

УДК 528.5-18

КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАЗЕМНИХ 3D-СКАНЕРІВ

І. Романишин, А. Маліцький, В. Лозинський

Національний університет “Львівська політехніка”

Ключові слова: 3D сканери, цифрова модель, обернений інжиніринг.

Постановка проблеми

3D сканери з кожним роком все більше використовуються у виробництві та наукових дослідженнях. Вони вже стають основними у розв’язанні багатьох інженерно-геодезичних задач. Використовуючи можливості просторових сканерів, можна одержати результати вимірювань високої точності, які іноді неможливо отримати за допомогою аналогових приладів.

Оскільки 3D сканери використовують у найрізноманітніших галузях, то і їх можливості різні та залежать від поставлених цілей. Тому на ринку 3D сканерів з’явилося чимало моделей з різними технологічними та технічними характеристиками.

Проаналізувавши різні типи сканерів, вивчивши наявну та ввівши свою типологію, ми пропонуємо загальну класифікацію цих приладів. Запропонована класифікація дасть змогу систематизувати ринок 3D сканерів та розкрити для потенційних користувачів їх технологічні та технічні можливості.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

У працях [1–7, 20] висвітлені питання роботи та застосування технології наземного 3D сканування. Ці статті дають можливість зрозуміти суть самого процесу сканування та принципи роботи 3D сканерів.

У статті [1, 13] ґрунтовно розглянуто роботу координатно-вимірювальних машин (КВМ), а саме основні аспекти будови, застосування та методи збору даних цими пристроями. Також детально висвітлено принципи роботи різних частин самих КВМ.

У [3, 4, 6, 8, 19] акцентовано увагу на роботі лазерних сканерів, у [12, 16, 17] – на технології проектування світла, у [21] – пасивного сканування, а у [14] – ультразвукових сканерів.

Розгляд повітряних, наземних та мобільних сканерів подано у матеріалах [22].

Виклад основного матеріалу проблеми

Кінцевим результатом роботи 3D сканера є хмара точок, яка являє собою набір просторових координат поверхні певного об’єкта, визначених з певною точністю у певній координатній системі. Оскільки результатом робіт є цифрова модель реального фізичного об’єкта, то ми можемо говорити про обернений інжиніринг цього предмета. Обернений інжиніринг являє собою повний аналіз певного об’єкта з метою його відтворення як в цифровій, так і у фізичній формі (реплікації) за допомогою верстата чи 3D принтера. Це в багатьох випадках необхідно для вивчення принципу роботи об’єкта сканування та

вдосконалення його конструкції. Отже, 3D сканування є однією з основних ланок реінжинірингу.

Як вже зазначалось, сканування проводять з різною метою на різних об’єктах. Для забезпечення повноцінної роботи створено різні типи сканерів, які класифікують за певними ознаками. Наведена нижче класифікація (рис. 1) є певним узагальненням запропонованого нами поділу, який далі розглянемо детальніше.



Рис. 1. Загальна класифікація 3D сканерів

У літературі поділ на повітряні, мобільні та наземні сканери здійснюється відносно лазерних пристроїв. Ми ж пропонуємо усі 3D сканери аналогічно ділити на авіаційні, автомобільні та наземні. Ця пропозиція пояснюється тим, що наземні сканери можуть використовувати усі відомі технології сканування.

Авіаційними лазерними сканерами знімають місцевість, встановивши їх на повітряне судно, з висоти (500–1500 м). Одним з ключових моментів роботи цих сканерів є наявність спеціальної системи позиціонування. Вона дає змогу простежувати розміщення сканера, враховуючи швидкість та напрям польоту, кут нахилу літака. Ці сканери не дають високої точності, але вони здатні відсканувати великі простори за короткий період.

Автомобільні лазерні сканери поєднують у собі риси авіаційних та наземних. Збір даних у динамічному режимі із застосуванням інерційної та супутникової систем навігації визначають однаковість технології роботи авіаційних та автомобільних сканерів. А робота сканерів, по суті на земній поверхні, дає результати, подібні до даних, отриманих від наземних сканерів.

У цій статті розглянемо наземні сканери, які ми пропонуємо класифікувати за:

- 1) способом встановлення сканера;
- 2) способом встановлення досліджуваного об'єкта;
- 3) технологією сканування.

Спосіб встановлення сканера залежить від габаритів самого приладу. На основі цього їх можна поділити на стаціонарні та портативні. До стаціонарних 3D-сканерів належать верстати з числово-програмним управлінням (ЧПУ), які використовують для реплікації, та координатно-вимірвальні машини (КВМ) (рис. 2).



Рис. 2. Класифікація наземних 3D-сканерів за способом встановлення сканера

Залежно від способу переміщення робочої частини, а отже, і від специфіки проведення вимірювань, стаціонарні КВМ поділяють на чотири групи: горизонтальні, вертикальні, мостові та портальні (рис. 3, 4) [1].

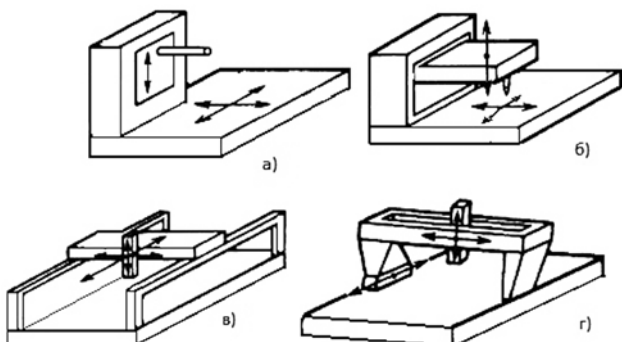


Рис. 3. Схеми роботи КВМ: а – горизонтальної; б – вертикальної; в – мостової; г – портальної

За допомогою горизонтальних та вертикальних установок досліджують порівняно малі деталі. А мостові й портальні КВМ призначені для оцифрування великогабаритних об'єктів.

Особливістю стаціонарних сканерів є те, що для сканування досліджуваного об'єкта необхідно доставити до самого приладу. Це не завжди зручно і можливо. Тому для цього створені та використовуються портативні сканери, які відзначаються мобільністю у транспортуванні.

Серед представників цієї групи є КВМ типу "Рука" (рис. 5) [19], ручні сканери (рис. 6) [9] та інші. Координати точок сканованого об'єкта залежать від положення частин "Руки". Ручні сканери, на відміну від КВМ, можна вільно переміщати у просторі. Суттєвою особливістю сканерів цієї групи є високий результат точності сканування невеликим їх радіусом. Наприклад, діапазон роботи КВМ FARO Edge сягає 3,7 м, а точність – до 0,34 мм.

У другу групу сканерів виділяємо моделі за місцем встановлення сканованого предмета (рис. 7), тобто сканери, у яких під час сканування об'єкт встановлюється безпосередньо всередину (повністю закриті) (рис. 8), або на сам сканер (частково закриті) (рис. 9) [9].



Рис. 4. КВМ портального типу від 3D Family



Рис. 5. КВМ "Рука" FARO Edge з встановленою вимірвальною частиною



Рис. 6. Ручний лазерний сканер ZScanner 800



Рис. 8. Оптичний сканер Delcam iMetric закритого типу

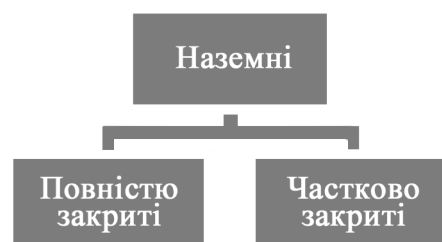


Рис. 7. Класифікація наземних 3D-сканерів за способом встановлення досліджуваного об'єкта

Сканери цього типу використовують для високоточного сканування дрібних деталей та об'єктів. Наприклад, сканер Delcam iMetric з точністю сканування 0,02 мм застосовують у стоматології та ортодонтії з лінійними розмірами об'єктів сканування приблизно до 10 см. Дещо більші об'єкти дають змогу сканувати частково закриті сканери. Наприклад, розмір деталі, встановленої у сканер від “дизель-тест-комплект”, не має перевищувати 800x350x350 мм, а точність сканування становить 0,01 мм.

Сканери, які на період проведення вимірювань мають бути нерухомо встановлені на штатив чи інше кріплення, але їх переміщення не є трудомістким, також можна зарахувати до портативних (рис. 10).



Рис. 9. Частково закритий лазерний 3D сканер від “Дизель-тест-комплект”



Рис. 10. Лазерний сканер від Faro

Основою вищенаведеної класифікації 3D сканерів є порівняльний аналіз їхніх конструктивних особливостей та мобільності. Але разом з цими показниками необхідно розділяти сканери і за методом збору інформації, що, в принципі, є однією з основних характеристик цих приладів.

Задля розділення методів збору даних про об'єкт пропонуємо вживати у цьому контексті два терміни – “сканування” та “оцифрування”. Головною відмінністю між цими методами є використання активного джерела випромінювання.

Усі 3D-сканери за методом збирання інформації поділяють на контактні й безконтактні (рис. 11).

Контактними називають сканери, які для визначення координат точок використовують спеціальний “щуп”, який безпосередньо механічним способом доторкається до досліджуваного об'єкта. Точці дотику “щупа” та поверхні присвоюють відповідні координати. Весь процес контактного сканування контролює людина, а тому, порівняно з автоматизованим безконтактним методом, є набагато повільнішим. Хоча точність визначення координат точок може бути вищою. Оскільки під час такого сканування у цифровий формат переводять лише обрані оператором точки, що не завжди дає змогу повністю і достовірно відтворити форму досліджуваного об'єкта, то такий процес варто називати оцифруванням. Усі контактні 3D-сканери мають бути встановлені на КВМ або верстат. Найчастіше такі системи використовують для контролю якості виконаних робіт та сканування важкодоступних поверхонь дрібних об'єктів (рис. 5, 12). Сканування та контроль цих поверхонь забезпечується різними видами “щупів”.



Рис. 11. Класифікація 3D-сканерів за технологією сканування



Рис. 12. Контактний 3D-сканер Renishaw SP25M у процесі оцифрування

Безконтактні сканери, на відміну від контактних, визначають координати фізичної моделі на певній відстані від неї за допомогою випромінювання. Залежно від джерела випромінювання, дистанційні сканери поділяють на активні та пасивні.

Пасивні дистанційні сканери визначають просторові координати точок на основі уже існуючого випромінювання. Оскільки джерелом інформації для пасивних сканерів є знімки, створені за допомогою цифрових фотокамер, то цю технологію можна назвати оптичною, а процес перетворення фізичного об'єкта на електронний – оцифруванням.

Методи створення фотозображень, хоча і дуже подібні, але дещо відрізняються. Тому ці прилади поділяють на стереоскопічні, фотограмметричні та сканери описування силуету. Стереоскопічні сканери

відтворюють принцип роботи зору людини – дві паралельно розміщені камери фіксують зображення в один момент часу. Фотограмметричні фіксують зображення предмета з різних сторін та під різним кутом. Принцип роботи сканерів опису силуету полягає у виділенні сканованого об'єкта на тлі контрастного фону (здебільшого синього) (рис. 13).



Рис. 13. Сканер описування силуету 3D Scantop від Olympus

У більшості пасивних 3D-сканерів для захоплення зображення можна застосувати будь-яку цифрову фотокамеру. Тобто залежно від параметрів фотокамери буде визначатися точність. Але власне створенням просторових моделей займається програмна частина, яка є головною передумовою побудови якісних поверхонь.

У певних моделях сканерів фотограмметрична технологія сканування поєднується із лазерною. Це дає змогу швидко та точно побудувати 3D модель. Наприклад, ручний сканер MAXscan за допомогою цього поєднання досягає точності 50 мкм із роздільною здатністю 0,1 мм.

Також варто звернути увагу на існування онлайн-сервісів, які спеціалізуються на створенні 3D-моделей на основі фотознімків [22].

Найпоширенішими та найживанішими є 3D-сканери, які в процесі сканування випромінюють певні хвилі й належать до групи активних сканерів. Залежно від використаних хвиль та застосування самих приладів, пропонуємо активні 3D сканери класифікувати за схемою, зображеною на рис. 14.

Особливістю магнітних, ультразвукових чи рентгівських 3D-сканерів є здатність випромінюваної хвилі проникнути всередину об'єкта. Сканери цього типу використовують у медицині для побудови просторової моделі внутрішніх органів людини чи спостереження роботи цих органів у режимі реального часу (рис. 15) [14]. Точність цих сканерів не відіграє певної ролі у зв'язку зі сферою їх застосування.

Сканери із застосуванням технології коноскопічної голографії поки що малопоширені. Практичною перевагою їх застосування є те, що випромінюваний промінь, відбившись від поверхні, повертається тим самим шляхом. Ця особливість дає можливість відсканувати отвори малого діаметра та точно відтворювати кути заломлень поверхні об'єкта (рис. 16) [15].

Принцип роботи проекційних 3D-сканерів полягає в освітленні сканованого об'єкта світловими імпульсами або нанесенні певного світлового візерунка у вигляді сітки, смуг тощо. Залежно від рельєфу об'єкта світлове зображення спотворюватиметься. Саме на основі цих спотворень визначають просторові координати поверхні

об'єкта. Захоплення сканером проектного світла забезпечує спеціальна оптична камера, через що цей тип сканерів часто називають оптичними.

Джерелом генерації світла на поверхні об'єкта може бути галогенова лампа чи лазерний світлодіод. Створення світлового візерунка досягається за допомогою проектора (із застосуванням галогенової лампи) чи перехрестям лазерних променів.

Інноваційним продовженням технології є вузькосмугове структуроване синє випромінювання (рис. 17) [16].

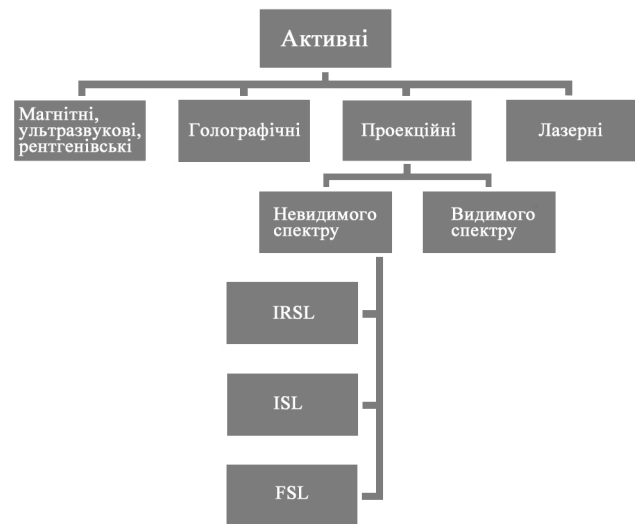


Рис. 14. Класифікація активних 3D-сканерів



Рис. 15. Комп'ютерний томограф Somatom Definition Flash від Siemens Medical Solutions



Рис. 16. Сканер коноскопічної голографії від NobelProcera

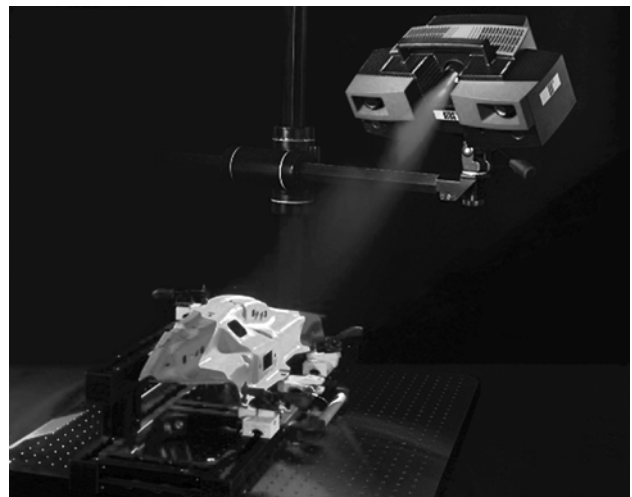


Рис. 17. Оптичний сканер ATOS Triple Scan

Застосування цієї технології дає надійніші результати завдяки можливості проектування вузьких смуг візерунка та меншій довжині випромінюваних хвиль з високою роздільною здатністю (відстань між точками становить 0,01–0,61 мм) та точністю (до 0,5 мм).

Сканери із застосуванням проектування білого світла (галогенові лампи) можуть застосовуватися для сканування людини, оскільки випромінюване світло є безпечним для зору. До сканерів такого застосування належить Breuckmann faceSCAN-III, точність сканування якого становить 0,2 мм, а відстань між сканованими точками – 0,43 мм.

Перераховані сканери на основі структурованого та модульованого світла у нашій класифікації належать до сканерів із видимим спектром випромінюваного світла. Хочемо вказати на можливості застосування під час сканування і невидимого спектра випромінювання. Невидимість досягається високочастотним проектуванням (ISL), використанням інфрачервоного світла (IRSL) чи спеціального фільтра (FSL).

Ще одним типом дистанційних 3D-сканерів є лазерні сканери. Використання лазера визначає застосування імпульсного, фазового чи триангуляційного методу визначення відстані до певної точки.

Робота імпульсних та фазових сканерів ґрунтується на принципі роботи імпульсних та фазових віддалемірів.

Принцип дії оптичної триангуляції лазерних сканерів зображено на рис. 18. Спочатку лазерне випромінювання потрапляє на об'єкт. Розсіяне об'єктом випромінювання збирається за допомогою лінзи на CCD/PSD матриці. Залежно від того, на якій відстані лазерний промінь відбивається від поверхні, світлова пляма з'являється на матриці в різних місцях. Варто зазначити, що цей спосіб обмежує радіус дії сканерів, а тому його застосовують лише у ручних сканерах.

Залежно від потужності лазера, чутливості приймача та методу збору інформації, лазерні 3D-сканери мають різні радіуси дії – ближній (до 1,5 м), середній (від 1,5 м до 150 м) та дальній (понад 150 м).

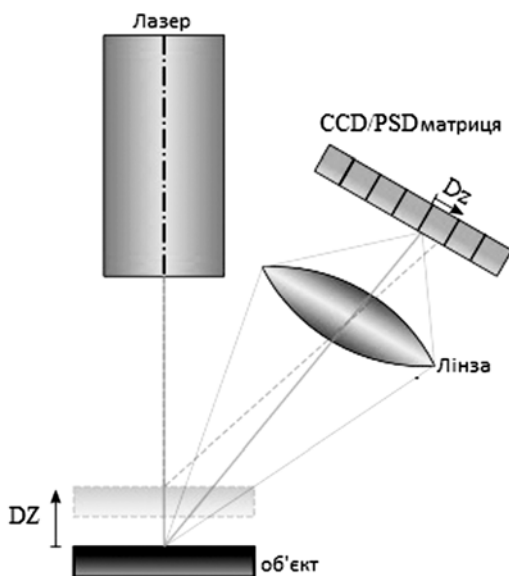


Рис. 18. Принцип визначення відстані триангуляційним способом

До лазерних сканерів з невеликою дальністю дії належать також ручні сканери. Їх переважно застосовують для сканування порівняно невеликих об'єктів. Особливістю їх роботи переважно є перегляд сканованої поверхні у режимі реального часу. Тобто під'єднаний до пристрою комп'ютер одразу показує відскановану приладом область у робочому вікні програмного забезпечення. До того ж вони відзначаються високою точністю, наприклад, ZScanner 800 дає результати з точністю до 40 мкм при роздільній здатності 0,050 мм.

Сканери з середнім та дальнім радіусом дії використовують як імпульсний, так і фазовий метод визначення відстані. Точність визначення координат точок є нижчою, порівняно з іншими сканерами, але це компенсується їх обширною зоною дії. Наприклад, FARO Laser Scanner Focus 3D за діапазону роботи 150 м дає можливість відсканувати з точністю до 3 мм.

Сканери цього типу найкраще підходять для розв'язання геодезичних задач. Відзначимо сканери, інтегровані в тахеометри (рис. 19). Незважаючи на невелику швидкість сканування (до 15 точок на секунду) та точність (10 мм), ця технологія відкриває нові, унікальні можливості в процесі знімання [18].



Рис. 19. Сканувальний тахеометр Trimble VX Spatial Station

Висновок

У результаті аналізу різних типів сканерів зроблено класифікацію за трьома параметрами – спосіб встановлення 3D-сканера, спосіб встановлення досліджуваного предмета та за використовуваною технологією під час сканування. Також зазначено загальні особливості деяких характеристик приладів.

Стаття допоможе розрізнити різні види 3D-сканерів та зрозуміти особливості їх застосування у різних галузях науки та виробництва.

Література

1. Пекарш А.И., Феоктистов С.И., Колыхалов Д.Г., Шпорт В.И. Координатно-измерительные машины и комплексы // Наука и технологии в промышленности. – № 3/2011. – С. 36–48.
2. Fofi D., Sliwa T., Voisin Y. A Comparative Survey on Invisible Structured Light // SPIE Electronic Imaging – Machine Vision Applications in Industrial Inspection XII. (January 2004). – San Jose, USA.
3. Skanery_laserowe. Dodatek Miesiecznika. Geodeta. Listopad 2011, № 11 (198)
4. Тревого І., Баландюк А., Григораш А. Аналіз технологічних можливостей сучасних наземних лазерних сканерів // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2010. – Вип. 1 (19). – С. 170–176.

5. Выбираем 3D-сканер. КПД, 01.2010. – С. 36–41.
6. Наземное лазерное сканирование: очевидные преимущества // Геопрофиль, март-апрель. – 2009. – С. 42–45.
7. Что такое 3D-модель и как ее получить? // КПД, 02.2010. – С. 40–45.
8. Дизель-тест-комплект. Лазерное измерительное оборудование. Каталог оборудования. – 2010. – 26 с.
9. http://www.zcorp.com/ru/Products/3D-Scanners/ZScannerandtrade_800/spage.aspx – сайт корпорации 3D Systems
10. <http://www.3dfamily.ru/> – сайт корпорации 3D Family
11. <http://www.delcam-ural.ru/> – сайт компании “Делкам-Урал”.
12. <http://center-sapr.com/> – сайт компании “Центр САПР”.
13. <http://www.renishaw.ru> – сайт компании Renishaw
14. <http://www.medical.siemens.com> – сайт сектору охорони здоров’я компанії Siemens
15. <http://www.nobelbiocare.com/> – сайт компанії Nobel Biocare
16. <http://www.gom.com/metrology-systems/system-overview/atos-triple-scan.html> – інтернет-сторінка компанії GOM
17. http://3d.globatek.ru/3d-scanners/Breuckmann_faceSCAN/ сайт компанії Globatek 3D
18. <http://www.trimble.com/trimblevx.shtml> – інтернет-сторінка компанії Trimble
19. <http://www.faro.in.ua> інтернет-сторінка компанії Faro в Україні
20. Борисенко Б., Ярошенко С. 3D-сканирование в интересах 3D-моделирования. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.comprice.ru/articles/detail.php?ID=40134>
21. <http://www.my3dscanner.com> – сервіс по створенню 3D моделей фотограмметричним способом
22. <http://skanowanie-laserowe.pl/> – інформаційний сервіс лазерного сканування.
23. Geiselhöringer H., Holst Dr.S. The new NobelProcera system for clinical success: The next level of

- CAD/CAM dentistry. Dental tribune, Germany. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dental-tribune.com/articles/content/scope/specialities/region/international/id/362>
24. <http://www.cybercom.ru/products/3dscanners> – інтернет-сторінка фірми Cybercom Ltd
 25. <http://www.iitvision.ru> – сайт лабораторії комп’ютерного зору Інституту інформаційних технологій Москви.

Класифікація та основні характеристики наземних 3D-сканерів

I. Романишин, А. Маліцький, В. Лозинський

Класифіковано різні типи наземних сканерів та проаналізовано принципи їх роботи. Авторська класифікація покликана пояснити особливості застосування сканерів у різних сферах та допомогти у виборі оптимальних моделей залежно від поставлених цілей.

Классификация и основные характеристики наземных 3D-сканеров

И. Романишин, А. Малицкий, В. Лозинский

Выполнена классификация различных типов наземных сканеров и проанализированы принципы их работы. Авторская классификация призвана объяснить особенности применения сканеров в различных сферах и помочь в выборе оптимальных моделей в зависимости от поставленных целей.

Classification and main features of 3D-surface scanners

I. Romanishin, A. Malitskyy, A. Lozinski

This article classifies the various types of terrestrial scanners and examines the principles of their work. Author’s classification is designed to explain the peculiarities of scanners in various areas and help in selecting optimal models, depending on the goals.

XVII науково-технічний симпозиум

**10-15 вересня 2012 р.
м. Алушта (Крим)**

**«ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ
МОНІТОРИНГ
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА:
GNSS І GIS-ТЕХНОЛОГІЇ»**



Web site: <http://geosymposium.at.ua>