

УДК 528.4

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-230-237

Сергій Крячок

МОНІТОРИНГ МІСЦЕВОСТІ ТА ВИСОТНИХ ПЕРЕШКОД У РАЙОНАХ АЕРОПОРТУ

Актуальність теми дослідження. На сьогодні в Україні введено нові авіаційні правила, які стосуються обслуговування аеронавігаційною інформацією. Правила враховують законодавство Європейського Союзу, документи Євроконтролю, Стандарти ІКАО стосовно точності, опрацювання та використання аеронавігаційних даних, складовими яких є дані про місцевість і перешкоди в районах аеропортів.

Постановка проблеми. Одним із чинників, що впливають на безпеку польотів цивільної авіації, є врахування перешкод на трасах перельотів у вигляді підвищень рельєфу та висотних об'єктів. Про це свідчать аварії та катастрофи повітряних суден, спричинені зіткненням із висотними перешкодами. Тому необхідно проводити моніторинг наземного простору в районах аеропорту для своєчасного виявлення перешкод для актуалізації електронної бази даних щодо місцевості та перешкод.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, які присвячені існуючим методам збирання геопросторових даних щодо визначення рельєфу місцевості та перешкод у районах аеропорту.

Виділення необхідних частин загальної проблеми. Аналіз наведених джерел дозволяє зробити висновок, що стосовно району І аеропорту, яким є територія держави, наведена суперечлива інформація щодо використання того чи іншого методу визначення рельєфу місцевості та перешкод.

Мета статті. Головною метою статті є аналіз методів моніторингу просторової інформації щодо місцевості та перешкод у районі І аеропорту з використанням радіолокаційних систем космічного базування, які б задовольняли вимоги ІКАО в цьому районі щодо ведення електронної бази даних про місцевість та перешкоди.

Виклад основного матеріалу. Наведено кількісні вимоги ІКАО щодо даних про місцевість та перешкоди в районі І аеропорту. Розглянуто похибки результатів супутникового радіолокаційного топографічного знімання (Shuttle radar topographic mission (SRTM), яке дозволило отримати цифрову модель рельєфу Землі. Похибки для території Євразії – де знаходиться Україна, склали 8,8 м у плані та 6,2 по висоті та мали роздільну здатність у вертикальній площині 1 м, а у горизонтальній площині – 30 м. Метод Permanent Scatterer SAR Interferometry PSInSAR – інтерферометрії стійких відбивачів із використанням радіолокаторів із синтезованою апертурою космічного базування дозволяє отримати точність стійких відбивачів (природних та техногенних об'єктів) у вертикальній площині близько 1 м та похибка визначення висот інших об'єктів місцевості складає 14 м. Нині методика PSInSAR застосовують для моніторингу осідання земної поверхні в містах, що дозволяє визначати деформації земної поверхні з точністю до міліметрів. Урунування супутників ДЗЗ: TerraSAR-X і TanDEM-X забезпечило глобальне покриття земної поверхні цифровою моделлю рельєфу з точністю за висотою не менше ніж 2 м. Просторове розрізнення становило близько 1 м. У 2020 році було виведено на навколоремну орбіту супутник із синтезованою апертурою радіолокаційного знімання Capella-2. Цей унікальний мікро супутник має масу 107 кг. Його знімальна апаратура має наразі надвисоку просторову роздільну здатність 50×50 см.

Висновки відповідно до статті. Сучасні методи супутникового радіолокаційного знімання дозволяють визначити планове та висотне положення об'єктів місцевості в районі аеропорту І (територія держави) з точністю та роздільною здатністю, яка відповідає вимогам ІКАО щодо ведення електронної бази даних про місцевість та перешкоди. Пропонується виконувати першу фазу моніторингу об'єктів місцевості на території держави за допомогою супутникового радіолокаційного знімання, а на другій фазі моніторингу залучати наземне обстеження – для уточнення атрибутивної інформації щодо об'єктів, виявлених на першій фазі.

Ключові слова: аеропорти; вимоги ІКАО; місцевість; перешкоди; радіолокаційні супутникові методи знімання.

Табл.: 1. Рис.: 5. Бібл.: 15.

Актуальність теми дослідження. Нині в Україні введено нові авіаційні правила, які стосуються обслуговування аеронавігаційною інформацією [1]. Правила враховують законодавств Європейського Союзу, документи Євроконтролю, Стандарти ІКАО (Міжнародної організації цивільної авіації) стосовно точності, цілісності, опрацювання та використання аеронавігаційних, складовими яких є дані стосовно місцевості та перешкод у районах аеропортів.

Постановка проблеми. Одним із чинників безпеки польотів цивільної авіації є врахування на трасах перельотів підвищень рельєфу та висотних об'єктів. Так, 9 грудня 2007 року поблизу аеропорту Жуляни (Україна) розбився літак Beechcraft King Air C90B. Причиною катастрофи стало зіткнення справного літака з висотною перешкодою, а в подальшому – із землею поверхнею. Пасажири та члени екіпажу загинули [2]. 24 березня 2015 року літак А320 авіакомпанії Germanwings, що летів маршрутом Барселона – Дюссельдорф, зазнав аварії в районі вкрай важкодоступного гірського масиву Труа-Евеше в Альпах Верхнього Провансу (Франція) [3].

З 1 січня 2020 року в Україні набрали чинності нові будівельні норми [4]. Цей нормативний документ застосовують для проєктування та будівництва висотних житлових споруд висотою до 100 м включно та громадських будівель висотою до 150 м включно та є дозвільним нормативним документом для висотного будівництва.

У таких умовах необхідно проводити моніторинг наземного простору в районах аеропорту для своєчасного виявлення перешкод та актуалізації електронної бази даних стосовно місцевості та перешкод у районах аеропорту [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У документі [6] ICAO наведено методи визначення рельєфу місцевості та перешкод у ближніх районах аеропорту. До них належать наземні геодезичні методи: прямі кутові засічки, прокладання теодолітних ходів, трикутників триангуляції – для визначення планового положення перешкод; геометричне та тригонометричне нівелювання – для визначення висот точок місцевості та перешкод. Застосовується також наземне фотограмметричне знімання та аерофотознімання. Крім того, добувати необхідну інформацію можна з існуючих топографічних карт місцевості у масштабах: 1:2500, 1:5000, 1:10000. Картографічний матеріал повинен коригуватись і періодично оновлюватись.

У дослідженні [7] рекомендовано виконувати технологію IFSAR (Interferometry Synthetic aperture radar) радіолокаційних інтерферометричних систем із синтезованою апертурою повітряного базування для створення цифрової моделі місцевості та наземного знімання – для виявлення перешкод у районі 1 аеропорту, яким є територія держави. Як носії знімальної апаратури використовуються літаки або гелікоптери. Стосовно застосування радіолокаційних знімальних систем космічного базування на час проведення дослідження не було виявлено достовірної інформації у відкритих джерелах [7].

У роботі [8] детально викладено інформацію стосовно відомих методів збирання геопросторових даних. У районі 1 дані про перешкоди надаються щодо перешкод заввишки більше 100 м над поверхнею землі [5; 9].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Аналіз наведених джерел дозволяє зробити висновок, що стосовно району 1 аеропорту, яким є територія держави, наведено суперечлива інформація щодо використання того чи іншого методу визначення рельєфу місцевості та перешкод.

Мета статті. Головною метою статті є аналіз методів моніторингу просторової інформації щодо місцевості та перешкод у районі 1 аеропорту з використанням радіолокаційних систем космічного базування, які б задовольняли вимоги ІКАО в районі 1 аеропорту.

Виклад основного матеріалу. Згідно з нормативним документом ІКАО [5] кількісні вимоги стосовно даних про місцевість та перешкоди в районі 1 аеропорту мають характеристики, наведені в таблиці.

Таблиця

Кількісні вимоги щодо даних про місцевість та перешкоди в районі 1

Інтервал між постами (для даних про місцевість)	Похибка у вертикальній площині	Роздільна здатність у вертикальній площині	Похибка у горизонтальній площині	Довірча ймовірність
3 с дуги (90 м)	30 м	1 м	50 м	90 %

Примітка. Період оновлення даних – за необхідності.

Під місцевістю розуміють «поверхню Землі з такими природними елементами, як гори, горби, хребти, долини, води, вічний лід, сніг, за виключенням перешкод» [5].

Перешкодами вважаються всі нерухомі (постійні або тимчасові) і рухомі об'єкти або частина їх, що: розташовані в зоні, яка призначена для руху повітряних суден по поверхні; або піднімаються над визначеною поверхнею, що призначена для забезпечення безпеки повітряних суден в польоті; або перебувають за межами цих визначених поверхонь і розцінюються, як такі, що небезпечні для повітряної навігації [5; 9].

Користуючись даними таблиці щодо точності та роздільної здатності, можна виконати підбір методів знімання місцевості та перешкод у районі 1 аеропорту.

Нині радіолокаційні знімання виконують із носіїв за допомогою радіолокаційних систем із синтезованою апертурою (Synthetic Aperture Radar) з використанням методу інтерферометрії, що дозволяє отримати дані про рельєф місцевості на великих територіях. Перевагами радіолокаційного знімання є можливість отримання зображень в умовах, коли об'єкти закриті хмарами, туманом, димовими завісами тощо та в будь-який час доби [8].

Так, було виконане радіолокаційне топографічне знімання більшої частини території земної кулі, за винятком самих північних, найбільш південних широт, а також океанів (рис. 1) [10].

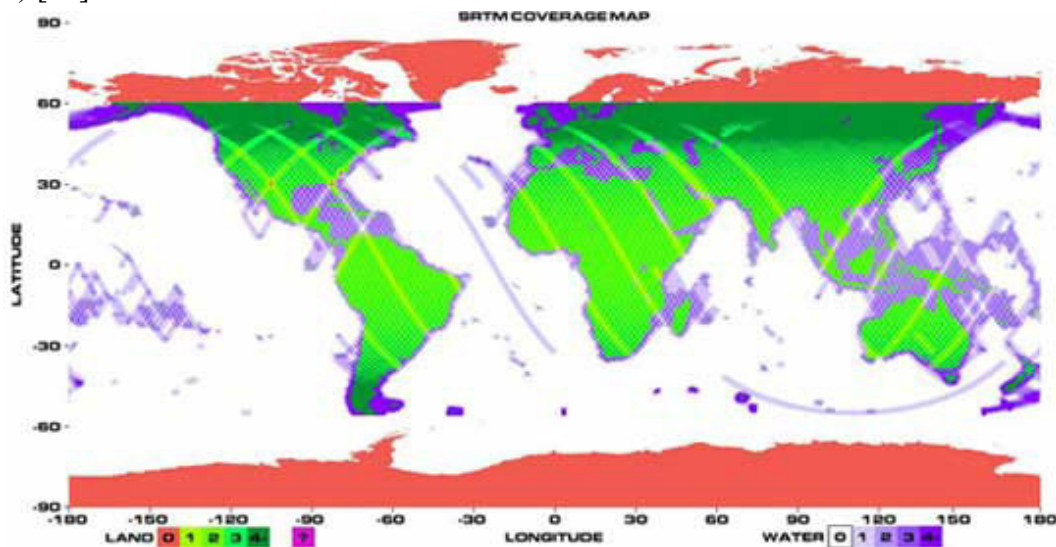


Рис. 1. Схема покриття зніманням SRTM поверхні Землі (позначення: Land 0-1-2-3-4; Water 0-1-2-3-4 сповіщають про кількість знімань ділянок земної чи водної поверхні)

Знімання тривало 11 днів у лютому 2000 р. та застосовувалась спеціальна радарна система, яка базувалась на космічному кораблі Space Shuttle. Двома радіолокаційними сенсорами SIR-C (Space borne Imaging Radar) і X-SAR (Synthetic Aperture Radar) - радарми із синтезованою апертурою космічного базування, які працюють у діапазонах радіохвиль 15-7,5 см (C) та 7,5-3,8 см (X) [10], було зібрано понад 12 терабайт даних про рельєф Землі. Місія дістала назву супутникового радіолокаційного топографічного знімання (Shuttle radar topographic mission (SRTM)) У підсумку була отримана цифрова модель рельєфу Землі. Точність цієї моделі коливалась залежно від території знімання. Так, найменша абсолютна похибка в плані становила 7,2 м – для території Австралії, а максимальна абсолютна похибка 12,6 м – для території Північної Америки. Максимальна абсолютна похибка по висоті дорівнювала 9 м для території Північної Америки, а мінімальна 5,6 м – для території Африки. Для території Євразії – де знаходиться Україна, такі похибки становили 8,8 м у плані та 6,2 м по висоті. Роздільна здатність у вертикальній площині становила 1 м, а роздільна здатність у горизонтальній площині – 30 м [10].

Різновидом радіолокаційної інтерферометрії є метод інтерферометрії стійких відбивачів з використанням радарів з синтезованою апертурою космічного базування (Permanent Scatterer SAR Interferometry – PSInSAR). У цьому методі як точкові стійкі відбивачі (pointwise permanent scatterers) використовуються споруди, будівлі, металеві предмети, пілони, антени, відкриті гірські породи (рис. 2), які мають високу відбивну здатність до радіохвиль і слугують стійкими відбивачами радіолокаційного сигналу впродовж сеансів спостережень, які періодично повторюються [11].

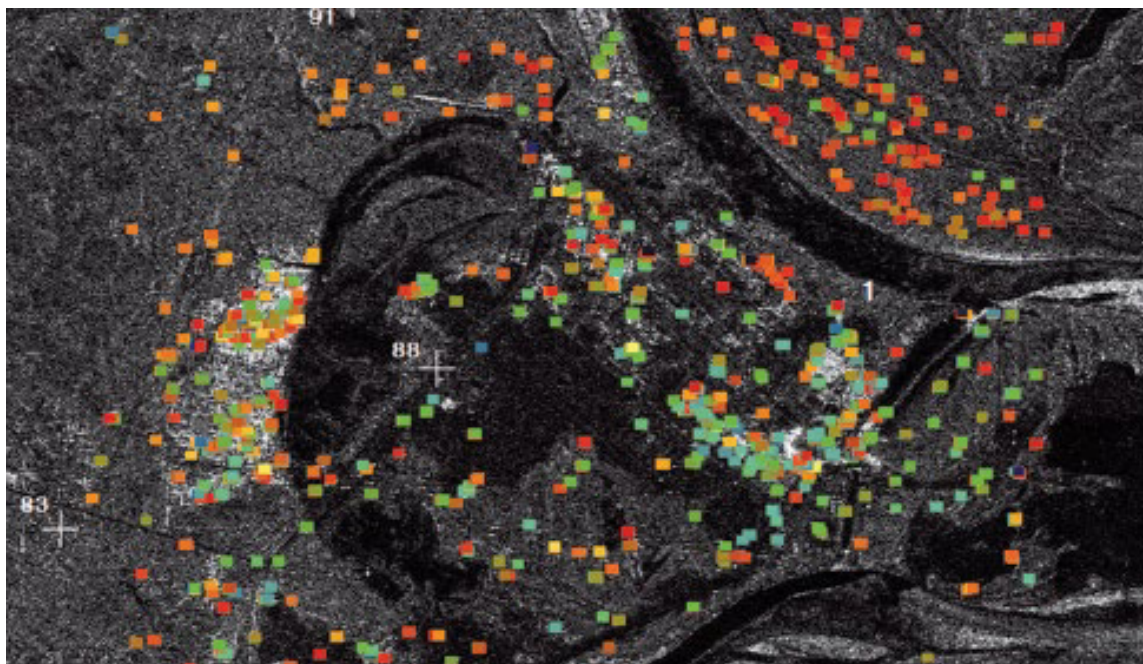


Рис. 2. Відображення природних і техногенних постійних відбивачів у вигляді прямокутників 1 на радіолокаційному знімку

У результаті використовують багато зображень, мінімум 20–25 знімків, що охоплюють ту саму територію, що підвищує точність визначень. Похибки в зображенні об'єктів місцевості за рахунок дії атмосфери та орбітальні похибки практично усунені [10]. Вказаним методом досягається точність стійких відбивачів у вертикальній площині близько 1 м [11], а похибка визначення висот інших об'єктів місцевості згідно з дослідженнями, наведеними у джерелі [12], становить 14 м. Нині методику PSInSAR застосовують для моніторингу осідання земної поверхні в містах, що дозволяє визначати деформації поверхні з точністю до міліметрів [11,12].

Відоме використання угруповання супутників дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) (рис. 3).



Рис. 3. Угрупування супутників ДЗЗ: TerraSAR-X і TanDEM-X

Так, сумісне використання супутника TerraSAR-X з радаром зі синтезованою апертурою, запущеного 15 червня 2007 року, та супутника TanDEM-X, запущеного 21 червня 2010 року, дозволяє виконувати високоточну інтерферометрію сантиметровою точністю – для визначення осідань та розломів земної поверхні та забезпечити глобальне покриття земної поверхні високоточною цифровою моделлю рельєфу з точністю за висотою не менше 2 м. Просторове розрізнення становило близько 1 м [13; 14].

У 2020 році було виведено на навколосемну орбіту супутник із синтезованою апертурою Capella-2 (рис. 4) [15].



Рис. 4. Супутник з синтезованою апертурою Capella-2 на навколосемній орбіті

Цей унікальний мікро супутник має масу 107 кг. Крім того, його знімальна апаратура має надвисоку просторову роздільну здатність 50×50 см. Це досягається електронним управлінням антеною з метою затримки експозиції місцевості до 60 секунд, у той час як попередні версії супутників могли мати експозицію того ж самого району поверхні Землі на протязі кількох секунд. За рахунок тривалої в часі витримки підвищується точність інтерпретації та аналізу даних. Такий режим знімання носить названу «прожектор» (Spotlight). Смуга пропускання зображення збільшена до 500 МГц, у порівнянні з аналогами, які мають обмеження до 300 МГц [15].

На рис. 5 показано розташування літаків в Центрі авіації Розуела в Нью-Мексіці, яке отримано від супутника Capella-2. Видно літаки та їхні тіні, які розкривають такі незначні деталі, як розміри кабіни екіпажу, двигуни [15].



Рис. 5. Радіолокаційне зображення Центра авіації Розуела в Нью-Мексіці

З наведених джерел стає зрозумілим, що якість технології радіолокаційного знімання невпинно покращується в напрямку підвищення точності та роздільної здатності зображень, які відповідають наразі точності та роздільній здатності, які висуваються вимогами

ІКАО стосовно ведення електронної бази даних місцевості та перешкод в межах всієї держави – району 1 аеропорту. Такі особливості радіолокаційного знімання, як можливість отримання зображень в умовах, коли об'єкти закриті хмарами, туманом, димовими завісами тощо в будь-який час доби роблять його важливим інструментом моніторингу місцевості та перешкод.

Недоліком радіолокаційного знімання є затінення зображень нижчих елементів місцевості вищими.

Крім того, для ведення електронної бази даних місцевості та перешкод необхідно мати і атрибутивну інформацію про них [5]. Частина такої інформації можна отримати тільки наземними обстеженнями.

Тому пропонується розділити моніторинг району 1 аеропорту на дві складові: первинний та вторинний. Первинний моніторинг вести з використанням супутникових радіолокаційних методів, які забезпечують відповідну точність і роздільну здатність та допомагають виявити небезпечні для авіаційного руху об'єкти місцевості та вторинний, з використанням наземних методів обстеження – для уточнення атрибутивних даних про ці об'єкти.

Висновки відповідно до статті. Сучасні методи супутникового радіолокаційного знімання дозволяють визначити планове та висотне положення об'єктів місцевості в районі аеропорту 1 (територія держави) з точністю та роздільною здатністю, яка відповідає вимогам ІКАО щодо ведення електронної бази даних про місцевість та перешкоди. Пропонується виконувати першу фазу моніторингу об'єктів місцевості на території держави за допомогою супутникового радіолокаційного знімання, а на другій фазі моніторингу залучати наземне обстеження – для уточнення атрибутивної інформації щодо об'єктів, виявлених на першій фазі.

Список використаних джерел

1. Про затвердження Авіаційних правил України «Обслуговування аеронавігаційною інформацією»: Наказ Державної авіаційної служби України від 13.05.2019 № 582. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0760-19#Text>.
2. Материали расследования – AirDisaster.ru. URL: <http://www.airdisaster.ru/reports.php?id=37>.
3. Статистика крупнейших авиакатастроф мира 1974-2020. URL: <https://forinsurer.com/public/17/01/10/3824>.
4. ДБН В.2.2-41:2019 «Висотні будівлі. Основні положення». Наказ від 26.03.2019 № 86. URL: <https://ua-expert.com/ua/news/eksperti-edsu>.
5. Службы аэронавигационной информации. Приложение 15 к Конвенции о международной гражданской авиации. Международная организация гражданской авиации. Издание четырнадцатое. Июль 2013 года. http://www.vip-class.ru/userfiles/file/biblioteka/attach_15.pdf.
6. Руководство по аэродромным службам. (Doc 9137 AN/898/2) Часть 6. Контролирующие превятствий. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293835/4293835988.pdf>.
7. Understanding ICAO ETOD requirements. URL: <http://galileo.cs.telespazio.it/medusa/Data%20check%20list%20&%20eTOD%20study/eTOD%20st>.
8. Карпінський Ю., Лазаренко-Гевель Н. Методи збирання геопросторових даних для топографічного картографування. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. Львів, 2018. № 35 (1). С. 204–211.
9. Крячок С., Бойко О., Мамонтова Л. Врахування вимог ІКАО стосовно місцевості та перешкод в районах аеропорту для їх картографування та використання у геоінформаційних системах. *Технічні науки та технології*. 2020. № 3(21). С. 301–309.
10. Shuttle radar topographic mission (SRTM). URL: <https://gis-lab.info/qa/srtm.html>.
11. Филатов А. В., Евтюшкин А. В., Васильев Ю. В. Определение смещений техногенных объектов на территории нефтяных месторождений методом радарной интерферометрии. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. Москва, 2011. № 8, т. 14. С. 157–165.

12. Филатов А. В. Оценка вертикальных и горизонтальных смещений хвостохранилища Кольской ГМК по данным спутниковой радиолокационной съемки. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. Москва, 2017. № 7, т. 14. С. 77–85.

13. Лаврова О. Л., Митягина С. С., Каримова Т. Ю., Бочарова Т. Ю. Применение радиолокаторов RADARSAT-2 TerraSAR-X для исследования гидрологических процессов в океане. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. Москва, 2012. № 2, т. 9. С. 312–323.

14. TerraSAR-X / TanDEM-X. URL: <https://innoter.com/sputniki/terrasar-x-tandem-x>.

15. Capella Unveils World's Highest Resolution Commercial SAR Imagery. URL: <https://www.capellaspace.com/capella-unveils-worlds-highest-resolution-commer>.

References

1. Pro zatverdzhennia Aviatsiinykh pravyl Ukrainy «Obsluhovuvannya aeronavihatsiynoyu informatsiyeu» [About the statement of Aviation rules of Ukraine «Service of the aeronautical information»]. (May 18, 2020). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0760-19#Text>.

2. *Materialy rassledovaniya [Investigation materials]*. <http://www.airdisaster.ru/reports.php?id=37>.

3. *Statistika krupneyshikh aviakatastrof mira 1974-2020 [Statistics of the largest plane crashes in the world 1974-2020]*. <https://forinsurer.com/public/17/01/10/3824>.

4. DBN V.2.2-41:2019 «Vysotni budivli. Osnovni polozhennia» [DBN B.2.2-41: 2019 «High-rise buildings. Substantive provisions»]. (March 26, 2019). <https://ua-expert.com/ua/news/eksperti-edsu/>.

5. Aeronautical information services. Annex 15 to the Convention on International Civil Aviation. ICAO. (July 2013). http://www.vip-class.ru/userfiles/file/biblioteka/attach_15.pdf.

6. *Rukovodstvo po aerodromnym sluzhbam (Doc 9137 AN/898/2), chast 6. Kontrolnye prepyatstviya [Aerodrome Services Manual (Doc 9137 AN/898/2) Part 6. Control Obstacles]*. Retrieved from <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293835/4293835988.pdf>.

7. *Understanding ICAO ETOD requirements*. <http://galileo.cs.telespazio.it/medusa/Data%20check%20list%20&%20eTOD%20study/eTOD%20st>.

8. Karpinskyi, Yu., & Lazarenko-Hevel, N. (2018). Metody zbyrannia prymereniia prostorovykh danykh dlia topograficheskogo kartohrafirovaniia [Methods of collecting the use of spatial data for topographic mapping]. *Suchasni dosyahnennya heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Modern achievements of geodetic science and production*, 35 (1), pp. 204–211.

9. Kriachok, S., Boiko, O., Mamontova, L. (2020). Vrakhuvannya vymoh IKAO stosovno mistsevosti ta pereshkod v rayonakh aeroportu dlia yikh kartohrafuvannya ta vykorystannia u heoinformatsiinykh systemakh [Taking into account ICAO requirements for terrain and obstacles in the areas of the airport for their mapping and use in geographic information systems]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohiyi – Technical sciences and technologies*, 3(21), pp. 301–309.

10. *Shuttle radar topographic mission (SRTM)*. Retrieved from <https://gis-lab.info/qa/srtm.html>.

11. Filatov, A. V., Yevtyushkin, A. V., Vasiliev, Yu. V. (2011). Opredelenie smeshchenii tekhnogennykh ob'ektov na territorii neftiannykh mestorozhdenii metodom radarnoi interferometrii [Determination of displacements of technogenic objects on the territory of oil fields by the method of radar interferometry]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa – Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, 14(8), pp. 157–165.

12. Filatov, A. V. (2017). Otsenka vertikalnykh i gorizontalnykh smeshchenii khvostokhranilishcha Kolskoi GМК po dannym sputnikovoi radiolokatsionnoi siemki [Assessment of vertical and horizontal displacements of the Kola MMC tailing dump based on satellite radar survey data]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa – Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, 14(7), pp. 77–85.

13. Lavrova, O. L., Mityagina, S. S., Karimova, T. Yu., Bocharova T. Yu. (2012). Primenenie radiolokatorov RADARSAT-2 TerraSAR-X dlya issledovaniia gidrologicheskikh protsessov v okeane [Application of RADARSAT-2 TerraSAR-X radars to study hydrological processes in the ocean]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa – Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, 9(2), pp. 312–323.

14. TerraSAR-X / TanDEM-X. <https://innoter.com/sputniki/terrasar-x-tandem-x>.

15. Capella Unveils World's Highest Resolution Commercial SAR Imagery. <https://www.capellaspace.com/capella-unveils-worlds-highest-resolution-commer>.

UDC 528.4

*Serhiy Kryachok***MONITORING OF TERRAIN AND HIGH-ALTITUDE OBSTACLES
IN AIRPORT AREAS**

The urgency of the research. At present, new aviation rules concerning the provision of air navigation information have been introduced in Ukraine. The rules take into account the legislation of the European Union, Eurocontrol documents, ICAO Standards on the accuracy, processing and use of aeronautical data, which include data on terrain and obstacles in the areas of airports.

Target setting. One of the factors influencing the safety of civil aviation is the consideration of obstacles on the routes in the form of elevations and high-altitude objects. This is evidenced by accidents and catastrophes of aircraft caused by collisions with high-altitude obstacles. Therefore, it is necessary to monitor the ground space in the areas of an airport for the timely detection of obstacles to the updating of the electronic database on terrain and obstacles.

Actual scientific researches and issues analysis. Recent open access publications on existing methods of collecting geospatial data to determine terrain and obstacles in areas of the airport were reviewed.

Uninvestigated parts of general matters defining. The analysis of the given sources allows to draw a conclusion that concerning area 1 of the airport which is the territory of the state, the contradictory information on use of this or that method of definition of a relief of district and obstacles is resulted.

The research objective. The main purpose of the article is to analyze the methods of monitoring spatial information on terrain and obstacles in area 1 of the airport using space-based radar systems that would meet the requirements of ICAO in this area for the maintenance of electronic databases of terrain and obstacles.

The statement of basic materials. The quantitative requirements of ICAO for data on terrain and obstacles in area 1 of the airport are given. The errors of the results of the satellite radar topographic survey (SRTM), which allowed to obtain a digital model of the Earth's topography, were resolution in the vertical plane 1 m, and in the horizontal plane - 30 m. The method of Permanent Scatterer SAR Interferometry PSInSAR - interferometry of stable reflectors using radars with synthesized space-based aperture allows to obtain the accuracy of stable reflectors (natural and man-made objects) in the vertical plane of about 1 m and the error in determining the heights of other objects is 14 m. Currently, the PSInSAR method is used to monitor the subsidence of the earth's surface in cities, which allows to determine the deformation of the earth's surface to the nearest millimeter. The grouping of remote sensing satellites TerraSAR-X and TanDEM-X provided global coverage of the earth's surface with a digital terrain model with an accuracy of at least 2 m in height. The spatial resolution was about 1 m. In 2020, a satellite with a synthesized aperture of the Capella-2 radar survey was launched into Earth orbit. This unique micro satellite weighs 107 kg. Its camera equipment currently has an ultra-high spatial resolution of 50 x 50 cm.

Conclusions. Modern methods of satellite radar can determine the planned and altitude position of objects in the area of airport 1 (territory of the state) with accuracy and resolution that meets the requirements of ICAO for the maintenance of an electronic database of terrain and obstacles. It is proposed to perform the first phase of monitoring objects in the country with the help of satellite radar, and in the second phase of monitoring to involve a ground survey - to clarify the attributive information about the objects detected in the first phase.

Keywords: airports, ICAO requirements, terrain, obstacles, radar satellite imaging methods.

Table: 1. Fig.: 5. References: 15.

Крячок Сергій Дмитрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії, картографії та землестрою, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kryachok Serhiy – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035, Chernihiv, Ukraine).

E-mail: geodesist2015@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5633-1501>

ResearcherID: N-3061-2016