

ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ДЕФОРМАЦІЙ МЕТОДОМ РАДАРНОЇ ІНТЕРФЕРОМЕТРІЇ

Бурак К. О.
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри інженерної геодезії

Ковтун В. М.
асистент кафедри інженерної геодезії

Дорош Л. І.
аспірант кафедри інженерної геодезії
*Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу
м. Івано-Франківськ, Україна*

Пакшин М. Ю.
начальник відділу обробки даних ДЗЗ
в інтересах економіки, екології
та аграрно-промислового комплексу

Ляска І. І.
начальник групи обробки інформації ДЗЗ
*Центр прийому і обробки спеціальної інформації
та контролю навігаційного поля
с. Залісці, Хмельницька область, Україна*

Супутникові дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) широко використовуються для дослідження земної поверхні. Одним із методів визначення деформаційних процесів земної поверхні на великих територіях є технологія радарної інтерферометрії (InSAR – Interferometric Synthetic Aperture Radar) [1; 2]. Це сучасна форма аналізу даних ДЗЗ, що дає змогу з визначати динаміку об'єктів (зсуви, геодинамічні переміщення, деформації споруд чи земної поверхні тощо).

Радіолокаційні дані мають ряд переваг: радіолокатор з синтезованою апаратурою (РСА) може «бачити» крізь хмарний покрив і в темний час доби, володіє високою роздільною здатністю, дозволяють оперативно отримувати інформацію про земну поверхню [3].

Нормативні документи, які встановлюють необхідність виконання геодезичного моніторингу при будівництві та експлуатації будівель і споруд [4] та методи і точність геодезичних вимірів при моніторингу [5], не передбачають використання методів радарної інтерферометрії, хоча вони мають безперечні переваги перед традиційними методами, а саме: в оперативності, вимагають набагато менших трудовитрат і відповідно їх

вартість нижча. Тому метою виконаних досліджень було встановлення можливостей використання радарних інтерферометричних методів для геодезичного моніторингу.

Для оцінки точності визначення деформацій будівлі було обрано корпусу № 5 Івано-Франківського національного університету нафти і газу (ІФНТУНГ), якому понад 50 років. З практики відомо, що найбільші осідання споруд відбуваються в період перших п'яти років від здачі в експлуатацію. В силу того, що корпус № 5 ІФНТУНГ було зведено на стійких та надійних ґрунтах, а саме на гравійній подушці, можна стверджувати, що обрана для досліджень будівля є стійкою та надійною.

Розрахунок зміщень проводився з використанням інтерферометричного опрацювання масиву даних з 30 радіолокаційних знімків з КА Sentinel-1 за період 11.11.2015 – 24.10.2016 у відділі обробки інформації ДЗЗ ЦПОСІ та КНП (Центр прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля). Інтерферометричне опрацювання реалізовувалося програмним комплексом SARscape (Exelis VIS, США), яке здійснювалося методами постійних відбивачів (PS).

Результатом опрацювання даних був векторний файл, що містив точки, які характеризують динаміку деформацій споруди. В цих точках алгоритм знаходив постійні стабільні відбивачі радарного сигналу, які є основними елементами у методі обробки радарних даних.

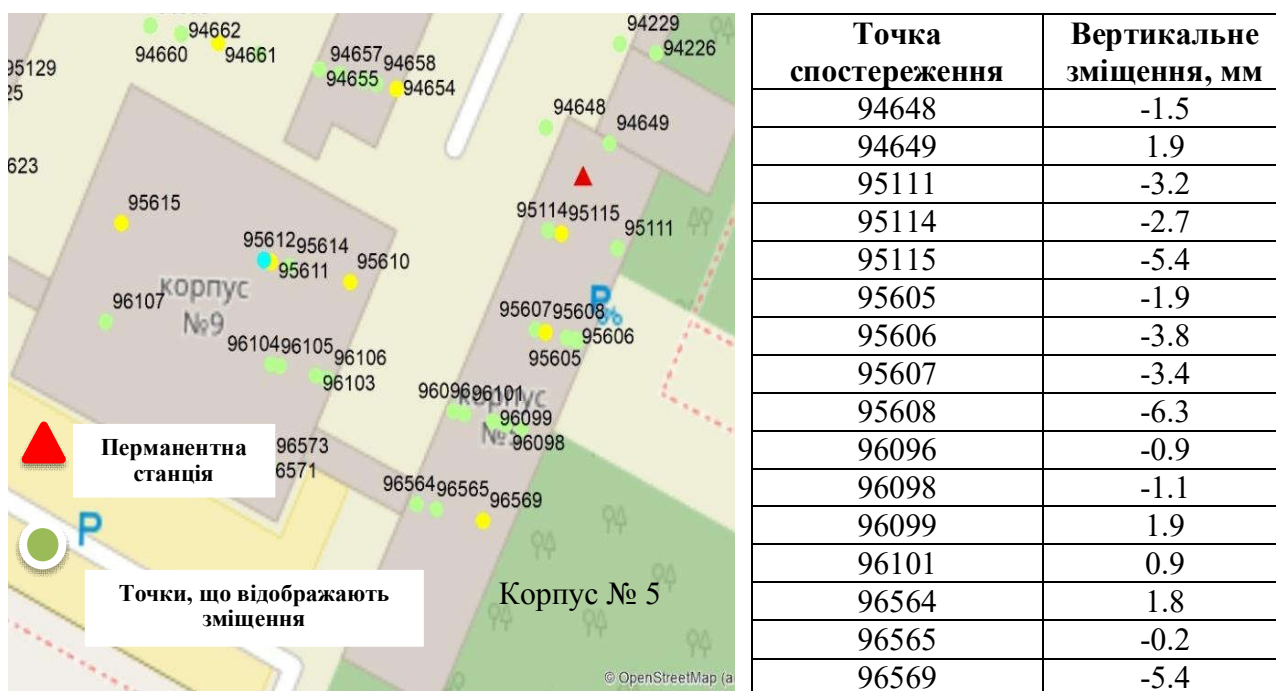


Рис. 1. Розміщення постійних стабільних відбивачів радарного сигналу та їх вертикальних зміщень

Розраховані вертикальні зміщення ІФНТУНГ між двома датами 11.11.2015 та 03.04.2016 за даними радарної інтерферометрії представлені в таблиці на

рис. 1. Для встановлення точності розробленого способу отримання вертикальних рухів, отримані результати досліджень були порівняні з даними постійної станції FRKV, яка входить в мережу постійних станцій System Solution.

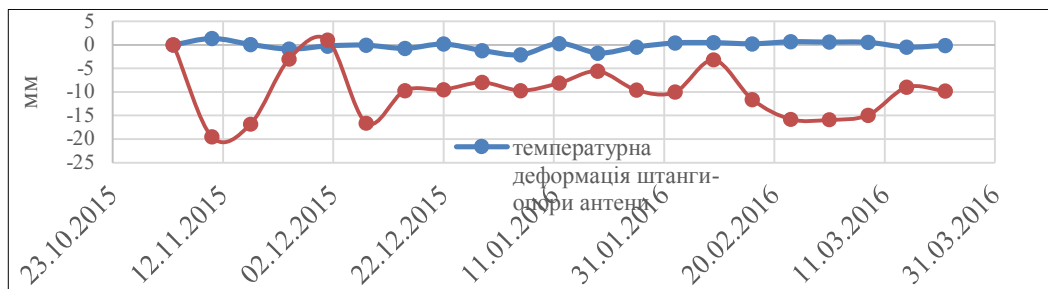


Рис. 2. Графік зміни висоти постійної станції FRKV та температурного розширення штанги-опори антени постійної станції

Проаналізувавши отримані дані були встановлені кореляційні зв'язки між температурним розширенням штанги та зміною висоти станції FRKV. Коефіцієнт кореляції Спірмена який характеризує не параметричні, криволінійні залежності становить $-0,517$, що вказує на середню залежність між змінами висоти станції і змінами температури.

На основі проведених досліджень осідання споруди за даними GNSS спостережень становило -9 мм. За даними радарної інтерферометрії осідання ближчих до антени точок, які спостерігались (95111, 95114, 95115) становило відповідно $-3,2$ мм, $-2,7$ мм та $-5,4$ мм тобто різниці не перевищують 10 мм.

Дані радарної інтерферометрії також були використані при оцінці геодинамічного стану території рудника «Хотінь» Калуш-Голинського родовища у період з 03.04.2016 по 31.10.2017 року – визначення місць концентрованих деформацій, проведення високоточної оцінки вертикальних зміщень даної території. На даній території над відпрацьованими площами шахтних полів розташовано понад півтисячі жилих будинків та магістральний газопровід. Необхідність проведення спостережень на такому екзогенно небезпечному об'єкті очевидна, саме тому перші серії вимірів традиційною методикою високоточного геометричного нівелювання проводилися на даному об'єкті з 1965 р. до 2010 р. і далі були припинені через відсутність фінансування.

Для обґрунтування необхідності їх негайного продовження було виконано інтерферометричне опрацювання серії супутникових радіолокаційних знімків, одержаних з космічного апарату Sentinel-1A та Sentinel-1B в програмному комплексі SARscape (Exelis VIS, США), яке здійснювалося методами постійних відбивачів (PS) та малих базових ліній (SBAS). Результати дослідження показані на рисунку 3.

На досліджуваній території зафіксовано три зони: стабільна зона, активна зона осідань з швидкістю $-6\text{мм} \div 20$ мм, границі якої чітко співпадають з мульдою зсуву, зумовленою підземними виробітками, та окремі пункти, з осіданнями до 40 мм.

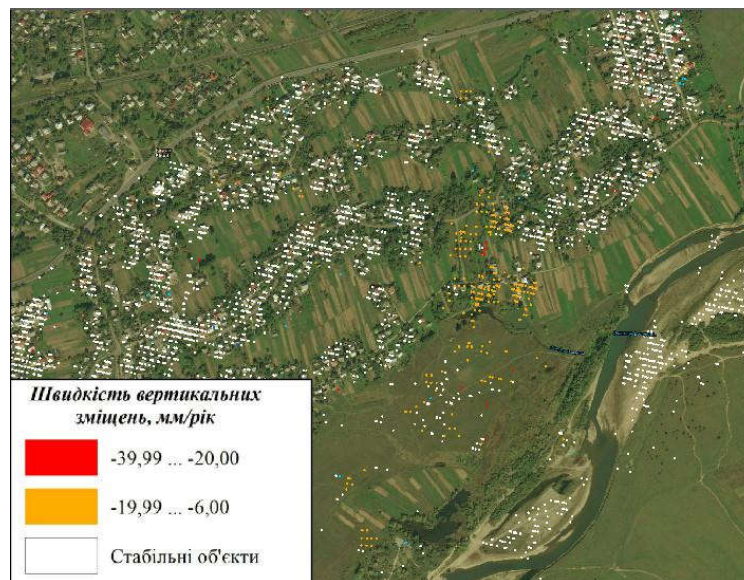


Рис. 3. Місця виявлення геодинамічних процесів за допомогою супутникової інтерферометрії

Наявність зони осідань, та її накладання з зоною впливу підземних розробок, переконливо свідчить про необхідність відновлення спостережень способом високоточного геометричного нівелювання.

Висновки.

1. Використання методу InSAR відкриває можливості оцінити зміщення земної поверхні або техногенних об'єктів з точністю до декількох міліметрів.

2. Переваги використання даного методу: мінімальні затрати часу і коштів, оперативність, швидкий збір картографічної інформації.

Література:

1. Ferretti A., Monti-Guarnieri A., Rrati C., Rossa F. InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation (TM-19, February 2007). ESA Publication, 2007. 48 p.

2. Ramon R.F. Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis. Kluwer Academic, 2001.

3. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / В. С. Верба, Л. Б. Неронский, И. Г. Осипов, В. Э. Турук. М.: Радиотехника, 2010.

4. ДБН В.1.3.-2:2010: Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. – К.: Мінрегіонбуд України – 2010. –70 с.

5. ДСТУ Б.В.2.1-XXX:201X: Грунти. Методи і вимірювання деформацій основ будинків і споруд. – К. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України – 201X. –53 с.

6. Method of Persistent Scatterer Pairs (PSP) and High Resolution SAR Interferometry / M. Costantini, S. Falco, F. Malvarosa et al. // IGARSS. 2009. № 3. P. 904–907.