

DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-2\(40\)-463-471](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-2(40)-463-471)

УДК 528.8.044.2

Денис Васильович Кухтар¹, Любов Ігорівна Дорош²¹кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри вищої геодезії та астрономії
Національного університету «Львівська політехніка» (Львів, Україна)E-mail: kukhtar3088@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2839-4318>

Scopus Author ID: 57203755866

²кандидат технічних наук, асистент кафедри геодезії та землеустрою

Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (Івано-Франківськ, Україна)

E-mail: liubov.dorosh@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2971-4034>

Scopus Author ID: 57210603240

МЕТОДИКА ОРІЄНТУВАННЯ НАЗЕМНИХ КУТОВИХ ВІДБИВАЧІВ ДЛЯ СУПУТНИКОВОГО РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ЗНІМАННЯ

Підготовка території для проведення моніторингу засобами супутникового радіолокаційного зондування розпочинається зі встановлення та орієнтування наземних кутових відбивачів у напрямку на супутник. Від правильності виконання цього етапу залежить надійність та ефективність супутникового радіолокаційного моніторингу. У роботі представлено покроковий алгоритм дій при розгортанні кутових відбивачів на місцевості, який передбачає проектування положення кутових відбивачів, розрахунок елементів орієнтування, методику їхнього встановлення та перевірку ефективності розгортання. Актуальні та необхідні для розрахунків дані отримано з онлайн-ресурсу *Heavens Above*, що надає у вільному доступі інформацію про ефемериди космічних апаратів. Оцінка інтенсивності зворотного розсіювання радіолокаційного сигналу в місці розгортання кутового відбивача виконувалась засобами онлайн-платформи для перегляду та аналізу супутникових знімків *Copernicus Browser*. Сформовані рекомендації та алгоритми є основою для формування нормативних документів та стандартів, які передбачатимуть встановлення на місцевості кутових відбивачів для супутникового радіолокаційного моніторингу.

Ключові слова: деформації; ефективна площа розсіювання; лінія візування супутника; SAR; Sentinel-1.

Рис.: 7. Табл.: 1. Бібл.: 14.

Актуальність теми дослідження. Одним із основних наземних компонентів супутникового радіолокаційного моніторингу є наземні кутові відбивачі. Це пасивні пристрої, завдяки яким забезпечується стабільне та інтенсивне відбиття радіолокаційного сигналу. Його конструкція зазвичай складається з трьох взаємно перпендикулярних металевих площин, що утворюють внутрішній кут 90°. Завдяки такій геометрії, електромагнітна хвиля, багаторазово відбивається від поверхонь і повертається в напрямку джерела випромінювання, тобто до супутника [1; 2]. При цьому кутовий відбивач забезпечує високу ефективну площу розсіювання (RCS – Radar Cross Section), що робить його надійною референсною ціллю для супутникового радіолокаційного моніторингу [3].

Потреба в таких відбивачах виникає при моніторингу деформацій земної поверхні на територіях із низькою когерентністю, що зазвичай вкриті рослинним покривом (наприклад, незабудовані території над шахтними полями [4; 5], зсувонебезпечні ділянки [Помилка! Джерело посилання не знайдено.] та ін.). Урбанізовані території та інженерні споруди забезпечують якісне й надійне відбиття радіолокаційного сигналу. Проте значення інтенсивності такого сигналу, отриманого із висхідної та низхідної орбіт супутника, може суттєво відрізнятися. Це, у свою чергу, знижує ефективність радіолокаційного моніторингу, кінцевою метою якого є розклад вектора деформацій на вертикальну і горизонтальну компоненти. Тому розгортання мережі наземних кутових відбивачів, які забезпечують підвищення інтенсивності сигналу відразу для висхідної та низхідної орбіт супутника, особливо актуально на інженерних об'єктах та спорудах (геодинамічні полігони, дамби гідроелектростанцій, підземні сховища газу та ін.).

Окремо варто виділити напрямок розроблення перманентних ГНСС станцій, які поєднують конструкцію пілона з кутовими відбивачами. Це дозволить виконувати сумісне опрацювання даних ГНСС-вимірювань та результати супутникового радіолокаційного моніторингу.

Для кожного з наведених прикладів важливо правильно встановити та зорієнтувати у просторі наземні кутові відбивачі, що забезпечить надійність та високу ефективність супутникового радіолокаційного моніторингу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Отриманий авторами практичний досвід розгортання наземних кутових відбивачів підтверджує ефективність застосованих алгоритмів розрахунку параметрів для орієнтування відбивачів на місцевості [Помилка! Джерело посилання не знайдено.]. Згідно з теоретичними розрахунками [6], наземний кутовий відбивач зі стороною внутрішнього ребра 1 м повинен забезпечувати підвищення інтенсивності зворотного розсіювання на 10 dB. Таких результатів було досягнуто при розгортанні трикутних кутових відбивачів на тестовому майданчику, на дамбі Теремле-Ріцької ГЕС та на навчально-науковому геодезичному полігоні Національного університету «Львівська політехніка» у м. Бережани [Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

При проєктуванні положення кутового відбивача важливо враховувати геометрію і режими знімання радаром супутника. Орієнтують відбивачі таким чином, щоб вони потрапляли у смугу зображення максимальної кількості радіолокаційних супутників. Таким чином кутовий відбивач буде відображатися на максимальній кількості радіолокаційних знімків. Для забезпечення можливості визначення векторів просторових деформацій, за результатами радіолокаційної інтерферометрії, необхідно застосовувати пару відбивачів, які орієнтують окремо для висхідної та низхідної орбіти [Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

Різноманітність форм та конструктивних рішень кутових відбивачів вимагає диференційованого підходу до методики орієнтування. При орієнтуванні на одну з орбіт (висхідну або низхідну), важливо встановити відбивач у напрямку візування супутника. Визначальним параметром для орієнтування відбивача в горизонтальній площині є азимут руху супутника. Відомо, що з урахуванням правостороннього орієнтування радару супутника, для території України азимуту орієнтування відбивача становлять близько 100° для низхідної орбіти та 260° – для висхідної. Таким чином різниця двох напрямків становить 160° .

Світова практика розгортання пунктів для радіолокаційного моніторингу передбачає поєднання двох окремих відбивачів із різницею напрямків центральної осі на 160° , а також використання одного кругового (багатогранного) відбивача, конструкція якого забезпечує різницю напрямків на 180° (рис. 1).

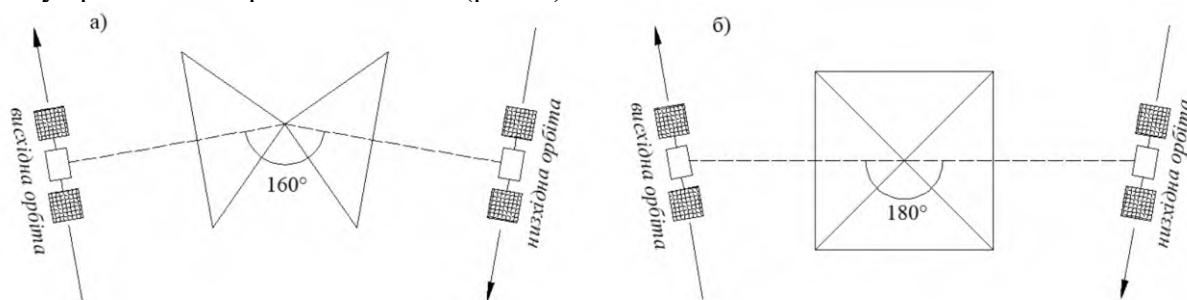


Рис. 1. Схема орієнтування на пункті пари кутових відбивачів (а) та багатогранного відбивача (б)

Джерело: розроблено авторами.

Незважаючи на відхилення центральних осей багатогранного відбивача від нормалей до висхідної та низхідної орбіт (рис. 1, б), така конструкція забезпечує необхідне підвищення інтенсивності розсіювання радіолокаційного сигналу при орієнтуванні в на-

прямку Схід-Захід [9]. На рис. 2 представлено вигляд кругового чотиригранного відбивача на дамбі Теремле-Ріцької ГЕС та графік інтенсивності розсіювання сигналу після його розгортання в липні 2023 р.

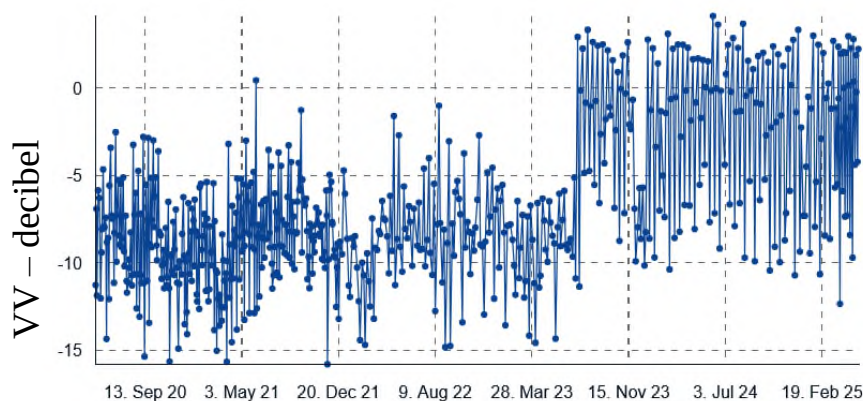


Рис. 2. Круговий чотиригранний кутковий відбивач з довжиною ребра 1,0 м, встановлений на дамбі Теремле-Ріцької ГЕС та графік інтенсивності зворотного розсіювання у місці його розгортання

Джерело: розроблено авторами.

Додатковою перевагою такого відбивача є його компактність у порівнянні з використанням пари відбивачів, що особливо актуально при встановленні на інженерних об'єктах та промислових конструкціях.

У межах виконання наукових проектів ДБ/ГЕОС «Аналіз впливу воєнних дій на просторові деформації Дністровського гідроенергетичного комплексу контактними та дистанційними методами» та «Комплексний моніторинг природних та техногенних незворотних деформаційних процесів території та критичної інфраструктури Рівненської АЕС», Інститутом геодезії НУЛП розроблено комплексний геодезичний пункт. Основне його призначення – об'єднувати в одній просторовій системі результати ГНСС-вимірів, супутникових радіолокаційних спостережень та геометричного нівелювання. Конструкція цього пункту передбачає встановлення двох окремих відбивачів для висхідної та низхідної орбіт супутника. Для цього необхідно точно розрахувати параметри орієнтування кожного із них. На рис. 3 представлено зображення комплексного геодезичного пункту. Трикутна рама для кріплення відбивачів забезпечує різницю напрямків у 160° для точного орієнтування на висхідну та низхідну орбіти супутника Sentinel-1.



Рис. 3. Комплексний геодезичний пункт:

*а – основа пункту з рамою для орієнтування відбивачів у потрібному напрямку;
б – пункт зі змонтованим відбивачем для супутникового радіолокаційного моніторингу*
Джерело: розроблено авторами.

Важливим питанням надійності результатів радіолокаційного моніторингу є не лише підвищення інтенсивності зворотного розсіювання сигналу в місці розгортання кутового відбивача, але і збереження отриманого значення впродовж усього періоду досліджень. Основною проблемою, яка спричиняє зниження значення інтенсивності сигналу, є затоплення відбивача дощовою водою, обледеніння, заповнення снігом. Тому світовий і вітчизняний досвід розгортання кутових відбивачів передбачає використання різноманітних захисних екранів [9; 11]. На рис. 4 представлено кутовий відбивач, встановлений на навчально-науковому геодезичному полігоні у м. Бережани, який оснащений захисним екраном із монолітного полікарбонату. Цей матеріал не перешкоджає проникненню та розсіюванню радіолокаційного сигналу, однак запобігає накопиченню опадів всередині відбивача.



Рис. 4. Трикутний кутовий відбивач із захисним екраном, встановлений у м. Бережани
Джерело: [Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

Проблема акумуляції опадів всередині відбивача частково вирішується за рахунок розміщення відбивачів на комплексному геодезичному пункті вниз одним із ребер (рис. 3, б). Таким чином, затоплення відбивача дощовою водою повністю виключається, а питання накопичення опадів у вигляді снігу може бути вирішене шляхом встановлення захисного екрана. Дослідження на комплексному геодезичному пункті показали достатнє підвищення інтенсивності зворотного розсіювання радіолокаційного сигналу (рис. 5).

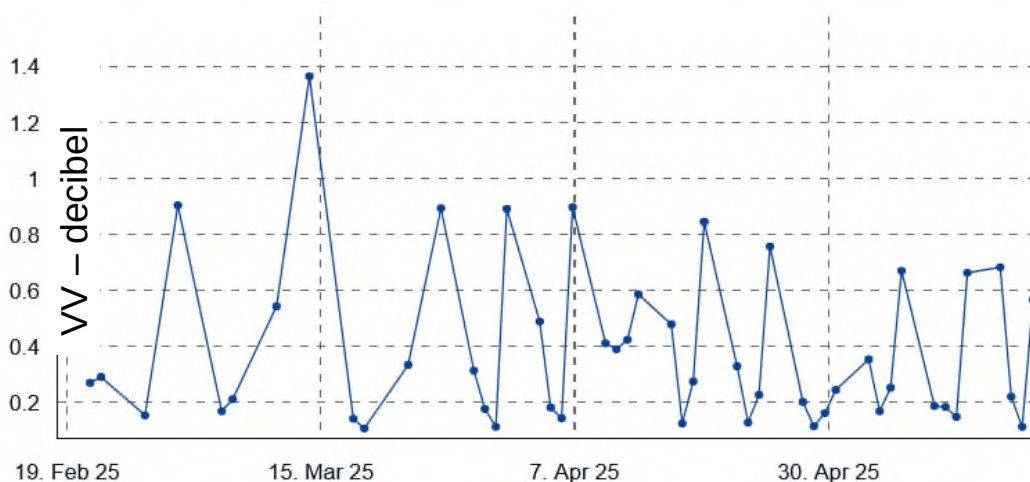


Рис. 5. Часова серія інтенсивності зворотного розсіювання у місці розгортання відбивача для комплексного геодезичного пункту (14.03.2025 р.)

Джерело: розроблено авторами.

З рис. 5 бачимо, що майданчик, де встановлювався відбивач, природно забезпечує достатньо високі значення розсіювання радіолокаційного сигналу. Проте на знімку від 14.03.2025 р. чітко спостерігається підвищення інтенсивності сигналу завдяки розгортанню кутového відбивача на момент спостереження.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. На сьогодні нормативні документи та стандарти щодо застосування даних супутникового радіолокаційного знімання не розроблені. Водночас є широкий запит на використання даних дистанційного зондування, зокрема радіолокаційного знімання, для геодезичного моніторингу інженерних об'єктів на техногенно навантажених територіях. Розбудова наземної інфраструктури для проведення такого моніторингу передбачає розгортання мереж кутových відбивачів з обґрунтованим підходом до вибору місць їхнього встановлення та орієнтування на місцевості.

Метою роботи є формування алгоритму розрахунку параметрів та методики орієнтування наземних кутových відбивачів для забезпечення максимальної ефективності відбиття радіолокаційного сигналу в умовах супутникового знімання.

Виклад основного матеріалу. Методика встановлення наземних кутových відбивачів на місцевості передбачає комплекс заходів пов'язаних з вибором місць встановлення, підбором оптимальної конструкції відбивача, правильним його орієнтуванням на місцевості та перевіркою ефективності його роботи.

Проектування положення відбивача.

При виборі місця для встановлення наземного кутového відбивача, або мережі відбивачів, необхідно забезпечити максимальне підвищення відбиваючої здатності радіолокаційного сигналу. Це досягається завдяки високому значенню ефективної площі розсіювання відбивача, що створює контраст у порівнянні з відбиваючою здатністю решти території. Від цього залежить ефективність роботи відбивача, надійність і точність результатів визначення деформацій.

Попередній аналіз відбиваючої здатності території рекомендується виконувати шляхом аналізу радіолокаційних знімків, отриманих відповідним супутником для висхідних та низхідних орбіт.

Найбільш сприятливими місцями для встановлення відбивачів є відкрита місцевість з невисоким рослинним покривом, відсутність високих споруд, будівель та дерев, які б обмежували видимість на супутник. Найбільш ретельно потрібно підходити до проектування положення відбивачів на промислових майданчиках, забудованій території та

кам'янистій місцевості, оскільки такі території мають високий рівень відбиваючої здатності. Найкраще розміщувати відбивачі на незабудовані території (наприклад, неподалік орних земель або на цілині). Таким чином буде забезпечений максимальний контраст відбивача щодо навколишньої території. Остаточний вибір місць встановлення кутових відбивачів виконується після польового рекогносрування місцевості.

Орієнтування наземних кутових відбивачів.

Для правильного розуміння елементів орієнтування кутового відбивача, розглянемо кілька теоретичних питань. Вісь симетрії кутового відбивача – це напрямок максимальної ефективної відбивної здатності, у якому тригранний відбивач найкраще відбиває радіохвилю назад до джерела. Вісь симетрії кутового відбивача, яка проходить точно під кутом 45° до кожної з двох суміжних граней тригранної конструкції. Саме вздовж цього напрямку максимізується інтенсивність зворотного сигналу, який отримує супутниковий радар. Щоб зорієнтувати відбивач на супутник, необхідно сумістити напрямки осі симетрії кутового відбивача (boresight) та напрямок лінії візування супутника (line-of-sight, LOS). Якщо ці два напрямки спрямовано не точно, тоді ефективність сигналу значно знижується.

1. Орієнтування відбивача на місцевості виконують таким чином, щоб його вісь симетрії була спрямована в напрямку положення супутника в момент знімання [Помилка! Джерело посилання не знайдено.]. На рис. 6 представлено схему орієнтування на прикладі тригранного трикутного кутового відбивача. Відомо, що вісь симетрії будь-якого кутового відбивача проходить під кутом 45° між вертикальними гранями та піднята на кут φ :

$$\varphi = \tan^{-1}(1/\sqrt{2}) = 35.26^\circ. \quad (1)$$

Тому для орієнтування відбивача у горизонтальній площині, вісь симетрії повертають від напрямку на північ на величину кута A (азимут спостереження супутника). Нижню грань відбивача підносять на кут θ відносно горизонтальної площини. Величина кута θ визначається як різниця висоти спостереження супутника ε та кута φ [12]:

$$\theta = \varepsilon - \varphi. \quad (2)$$

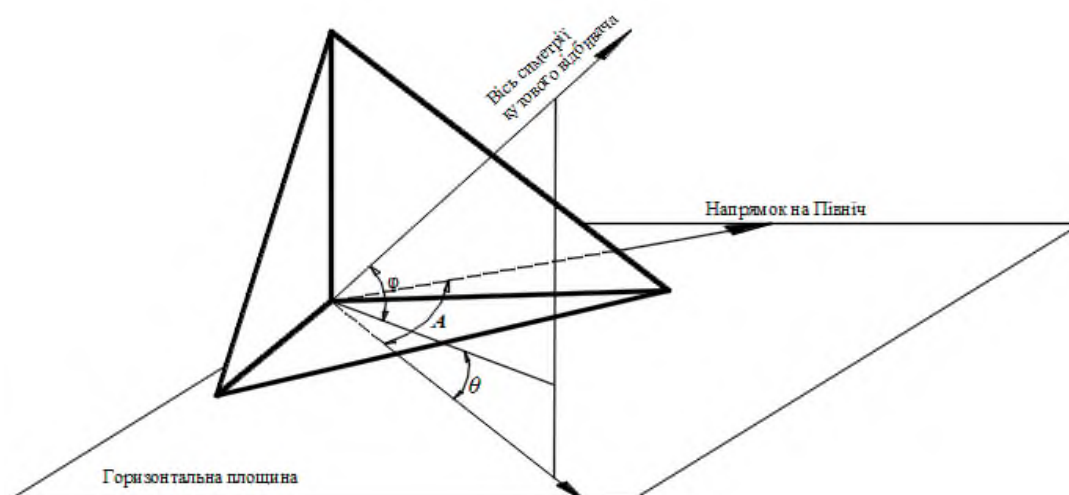


Рис. 6. Схема орієнтування кутового відбивача

Джерело: розроблено авторами.

2. Наступним кроком є визначення азимуту та висоти супутника в точці розгортання кутового відбивача. Актуальні та необхідні дані можна отримати з онлайн ресурсів чи створених застосунків, що надають у вільному доступі інформацію про ефемериди космічних апаратів та інших астрономічних об'єктів. Найпоширеніші з них: Heavens Above,

Celestia, See a Satellite Tonight, ISS Detector, Orbitron. Вхідними даними для визначення параметрів орбіти супутника є координати точки встановлення відбивача, час та дата проведення радіолокаційного знімання, назва супутника.

Параметри орбіти супутника Sentinel-1A визначено на основі даних онлайн ресурсу Heavens Above (heavens-above.com) [12] за наступним алгоритмом:

1. У вікні авторизації вказуємо місце розташування відбивача та місцевий час. Ресурс передбачає виконання пошуку локації за назвою населеного пункту, шляхом вибору місця на карті або введенням координат вручну.

2. Виконуємо пошук даних про необхідний космічний апарат. Для цього в меню «Супутники» переходимо на вкладку «База даних супутників» та обираємо супутник зі списку, за назвою або ідентифікаційним номером (для супутника Sentinel-1A №39634).

3. Переходимо за вкладкою «Усі прольоти». У результаті відображається список дат та деталі прольотів супутника над вибраною територією.

4. Обираємо зі списку дату та час проведення радіолокаційного знімання для отримання деталей наземної траєкторії прольоту супутника висхідною орбітою (табл. 1). Контролем правильності вибору значень є порівняння часу виконання радіолокаційного знімання (з метаданих знімку) та моменту проходження супутника на максимальній висоті в точці спостереження (табл. 1). Різниця не повинна перевищувати кількох секунд з врахуванням поправки між всесвітнім та місцевим часом.

Таблиця 1 – Деталі прольоту супутника Sentinel-1A над територією для розгортання наземного кутового відбивача

Подія	Час	Висота	Азимут	Відстань (км)	Яскравість	Висота сонця
Сходить	18:03:40	0°	181°(Пд)	3 063	9,0	1,7°
Досягає висоти 10°	18:05:59	10°	187°(Пд)	2 151	8,3	1,3°
Максимальна висота	18:10:31	47°	261°(З)	931	7,1	0,6°
Заходить нижче висота 10°	18:15:06	10°	335°(ПнПнЗ)	2 169	8,5	-0,1°
Заходить за горизонт	18:17:27	0°	342°(ПнПнЗ)	3 092	9,2	-0,5°

Джерело: розроблено авторами.

У табл. 1 представлено необхідні дані для розрахунку параметрів орієнтування відбивача, які зазначені в рядку «максимальна висота»: азимут на супутник $A=261^\circ$; висота супутника над горизонтом $\varepsilon=47^\circ$. Для цього прикладу, при орієнтуванні відбивача (за схемою на рис. 6), вісь симетрії спрямовують за азимутом $A=261^\circ$, а нижню грань відбивача підносять на кут $\theta = \varepsilon - \varphi = 47^\circ - 35,26^\circ = 11,74^\circ \approx 12^\circ$.

Перевірка ефективності розгортання відбивача.

Завершальним етапом є перевірка якості розгортання відбивача. Виконується за допомогою аналізу зміни інтенсивності зворотного розсіювання на радіолокаційних знімках. Для цього застосовують онлайн-платформи з можливістю перегляду даних радіолокаційного знімання. Дані супутника Sentinel-1A зручно аналізувати засобами платформи Copernicus Browser [14].

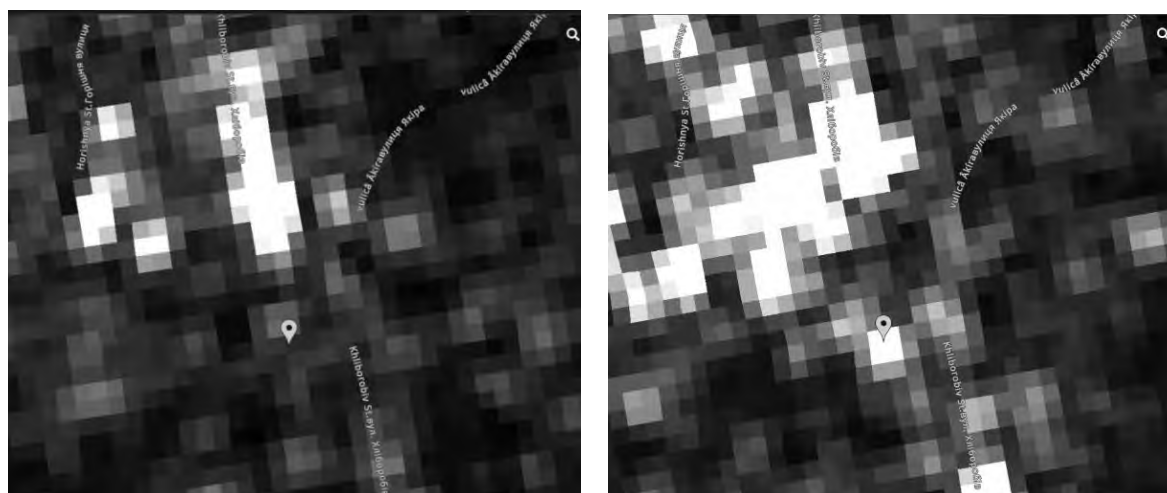


Рис. 7. Інтенсивність зворотного розсіювання на радіолокаційних знімках до та після розгортання наземного кутового відбивача

Джерело: розроблено авторами.

Додаткові інструменти Copernicus Browser дозволяють побудувати часовий ряд зворотного розсіювання, для точки де було встановлено відбивач. Таким чином можна проаналізувати ефективність розгортання кутового відбивача.

Висновки. Розгортання мережі наземних кутових відбивачів є необхідним та важливим етапом підготовки до проведення моніторингу як природних, так і техногенних геодинамічних процесів засобами супутникового радіолокаційного зондування. Від правильності орієнтування відбивачів на місцевості залежить подальша ефективність використання радіолокаційних даних. Сформований у статті алгоритм є не лише покроковою інструкцією для проектування положення наземних кутових відбивачів, методики їхнього орієнтування та перевірки ефективності розгортання, але й основою для формування нормативних документів та стандартів, які передбачатимуть виконання такого виду робіт.

Список використаних джерел

1. Doerry, A. (2008). *Reflectors for SAR performance testing*. (Nos. SAND2008-0396, 929123; SAND2008-0396, 929123). <https://doi.org/10.2172/929123>.
2. Banyai, L., Nagy, L., Hooper, A., Bozso, I., Szucs, E., & Wertztergom, V. (2020). Investigation of Integrated Twin Corner Reflectors Designed for 3-D InSAR Applications. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 17(6), 1013–1016. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2019.2939675>.
3. Garthwaite, M. C., Nancarrow, S., Hislop, A., Thankappan, M., Dawson, J. H., & Lawrie, S. (2015). Design of radar corner reflectors for the Australian Geophysical Observing System. *Geoscience Australia*, 3, 490.
4. Colombo, D. and MacDonald, B. (2015). Using advanced InSAR techniques as a remote tool for mine site monitoring. In *Proceedings of the International Symposium on Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering*. https://site.tre-altamira.com/wp-content/uploads/2015_InSAR_mine-site_monitoring.pdf.
5. Du, Y., Yan, S., Zhao, F., Chen, D. and Zhang, H. (2022). DS-InSAR Based Long-Term Deformation Pattern Analysis in the Mining Region With an Improved Phase Optimization Algorithm. *Front. Environ. Sci.* 10:799946. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.799946>
6. Piestova, I., Dugin, S., Orlenko, T., & Svideniuk, M. (2020). Assessing and forecasting landslide hazards of The Right Bank of the Kanev reservoir based on radar remote sensing data with corner reflectors using. *У XIV міжнародній науковій конференції "моніторинг геологічних процесів та екологічного стану довкілля"*. European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056082>.

7. Tretyak, K., Kukhtar, D., Prykhodko, M., & Yatsyk, V. (2023). Deployment technique of radar corner reflector for SAR observations. *Y International conference of young professionals «geoterrace-2023»*. European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510038>.
8. Garthwaite, M. (2017). On the design of radar corner reflectors for deformation monitoring in multi-frequency insar. *Remote Sensing*, 9(7), 648. <https://doi.org/10.3390/rs9070648>
9. Kukhtar, D., Hlotov, V., & Zayats, O. (2023). Geodesy, cartography, and aerial photography. *Geodesy, Cartography, and Aerial Photography*, 98,2023(98), 42–49. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2023.98.042>
10. Tzouvaras, M., Danezis, C., & Hadjimitsis, D. G. (2020). Differential SAR Interferometry Using Sentinel-1 Imagery-Limitations in Monitoring Fast Moving Landslides: The Case Study of Cyprus. *Geosciences*, 10(6), 236. <https://doi.org/10.3390/geosciences10060236>.
11. Crosetto, M., Gili, J. A., Monserrat, O., Cuevas-González, M., Corominas, J., & Serral, D. (2013). Interferometric SAR monitoring of the Vallcebre landslide (Spain) using corner reflectors. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(4), 923–933. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-923-2013>.
12. Liu, J., Li, T., Ma, S., Wen, Y., Xu, Y., & Nie, G. (2024). Analysis of the dihedral corner reflector's RCS features in multi-resource SAR. *Applied Sciences*, 14(12), 5054. <https://doi.org/10.3390/app14125054>.
13. Heavens Above (2023, March 01). *Satellite database*. <http://www.heavens-above.com>.
14. Copernicus Browser (2023, March 05). *Satellite database*. <https://browser.dataspace.copernicus.eu>.

References

1. Doerry, A. (2008). *Reflectors for SAR performance testing*. (Nos. SAND2008-0396, 929123; SAND2008-0396, 929123). <https://doi.org/10.2172/929123>.
2. Banyai, L., Nagy, L., Hooper, A., Bozso, I., Szucs, E., & Wesztergom, V. (2020). Investigation of Integrated Twin Corner Reflectors Designed for 3-D InSAR Applications. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 17(6), 1013–1016. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2019.2939675>.
3. Garthwaite, M. C., Nancarrow, S., Hislop, A., Thankappan, M., Dawson, J. H., & Lawrie, S. (2015). Design of radar corner reflectors for the Australian Geophysical Observing System. *Geoscience Australia*, 3, 490.
4. Colombo, D. and MacDonald, B. (2015). Using advanced InSAR techniques as a remote tool for mine site monitoring. In *Proceedings of the International Symposium on Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering*. https://site.tre-altamira.com/wp-content/uploads/2015_InSAR_mine-site_monitoring.pdf.
5. Du, Y., Yan, S., Zhao, F., Chen, D. and Zhang, H. (2022). DS-InSAR Based Long-Term Deformation Pattern Analysis in the Mining Region With an Improved Phase Optimization Algorithm. *Front. Environ. Sci.* 10:799946. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.799946>
6. Piestova, I., Dugin, S., Orlenko, T., & Svideniuk, M. (2020). Assessing and forecasting landslide hazards of The Right Bank of the Kanev reservoir based on radar remote sensing data with corner reflectors using. *Y XIV international scientific conference “monitoring of geological processes and ecological condition of the environment”*. European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056082>.
7. Tretyak, K., Kukhtar, D., Prykhodko, M., & Yatsyk, V. (2023). Deployment technique of radar corner reflector for SAR observations. *Y International conference of young professionals «geoterrace-2023»*. European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510038>.
8. Garthwaite, M. (2017). On the design of radar corner reflectors for deformation monitoring in multi-frequency insar. *Remote Sensing*, 9(7), 648. <https://doi.org/10.3390/rs9070648>
9. Kukhtar, D., Hlotov, V., & Zayats, O. (2023). Geodesy, cartography, and aerial photography. *Geodesy, Cartography, and Aerial Photography*, 98,2023(98), 42–49. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2023.98.042>
10. Tzouvaras, M., Danezis, C., & Hadjimitsis, D. G. (2020). Differential SAR Interferometry Using Sentinel-1 Imagery-Limitations in Monitoring Fast Moving Landslides: The Case Study of Cyprus. *Geosciences*, 10(6), 236. <https://doi.org/10.3390/geosciences10060236>.

11. Crosetto, M., Gili, J. A., Monserrat, O., Cuevas-González, M., Corominas, J., & Serral, D. (2013). Interferometric SAR monitoring of the Vallcebre landslide (Spain) using corner reflectors. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(4), 923–933. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-923-2013>.
12. Liu, J., Li, T., Ma, S., Wen, Y., Xu, Y., & Nie, G. (2024). Analysis of the dihedral corner reflector's RCS features in multi-resource SAR. *Applied Sciences*, 14(12), 5054. <https://doi.org/10.3390/app14125054>.
13. Heavens Above (2023, March 01). *Satellite database*. <http://www.heavens-above.com>.
14. Copernicus Browser (2023, March 05). *Satellite database*. <https://browser.dataspace.copernicus.eu>.

Отримано 30.05.2025

UDC 528.8.044.2

Denys Kukhtar¹, Liubov Dorosh²

¹ PhD in Technical Sciences, Doctoral student at the Department of Higher Geodesy and Astronomy, Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: denys.kukhtar@nunge.edu.ua, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2839-4318>

Scopus Author ID: 57210603240

² PhD in Technical Sciences, Assistant Lecturer at the Department of Geodesy and Land Management Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Ivano-Frankivsk, Ukraine)

E-mail: liubov.dorosh@gmail.com, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2971-4034>

Scopus Author ID: 57210603240

THE ORIENTATION METHOD OF TERRESTRIAL CORNER REFLECTORS FOR THE SATELLITE RADAR OBSERVATION

Preparation of the site for satellite synthetic aperture radar (SAR) monitoring commences with installation and precise orientation of ground-based corner reflectors directed towards the satellite. The accuracy of this initial phase critically determines reliability and efficiency of SAR-based monitoring. This study presents the detailed step-by-step algorithm for deployment of corner reflectors in the field. The procedure encompasses planning of the reflector placement, calculation of orientation parameters, methodology for physical installation, and subsequent verification of the deployment effectiveness. The input data required for calculations were obtained from the Heavens Above online platform, which provides open-access to the satellite ephemerides. The assessment of the radar-signal-backscatter-intensity at the reflector deployment at sites was performed using the Copernicus Browser – an online platform for visualization and analysis of satellite imagery. The developed methodological recommendations and deployment algorithms constitute a foundation for development of regulatory documents and standards governing installation of corner reflectors for the satellite SAR monitoring.

Keywords: deformations, radar cross section; satellite line of sight; SAR; Sentinel- 1.

Fig.: 7. **Table:** 1. **References:** 14.