. Неврахування рефракції на результати вимірювань електронних тахеометрів призводить до того, що лінійні та кутові вимірювання містять помилки, які врешті перетворюються у помилки визначення координат моніторингових точок (рис. 4.). Для того щоб ці помилки не були неправильно інтерпретовані як деформації – вплив рефракції на результати геодезичних вимірювань слід максимально усувати.

Моделювання рефракційних впливів на результати геодезичних вимірювань є досить складною задачею, адже густина атмосфери, її турбулентність не є постійними в кожній точці простору. Густина атмосфери залежить від багатьох метеорологічних параметрів, основними з яких є температура, тиск та вологість. Відомо, що рефракційні поля, які виникають поблизу великих водойм є досить складними для вивчення, оскільки зазнають динамічних змін не протягом доби, а і протягом року тобто володіють добовими, сезонними, демісезонними варіаціями. Для досконалого моделювання рефракційних впливів необхідно на кожен момент часу знати розподіл температури, атмосферного тиску та вологості вздовж поширення візирного променя. Такий підхід є детерміністичним і, на жаль, нереальним для реалізації у випадку діючих ГЕС. Тим не менше для того щоб враховувати хоча б нормальну складову рефракції на усіх АСКПЗ виконують автоматизоване вимірювання температури та тиску у безпосередній близькості до електронних тахеометрів. На жаль, через відсутність метеовимірів поблизу моніторингових точок побудувати більш-менш адекватні моделі рефракційних впливів не є можливим. Обумовити впливи зовнішнього середовища на результати вимірів електронних тахеометрів виключно рефракцією є досить обмеженим баченням проблеми в цілому. В реальних умовах додатковими джерелами впливу можуть бути такі фактори як "кручення" візирних цілей внаслідок нерівномірного нагрівання пілонів, на яких встановлені відбивачі, температурні деформації вузлів електронних тахеометрів та інші. Слід зауважити, що в цілому чітко детермінувати усі джерела походження впливів на результати вимірювань та їх природу встановити важко або взагалі неможливо. Тому побудова адекватних параметричних моделей, які б дозволяли враховувати зміни вимірювань внаслідок впливу того чи іншого фактора є доволі складною задачею.

Основна проблема полягатиме в параметризації таких моделей тобто у підборі таких параметрів, які б дозволяли описати вплив того чи іншого джерела на результати вимірювань електронних тахеометрів з достатнім рівнем точності.

Співробітниками інституту геодезії проведено детальний аналіз та розроблено методологічні підходи для моделювання впливів зовнішнього середовища на результати вимірювань електронних тахеометрів, які успішно апробовані на АСКПЗ Канівської ГЕС. З огляду на велику кількість факторів впливу на результати вимірювань модель була реалізована шляхом стохастичного моделювання. В результаті апробації було встановлено:

- Залишкові середні квадратичні відхилення вимірювань, після вилучення моделі впливу зовнішнього середовища, становлять близько 1 кутової секунди в кутових та близько 1 міліметра в лінійних вимірюваннях.

- За результатами порівняння відстаней та перевищень обчислених за результатами незалежних вимірювань різних електронних тахеометрів на одні і ті ж візирні цілі було встановлено, що після введення модельних поправок точність обчислення координат та висот моніторингових точок становитиме максимум 2 мм в плані та 2 мм у висоті.

- Результати незалежної перевірки вказують, що стандартні відхилення як величин обчислених за незалежними вимірюваннями так і самих значень вимірювань покращуються у двічі після введення модельних поправок, ніж з використанням "сирих" даних вимірювань електронних тахеометрів. Покращення є статистично значущими з рівнем довіри більш як 95%.

Автоматичне визначення та врахування глобальних геодинамічних процесів.

Відомо, що кожна із АСКПЗ встановлених на українських ГЕС працює у локальній системі координат. Координати всіх пунктів системи визначаються відносно декількох базових пунктів. Такий підхід не дає можливості враховувати глобальні рухи пунктів. Тому виникає необхідність об'єднання окремих АСКПЗ Дніпровської, Дністровської-1, Середньодніпровської та Канівської ГЕС в єдине ціле з спільним центром опрацювання, збереження та візуалізації результатів моніторингу. Такий комплексний підхід дозволить здійснювати одночасний моніторинг 4-х ГЕС, реагувати, координувати роботу станцій та приймати відповідні рішення спрямовані на збереження життя людей, майна та технологічного обладнання.

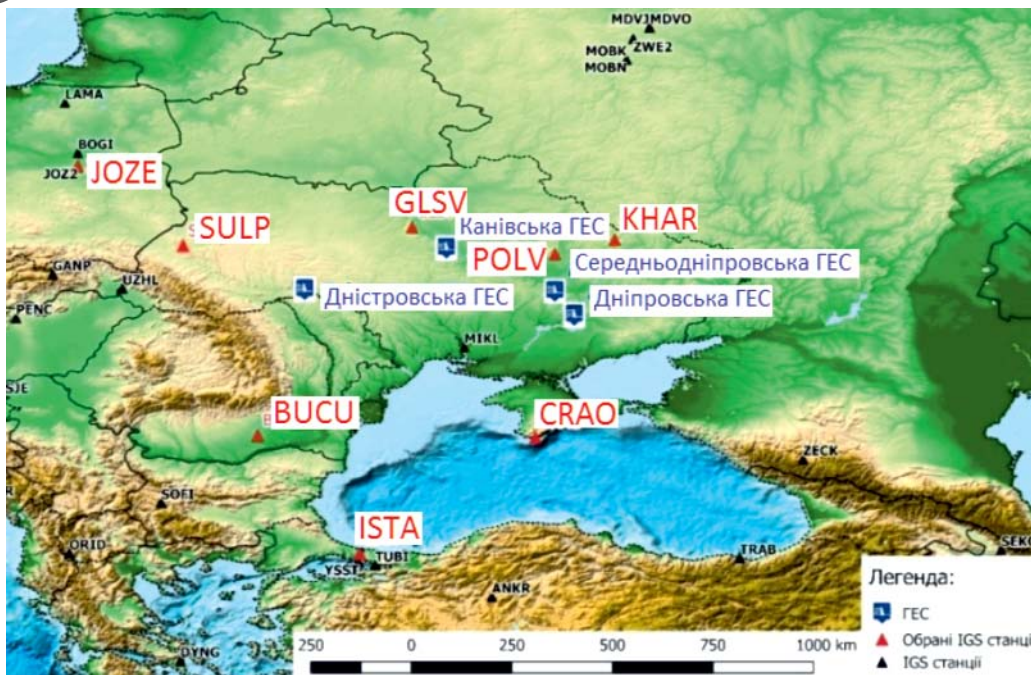


Рис. 5. Схема розташування мережі постійних ГНСС станцій

Основними інструментами, які дозволяють реалізувати це завдання є: проведення постійних ГНСС-спостережень на стаціонарних пунктах кожної з ГЕС та їх сумісне опрацювання. Проблема опрацювання ГНСС-спостережень може бути вирішена лише шляхом використання спеціалізованого програмного забезпечення, адже довжини векторів в такій мережі складатимуть від 250 до 1000 км. Найбільш популярним є Bernese GPS Software. На сьогодні даний програмний продукт використовує близько 700 організацій наукового та прикладного спрямування, серед яких спеціалізовані центри для опрацювання даних світової мережі постійних ГНСС-станцій.

Високоточне опрацювання даних ГНСС-спостережень необхідно виконувати відносно певних

опорних (референцних) пунктів. У якості таких пунктів ідеально підходять постійні станції загально-земної мережі IGS. Координати станцій мережі IGS визначаються кожних кілька років з точністю порядку 1 мм, окрім координат обчислюються швидкості їх змін, викликані глобальних геодинамічних явищ. Також на таких станціях ставляться достатньо жорсткі вимоги щодо обладнання, зовнішніх умов на пунктах спостережень, що дозволяє забезпечити високу якість даних спостережень.

Співробітниками інституту геодезії обрано 8-м постійних ГНСС станцій мережі IGS. Вибір здійснювався на основі використання спеціально розробленої методики оптимізації просторових ГНСС-мереж. П'ять станцій розташовано на території України (SULP, GLSV, POLV, KHAR, CRAO), а 3 – поза межами України (ISTA, BUCU, JOZE). Вибір власне цих українських станцій в якості референцних був обумовлений якістю даних, їх цілісністю та відсутності розривів у спостереженнях. Добові файли спостережень всіх обраних станцій публікуються у мережі Інтернет, та є доступними для завантаження. Схема мережі наведена на Рис. 2.

АСКПЗ кожної ГЕС включає два високоточні ГНСС приймачі, встановлені на стаціонарних пунктах, результати постійних спостережень яких використовуються для сумісного опрацювання з допомогою Bernese. Окрім цього згадані приймачі використовуються як опорні точки для дачив (електронних тахеометрів та ГНСС-приймачів) кожної із АСКПЗ.

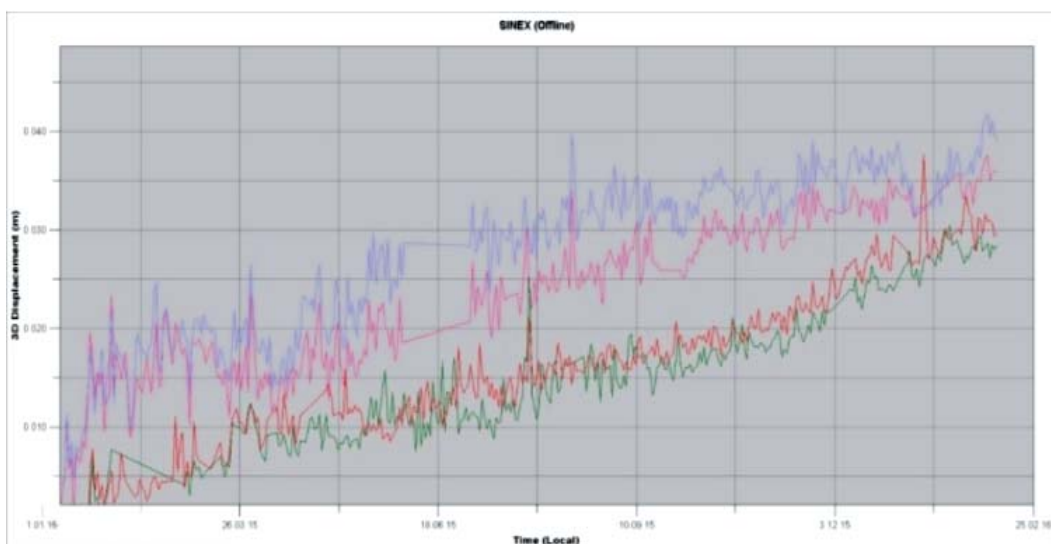


Рис. 6. 3D зміщення базових пунктів Дністровської та Канівської ГЕС у глобальній системі координат



Рис. 7. Пристрій для моделювання деформацій

Опрацювання здійснюється на базі Національного університету "Львівська політехніка". Для цього дані спостережень по кожній ГЕС надсилаються в автоматичному режимі на сервер університету у вигляді добових файлів та відповідно виконується незалежне опрацювання кожної доби спостережень, але сумісно для всіх ГЕС. Результати спільного опрацювання подано на Рис. 6.

Крім цього в НУ "Львівська політехніка" розроблено та використовується спеціалізоване програмне забезпечення, яке дозволяє повністю автоматизувати процес завантаження та опрацювання даних ГНС-спостережень АСКПЗ ГЕС.

Розроблення універсальних методів розрахунку дискретності вимірювань АСКПЗ

Згідно з технічною пропозицією фірми Leica [13] АСКПЗ Дніпровської, Дністровської-1, Середньодніпровської та Канівської ГЕС повинні забезпечувати горизонтальну точність визначення координат

контрольних точок в реальному часі з точністю $10 \text{ мм} + 1 \text{ мм/км}$, а вертикальну $20 \text{ мм} + 1 \text{ мм/км}$. Режим спостережень у реальному часі забезпечує високу оперативність отримання результатів та надає можливість повної автоматизації процесу виконання вимірювань та обробки результатів, проте основним недоліком методу є не надто висока точність визначення координат. Для підвищення точності розробник пропонує проводити 6-годинні цикли спостережень, після опрацювання яких горизонтальна точність повинна бути меншою за $\pm 3 \text{ мм}$. Через топографічні особливості, для деяких контрольних точок горизонтальна точність вимірювання може бути збільшена до $\pm 5 \text{ мм}$, але такі вимоги повинні стосуватися

Таблиця 1. Точність визначення планових зміщень при різній тривалості вимірювань

Тривалість, год	0,5	1	2	3	4	6
Точність визначення планових зміщень, мм	7,3	1,2	1,1	1,1	1,1	0,9

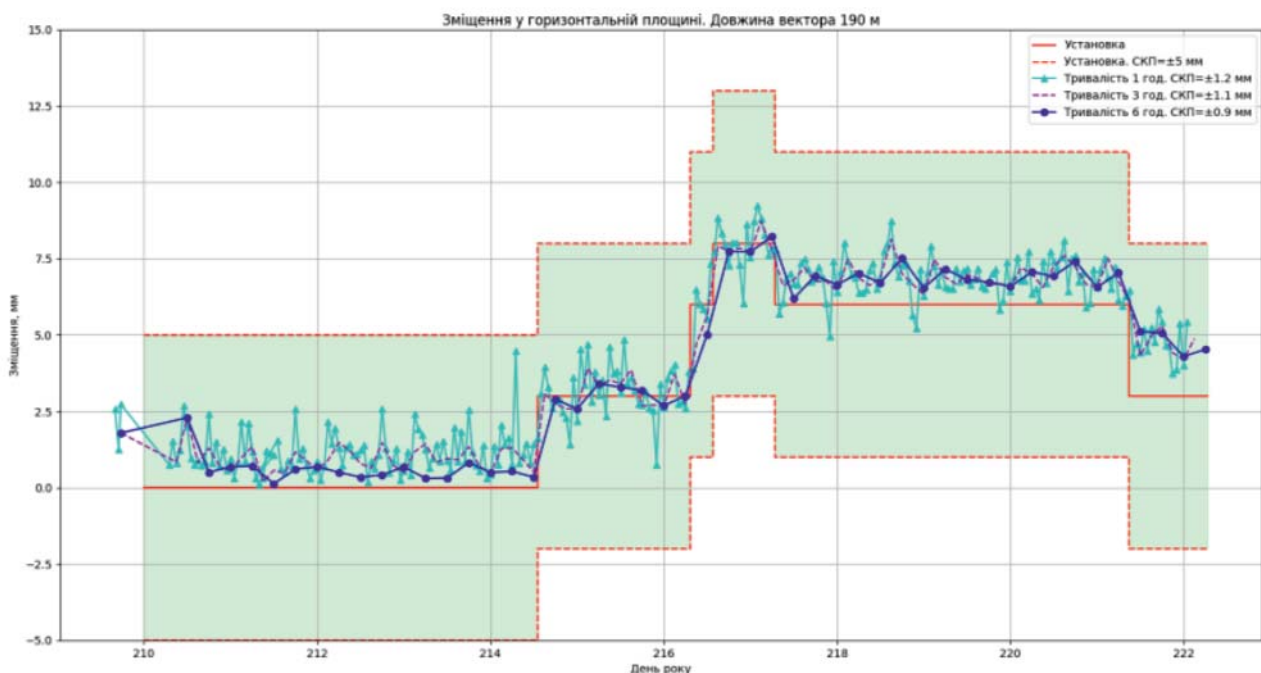


Рис. 8. Відхилення розв'язків від еталонних значень



не більш, ніж 25% вимірюваних точок. Що стосується вертикальної точності, то після 6 годин спостережень і опрацювань вона не повинна перевищувати ± 10 мм. Такі вимоги щодо точності визначення координат контрольних точок при моніторингу ГЕС є поширеними серед подібного класу робіт.

Відомо, що 6-та годинна тривалість сесії статичних супутникових спостережень вважається оптимальною для визначення координат з міліметровою точністю, що відповідає вимогам до високоточного моніторингу об'єктів такого типу. Подібна методика широко використовувалась 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) [15]. Також необхідно відмітити, що протягом досліджуваного періоду, для даних об'єктів точність визначення горизонтальних зміщень становила 2 мм, а вертикальних — 3 мм. Даний метод протягом останніх 12 років застосовується для супроводження будівництва та спостережень за зміщеннями основних споруд Дністровської ГАЕС [16].

Протягом тривалого часу співробітники Інституту геодезії активно працюють над проблемами визначення оптимальної дискретності проведення моніторингу та підвищення точності і надійності отриманих результатів. Перспективними шляхами вирішення поставлених проблем є використання високочастотних статичних ГНСС-спостережень, застосування нових підходів до процесу врівноваження отриманих результатів спостережень, тощо. Для цього на навчальних корпусах університету розгорнуто тестову знімальну мережу з різними довжинами векторів, яка імітує процес моніторингу на реальній ГЕС. Моделювання можливих деформацій відбувається за допомогою спеціально розробленого пристрою (Рис. 7).

Пристрій складається з двох кареток, що рухаються у взаємно-перпендикулярних напрямках. 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). Використовуючи даний пристрій проводяться дослідження для встановлення оптимального часу та частоти статичних спостережень для досягнення різних рівнів точності при різних довжинах векторів (Рис. 8.).

За результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що на коротких векторах (до 200 м) для визначення горизонтальних зміщень з точністю до 5 мм тривалість спостережень можна скоротити до 1 год. Однак, для векторів з довжинами до 1500 м можна припустити, що оптимальною тривалістю спостережень для досягнення цієї точності є 3 год. Приведені обчислення стосуються визначення тільки горизонтальних зміщень — для врахування вертикальних зміщень планується проводити додаткові дослідження.

Аналіз проведених досліджень підтверджує, що такий підхід може стати шляхом до покращення АСКПЗ, оскільки для своєчасного попередження критичних ситуацій важливо правильно розрахувати частоту проведення моніторингу з урахуванням точності та надійності отриманих результатів спостережень, часу прийняття рішень та періоду евакуації.

Проектування оптимальної геодезичної основи для АСКПЗ.

Враховуючи геологічні, гідрологічні, топографічні та кліматичні особливості розташування ГЕС, важливою проблемою є проектування та оптимізація АСКПЗ кожної ГЕС. Неправильно складений проект може призвести до збільшення вартості самої системи та пониження точності її роботи. Наприклад: недостатня кількість давачів та неправильне їх розташування призведе до погіршення точності роботи системи, а надмірна кількість давачів не завжди дозволить підвищити точність та в свою чергу призведе до збільшення вартості системи. Тому перед встановленням АСКПЗ необхідно розробити її детальний проект з врахуванням локальних умов розташування ГЕС.

Питання оптимального проектування, оптимізації та виконання геодезичних спостережень викликають значний науковий і практичний інтерес. Багато науковців досліджували питання оптимізації, але й до сьогодні проблема оптимізації геодезичних мереж не є повністю вирішеною. Розвиток сучасних геодезичних технологій потребує розробки нових, модифікації та адаптації існуючих алгоритмів проектування та оптимізації геодезичних побудов з метою їх використання для оптимального проектування мереж.

Проблема оптимізації особливо актуальна для мереж, в яких одночасно використовується велика кількість геодезичного устаткування, що проводить безперервні вимірювання (ГНСС-приймачі, електронні роботизовані тахеометри), яке призводить до безперервного зростання кількості надлишкових вимірювань.



Відповідно в таких побудовах зростає і кількість вимірювань спотворених похибками, які значно перевищують загальний фон усіх похибок. Тому проблема ідентифікації та усунення вимірювань спотворених похибками в таких мережах є особливо актуальною. [10]

Підсумовуючи представлену інформацію можна зробити висновок, що використання АСКПЗ дозволить забезпечити комплексне вирішення проблеми спостереження за зміщеннями інженерних споруд ГЕС. Проте, кожна така система вимагає індивідуальної розробки й апробації технології проведення вимірювань та опрацювання їх результатів. Питаннями доопрацювання та налаштування АСКПЗ повинні займатися спеціалізовані установи та організації, які мають досвід виконання таких робіт. Обов'язковою умовою такого процесу повинно стати залучення найсучасніших наукових розробок та ідей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Автоматизированная система геодезического мониторинга / С. Могильный, А. Шоломицкий, Е. Шморгун, В. Пригаров. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. — 2010. — №19. — С. 193–197.
2. Автоматическая система контроля состояния сооружений — Титан [Электронный ресурс] // АО "Банкомсвязь". — 2014. — Режим доступа до ресурсу: <http://titan.bkc.com.ua/ru/start>.
3. Булаева Е. А. Разработка методики применения спутникового метода для геодезического мониторинга и прогнозирования состояния геологической среды и гидротехнических сооружений : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 25.00.32 "Геодезія" / Булаева Е. А. — Москва, 2013. — 24 с.
4. Космическая ГЭС [Электронный ресурс] // ОАО "НПК "РЕКОД". — 2013. — Режим доступа до ресурсу: http://rekod.ru/projects/providing_critical_facilities/space_ges/.
5. Маркузе Ю. И. Основы уравнивательных вычислений: Учеб. пособие для вузов / Ю. И. Маркузе. — Москва: Недра, 1990. — 240 с.
6. Міжнародна співпраця [Електронний ресурс] // ПАТ "Укргідроенерго". — 2013. — Режим доступу до ресурсу: [http://www.uge.gov.ua/clients/ukrge/site.nsf/\(documents\)/4BEFAED1D560426CC22576F00035218C](http://www.uge.gov.ua/clients/ukrge/site.nsf/(documents)/4BEFAED1D560426CC22576F00035218C).
7. Могильный С. Г. Трёхкоординатный измерительный комплекс "Визир 3D" / С. Г. Могильный, А. А. Шоломицкий, Е. И. Шморгун. // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. — 2009. — №9 (143). — С. 13 – 25.
8. Могильный С. Г. Измерительный комплекс "Визир 3D" на предприятиях Украины: Геодезический контроль и выверка технологического оборудования / С. Г. Могильный, А. А. Шоломицкий, В. Н. Ревуцкий. // Геопрофи. — 2009. — №3 (6). — С. 12 – 19.
9. Рязанцев Т. Е. Современные автоматизированные системы контроля деформаций высотных зданий / Т. Е. Рязанцев, С. П. Буюкяп, И. А. Седельникова. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. — 2005. — №2.
10. Савчин І. Р. Оптимізація активних геодезичних мереж моніторингу інженерних споруд гідроелектростанцій : дис. канд. техн. наук : 05.24.01 / Савчин Ігор Романович — Львів, 2015. — 135 с.
11. Automatic 3D Deformation Monitoring System [Электронный ресурс] // GeoRobot. — 2014. — Режим доступа до ресурсу: http://www.geodata.com/eng/_geoinstruments/kompetenz/_detail.php?view=1&we_objectID=-166&navid=16&pulldown=1&parent=01&headline=Expertise+%26+Performance+Spectrum&cid=19
12. Cranenbroeck J.v A New Geodetic Network Design for Hydro Power Plants / J.v Cranenbroeck, A. Balan // FIG Working Week 2012. — 2012.
13. Cranenbroeck J.v Networking Motorized Total Stations and GPS Receivers for Deformation Measurements / J.v Cranenbroeck, N. Brown // FIG Working Week 2004. — 2004.
14. Cranenbroeck J.v New Design for Hydro Power Plant Structural Geodetic Monitoring Network / J.v Cranenbroeck. // FIG Working Week 2011 Bridging the Gap between Cultures. — 2011.
15. Deformation Measurement using Terrestrial Laser Scanning at the Hydropower Station of Gabcikovo / T. Schfer, T. Weber, P. Kyrinovi?, M. Z?me?nikov?. // FIG Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying. — 2004.
16. Deformation studies of the dam of Mornos artificial lake via analysis of geodetic data / V. Gikas, D. Paradissis, K. Raptakis, O. Antonatou. // FIG Working Week 2005. — 2005
17. Design and installation for Dam Monitoring Using Multi sensors: A Case Study at Sermo Dam, Yogyakarta Province, Indonesia / [S. Tarsisius Aris, S. Kabul Basah, D. Fakrurazzi та ін.]. // FIG Working Week 2012. Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage. — 2012.
18. GOCA-Projects [Электронный ресурс] // GOCA — GNSS/LPS/LS-based online Control and Alarm System. — 2014. — Режим доступа до ресурсу: http://www.goca.info/beispiel_e.html.
19. Risk Management: Water, Energy & Industry [Электронный ресурс] // Soldata Group. — 2014. — Режим доступа до ресурсу: <http://www.soldatagroup.com>.
20. Savchyn I. Posteriori optimization of active geodetic monitoring networks / K. Tretyak, I. Savchyn. // Reports on Geodesy and Geoinformatics. — 2014. — №96. — P. 67–77.
21. Schaffrin B. Optimization and design of geodetic networks edited by Grafarend and Sans? / B. Schaffrin. // Aspects of network design. — 1985. — С. 548–597.
22. Seemkooei A. A. Strategy for designing geodetic network with high reliability and geometrical strength / A.A. Seemkooei. // Journal of surveying engineering. — 2001. — P. 104–117.

