

В.Д. СИДОРЕНКО, д-р техн. наук, проф., Криворізький національний університет  
В.Я. КОВТУН, магістр, віце-президент УТГК, провідний науковий спеціаліст  
І. С. КУРИЛЯК, канд. техн. наук, Інститут геоінформаційних технологій  
М.В. КОВТУН, канд. екон. наук, ПНВП «УКРКОВІД»

## МЕТОДИ І ТЕХНОЛОГІЇ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО ДЕФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ЯК ЕКОНОМІЧНО-ЕФЕКТИВНИЙ ПІДХІД ЗБЕРЕЖЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ І ТЕРИТОРІЙ В УКРАЇНІ ТА КРИВБАСІ

**Мета.** У статті розглянуто питання використання геоінформаційних технологій, які допомагають фахівцям у моніторингу довкілля. Геологічні процеси налічують мільйони років, в результаті такої активності отримуємо катастрофи антропогенної властивості, здатні забрати сотні тисяч людських життів і завдати народному господарству непоправних втрат.

**Методи:** наведені сучасні методи та технології, які показують доцільність і необхідність застосування автоматизованої системи деформаційного моніторингу – АСДМ для створення єдиного геоінформаційного простору в Україні та Криворізькому гірничовидобувному регіоні. Для збереження великих територій та проблемних об'єктів, інженерних споруд необхідно створення геоінформаційних моніторингових центрів із застосування апаратних засобів, ГНСС приймачів, високоточних роботизованих електронних тахеометрів, цифрових інклінометрів, акселерометрів, систем екстреного он-лайн сповіщення та вимірювання резонансних частот, обліку метеорологічних і інших даних та інформаційного забезпечення.

**Наукова новизна:** з метою підвищення безпеки гідротехнічних споруд на ГЕС впроваджуються автоматизовані системи контролю їх стану, що є складовою частиною системи забезпечення безпеки гідротехнічних споруд.

**Практична значимість:** економічність та рентабельність застосування автоматизованої системи деформаційного моніторингу – АСДМ для створення єдиного геоінформаційного простору в Україні та Криворізькому гірничовидобувному регіоні має велике значення для безпечності і запобігання екологічних та інших катастроф.

**Результати:** створення системи моніторингу має враховувати структуру та вимоги до інформаційних ресурсів, технічне, програмне забезпечення, обґрунтування технологічних процесів, математичні методи аналізу, моделювання та прогнозування деформаційних процесів. Виконання аналізу отриманих результатів передбачає моделювання деформаційних процесів та прогнозування стану території довкілля для оперативного реагування на небезпечні зміни, формування аналітичної звітної та іншої документації та розроблення вимог щодо удосконалення та змін в системі моніторингу. Проектування системи моніторингу має здійснюватись на основі загальноприйнятих інструментальних ГІС та систем керування базами даних з функціями підтримки геопросторових даних згідно з міжнародними стандартами. Економічність та рентабельність таких рішень має велике значення для безпечності і запобігання екологічних та інших катастроф.

**Ключові слова:** моніторинг, геоінформаційна система, гірничовидобувний регіон, геологічні процеси, деформація, ГНСС приймач, електронний тахеометр, рентабельність, антропогенні властивості.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-3-7

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Проблеми, що зв'язані з масштабними інженерно-технічними спорудами, їх експлуатації, запобіганню виникнення надзвичайних ситуацій та ліквідації їх наслідків, збереження природного середовища та раціонального природокористування потребують постійного організаційного, методичного та технічного удосконалення їх вирішення. Особливо, це відноситься до геолого-техногенних систем, що зв'язані з добуванням корисних копалин відкритим та закритим способами та їх переробкою.

В першу чергу вирішення потребують задачі розроблення системи постійного моніторингу за станом інженерних споруд, моделювання, прогнозу та впливу їх на довкілля з метою прийняття управлінських рішень щодо дотримання вимог екологічної безпеки; методики виконання спостережень та технічних засобів для спостереження деформаційних процесів. Для вирішення цих завдань слід виконати аналіз та дослідження можливостей існуючих систем моніторингу з урахуванням використання сучасних засобів вимірювання.

**Постановка завдання.** Метою цієї роботи є обґрунтування вимог з врахуванням специфіки інженерних споруд щодо створення постійно діючої автоматизованої системи деформаційного моніторингу – АСДМ, яка є комплексом апаратно-програмних засобів, що включає в себе сучасне геодезичне обладнання, комунікаційну апаратуру, комп'ютерне обладнання, а також програмне забезпечення для управління засобами збору та обробки даних, візуалізації визначених параметрів, аналізу результатів і формування звітів і повідомлень. АСДМ повинна бути доповнена

набором цифрових датчиків, встановлених в критичних точках елементів конструкції споруди - інклінометри, акселерометри, системи вимірювання резонансних частот, обліку метеорологічних та інших даних.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Застосування автоматизованої системи геодезичного моніторингу деформацій дозволяє оперативно контролювати стан споруди, горизонтальні та вертикальні зміщення, крени і прогини, що виникають в результаті впливу зовнішніх природно-кліматичних впливів, а також інтенсивного навантаження. Важливою функцією системи також є миттєве оповіщення співробітників служби експлуатації споруди та служби швидкого реагування (поліція, служби порятунку та ін.) Про потенційно небезпечній ситуації в разі перевищення допустимих деформацій конструкції. Це збільшує ступінь безпеки життєдіяльності та дозволить уникнути важких наслідків в разі надзвичайної ситуації.

У межах проекту вдосконалення роботи гідроелектростанцій в Україні, фахівці створили автоматизовану систему деформаційного моніторингу – АСДМ, до складу якої входять: роботизовано електронні тахеометри, ГНСС приймачі, інклінометри, працюючі синхронно, і передавальні результати спостережень в єдиний центр обробки даних. Основна ідея системи моніторингу полягає в інтеграції різних компонентів геодезичних вимірювань для досягнення максимальної точності і надійності результатів. З метою підвищення безпеки гідротехнічних споруд на ГЕС впроваджуються автоматизовані системи контролю їх стану, що є складовою частиною системи забезпечення безпеки гідротехнічних споруд [1-3].

Протягом 2001-2009 років впроваджено Автоматизовані системи контролю безпеки гідротехнічних споруд на Київській, Кременчуцькій та Каховській ГЕС, що дало можливість щохвилини в режимі он-лайн забезпечити контроль стану споруд на високому технічному рівні, така ж технологія застосована на Дністровській ГЕС, Канівській ГЕС, Дніпровській ГЕС, Кам'янській ГЕС. Проект здійснювався за кредитні кошти Світового Банку.

Автоматизована система моніторингу надсилає результати добових ГНСС-спостережень. Для проведення обробки результатів вимірювань, отриманих системою автоматизованого деформаційного моніторингу, в програмному пакеті необхідно знати найстабільніші пункти мережі, тобто необхідно визначити просторові положення пунктів на епоху відповідного циклу спостережень з урахуванням зміщення всіх пунктів мережі і вибрати найбільш стабільні пункти. Для цього, використовуючи величини проекцій вимірюваних векторів на відповідні координатні осі  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ , для кожного повторного циклу спостережень виконано врівноваження параметричним методом. За цими даними знайдено середні квадратичні відхилення проекції вектора між всіма пунктами від його середньої величини. Також обчислено ненормовані і нормовані кінематичні коефіцієнти для кожного пункту, величини яких свідчать стабільність пунктів. За величинами середньо вагових зсувів по осях координат кожної пари пунктів з урахуванням кінематичних коефіцієнтів знайдено середньо ваговий зсув усієї мережі, викликаний її деформацією, зміщення середньої висоти мережі за результатами врівноваження і кінцеві зміщення пунктів, викликані деформацією мережі. За результатами врівноваження кожного циклу отримані середні квадратичні похибки (СКП) визначення координат з урахуванням похибок вимірювань і похибок моделювання кінематики пунктів. Отримані результати використані для визначення найстабільніших пунктів мережі.



Рис. 1. Мережа ГНСС спостережень

Отримані загальні зміщення пунктів відносно першого циклу спостережень та середньоквадратичні похибки просторового положення пунктів з урахуванням похибок вимірів і похибок кінематики мережі. Максимальні зміщення складала на пунктах АСР1, МР3 (рис. 1), зміщення на інших визначались незначними величинами. Методика визначення СКП мережі, що викликано її деформацією та похибками вимірів, дає змогу проводити аналіз стійкості пунктів з врахуванням кінематики кожного пункту, а також вибирати найстабільніші пункти мережі. Застосування цієї методики дає змогу використовувати спеціалізоване програмне забезпечення

для опрацювання результатів, одержаних системою автоматизованого моніторингу [4].

У подальшому планувалось встановити автоматизовану систему деформаційного моніторингу – АСДМ в Криворізькому регіоні (рис. 2), робота в цьому напрямку почала вестись з 2012 року, коли українська делегація на чолі з провідними науковими спеціалістами Криворізького національного університету відвідала головний офіс Leica Geosystems в Швейцарії та був підготовлений меморандум спільної співпраці цьому напрямку наукової та технічної діяльності заради попередження екологічної та інших катастроф [5-6]. Передумовами цього послужили загальні обставини в регіоні.

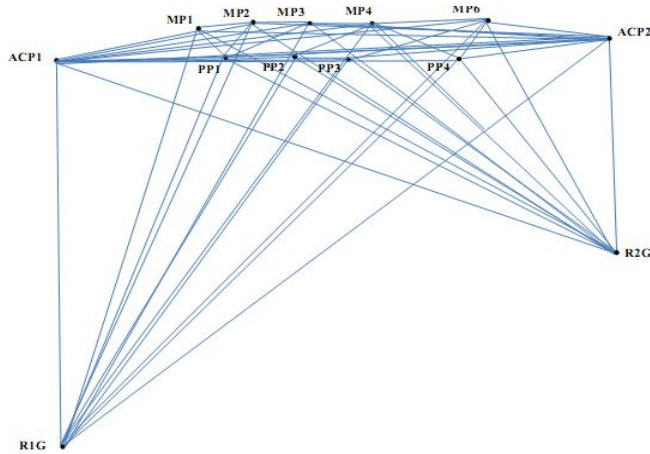


Рис. 2. Криворізький регіон

Геологічні процеси обчислюються мільйонами років, в результаті такої активності отримуємо катастрофи антропогенної властивості, здатні забрати багато сотень тисяч людських життів і завдати народному господарству непоправних втрат. Як доказ такий техногенно-насичений регіон, як південний схід України, Кривий Ріг. Саме тут протягом понад двох століть із надр було «вийнято» близько трьох мільярдів тон багаті руди і в десятки разів більше залістих кварцитів. Нині у порівнянні

з минулим темпи видобутку корисних копалин вирости в рази. Тільки за останні десятиліття підприємства ГМК міста переробили понад 480 млн. тонн залізної руди [7-9]. В результаті регіон отримав ряд серйозних екологічних проблем, до яких можна віднести порушення гідродинамічного режиму підземних вод, забруднення поверхневих вод, ґрунту, атмосферного повітря. До цього варто додати істотні зміни геологічних, гідрогеологічних та гідрологічних станів навколишнього середовища. Причин безліч: шахти, кар'єри, знамениті криворізькі відвали і шламосховища (рис. 3), які тиснуть на поверхню, скидання в місцеві річки щорічно до 30 млн. м<sup>3</sup> високо-мінералізованих вод. Сучасний стан цієї системи такий, що Кривий Ріг буквально висить над безоднею.



Рис. 3. Фрагмент руїн шламосховища м. Кривий Ріг на космічному знімку

Для вирішення цієї проблеми необхідно створення єдиної системи моніторингу АСДМ (рис. 4) для Криворізького залізорудного регіону, Полтавського ГЗК і Нікопольського марганцево-рудного басейну, в рамках якої повинно бути розроблено:

- нормативно-правова та методична база функціонування системи;
- технічний проект та обґрунтування створення геодезичної основи, місць розміщення деформаційних марок та датчиків, технології, точності та періодичності вимірів, методів обробки інформації;

- технічний проект на створення системи моніторинга, баз геоінформаційних ресурсів та даних періодичних спостережень;

геоінформаційна система обліку та підтримки інформаційних ресурсів, аналізу, моделювання, планування та прогнозування стану довкілля для оперативного реагування на небезпечні зміни, формування аналітичної звітної документації тощо;  
 технічні вимоги до структури, складу та форматів електронних документів для обміну між суб'єктами системи;  
 процедури обміну інформацією з іншими системами моніторингу та кадастрів[10].

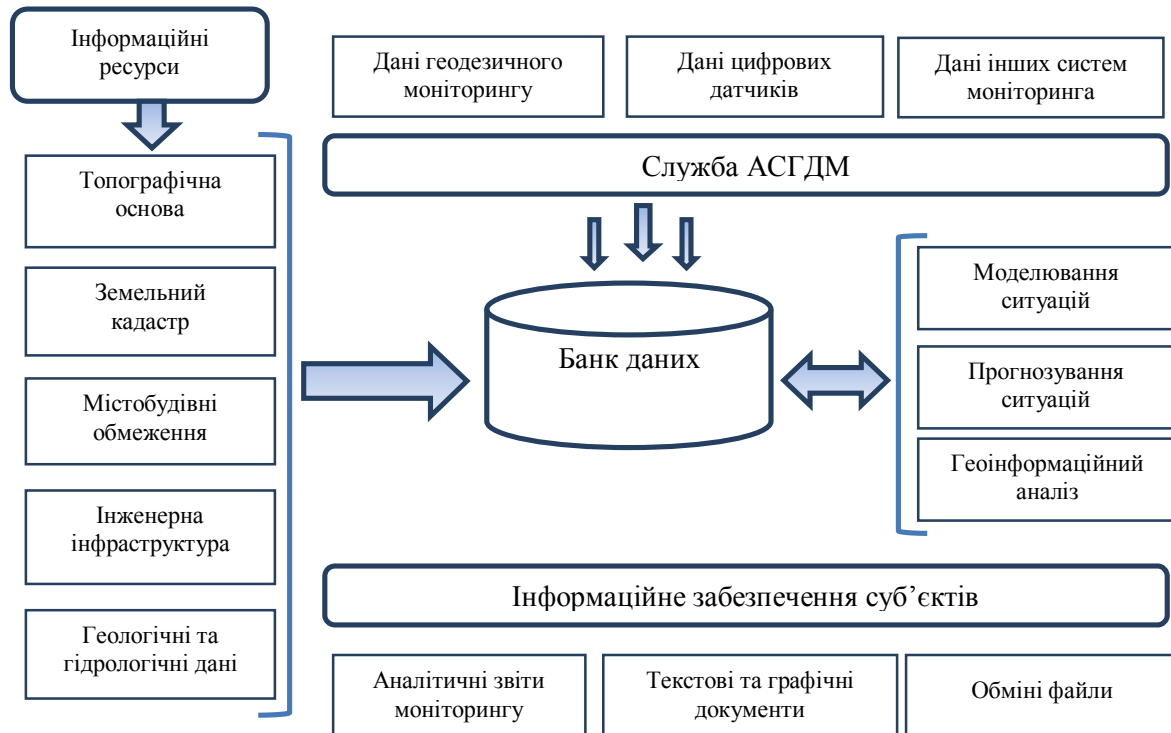


Рис. 4. Узагальнена схема системи АСДМ

**Висновок.** Наведені сучасні методи та технології показали доцільність і необхідність застосування автоматизованої системи деформаційного моніторингу – АСДМ для створення єдиного геоінформаційного простору в Україні та Криворізькому гірничовидобувному регіоні. Для збереження великих територій та проблемних об'єктів, інженерних споруд необхідно створення геоінформаційних моніторингових центрів з застосування апаратних засобів, GNSS приймачів, високоточних роботизованих електронних тахеометрів, цифрових інклінометрів, акселерометрів, систем екстреного он-лайн сповіщення та вимірювання резонансних частот, обліку метеорологічних і інших даних та інформаційного забезпечення. Економічність та рентабельність таких рішень має велике значення для безпечності і запобігання екологічних та інших катастроф.

#### Список літератури

1. Шульц Р.В., Анненков А.А., Терещук А.И. Архитектура современных систем мониторинга на базе GNSS-технологий / Инженерные изыскания, №2-3, 2014
2. Ковтун В.Я., Застосування нової гіроскопічної насадки GYROMAX АК-2М фірми GMT для виконання орієнтування в підземних умовах / М.В. Білоус., В.Я. Ковтун., С.В. Марчук., О.Д. Рошин, І.С. Тревого // Сучасні досягнення геодезичної науки і техніки (I). - 2009. – С. 141-143.
3. Кемниц Ю.В. Теория ошибок измерений / Ю.В. Кемниц. – М.: Недра, 1967. - 178 с.
4. Neuhierl T. How to Transfer Geodetic Network Orientation through Deep Vertical Shafts – An Inertial Approach / T. Neuhierl, K. Schnädelbach, T.A. Wunderlich, H. Ingensand, A. Ryf/ - XXIII FIG Congress Munich, Germany, October 8-13, 2006. – 12 p.
5. Сидоренко В.Д., Куліковська О.Є., Чумак С.С. Использование информационного центра маркшейдерско-геодезического обеспечения для контроля состояния окружающей среды Криворожского региона / Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. Кременчук, 2002 (13)- с. 61-65.
6. Сайт гео-приладів [Електронний ресурс].–Режим доступу : [http://ugm.com.ua/index.php?dispatch=categories.view&category\\_id=184](http://ugm.com.ua/index.php?dispatch=categories.view&category_id=184)
7. Gutman G. et al. (eds.) Land Change Science. Kluwer Academic Publishers. – 2004. С. 367–377.
8. Зацерковний В.І. Використання геоінформаційних технологій в екологічному моніторингу Чернігівської області / В.І. Зацерковний, С.В. Кривоберець, Ю.С. Сімакін // Аграрний вісник Причорномор'я. Технічні науки. – Оде-

са: ОДАУ, 2009. – Вип. 51. – С. 82–86.

9. Земельний кодекс України. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/2768-14/print1359097722408914>.

10. Міністерство екології та природних ресурсів України. Інформаційно-аналітичний центр Державної системи моніторингу довкілля [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ecobank.org.ua/About/Pages/InformationScheme.aspx>

11. Ковтун В.Я., Войтенко С.П. Тенденції використання багатомірного розподілу при аналізі результатів геодезичних вимірювань / Інженерна геодезія. Науково-техн. збірник -2008 р. - Вип. 54. – с. 27-31.

Рукопис подано до редакції 26.04.2018

УДК 691.175; 69.04

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф., Д.В. ПОПРУГА, Є.В. ЛЮЛЬЧЕНКО, кандидати техн. наук, доценти, К.В. ЧОРНА, аспірант, Криворізький національний університет

## ВИЗНАЧЕННЯ ПРОГИНІВ ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ АРМОВАНИХ СКЛОПЛАСТИКОВОЮ І МЕТАЛЕВОЮ АРМАТУРОЮ

**Мета.** Метою роботи є аналіз прогинів дослідних балок армованих склопластиковою і металевою арматурою.

**Методи дослідження.** Математичне моделювання дослідних зразків у розрахунково-обчислювальному комплексі SCAD Office в лінійній постановці з урахуванням об'ємного напруженого стану.

**Наукова новизна.** Визначені деформації нормального перерізу дослідних балок в залежності від матеріалу робочої арматури, а при комбінованому армуванні - відсотка склопластикової та металевої арматури.

**Практична значимість.** Отримані результати можуть бути використані при проектуванні та виготовленні згинальних будівельних конструкцій армованих склопластиковою арматурою.

**Результати.** При використанні в якості робочої арматури склопластикової арматури 3Ø10 АКС 800, аналогічного діаметра з металевою 3Ø10 А 400С, відбувається збільшення деформацій прогинів на 7,74 %. Збільшення площі розтягнутої склопластикової арматури на 23,43 % призводить до зниження деформацій прогинів до рівня 6,45 %, тобто на 16,7 % менше у порівнянні з 3Ø10 АКС 800. При збільшенні площі розтягнутої склопластикової арматури на 77,83 % відбувається зниження деформацій прогинів до рівня 4,90 %, тобто на 36,7 % менше у порівнянні з 3Ø10 АКС 800.

Зменшення площі робочої склопластикової арматури, за рахунок включення в розтягнуту зону металевого стежня Ø10 А400С, призводить до зменшення деформацій прогинів дослідних балок на 36-36,7 % у порівнянні з балками, що мають суцільне композитне армуванням розтягнутої зони.

Більш значні прогини балок армованих у розтягнутій зоні склопластиковою арматурою і комбінованим армуванням, у порівнянні з металевим армуванням, пояснюються модулем пружності склопластикової арматури, який приблизно в чотири рази менший за аналогічний показник металевої арматури.

Розвиток подальших досліджень буде спрямовано на моделювання напружено-деформованого стану балок з урахуванням фізичної нелінійності матеріалів.

Проведення натурального експерименту і порівняння отриманих результатів з аналітичними даними, дозволить вдосконалити існуючу методику розрахунку будівельних конструкцій армованих композитною арматурою.

**Ключові слова:** склопластиковою арматура, деформації, прогин, переріз, навантаження, вузол, модуль пружності.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-7-12

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Композитна арматура набуває широкого застосування у будівельній галузі України. Фізико-механічні властивості композиту дозволяють частково або повністю замінити сталеву арматуру. Однією з основних переваг цього матеріалу є висока корозійна стійкість, що дає змогу збільшити період експлуатації бетонних конструкцій, які піддаються впливу агресивного середовища [1-3,5-6].

Найбільше поширення скло- і базальтопластиковою арматура набула у конструкціях, що працюють на пружній основі, наприклад, фундаментах [1-3]. В згинальних будівельних конструкціях її використання обмежене, оскільки модуль пружності композиту значно менший ніж у металевої арматури [1-3,9,13].

Визначення необхідних передумов використання композитної арматури в згинальних елементах є актуальним завданням, що дозволить значно розширити сферу її використання і зменшити кошторисну вартість будівництва.

Наукове дослідження проводиться в рамках науково-дослідної роботи НР/П-81-17 (РК№ 0118U000118) "Дослідження роботи склопластикової арматури в згинальних елементах