

Библиографический список

1. Дриженко А. Ю. Карьерные технологические горнотранспортные системы. – Днепропетровск: ГВУЗ «НГУ», 2011. – 542 с.
2. Четверик М. С. Циклично-поточная технология на глубоких карьерах. Перспективы развития / М. С. Четверик, В. В. Перегудов, А. В. Романенко и др. – Кривой Рог: Дионис, 2012. – 356 с.
3. Дриженко А. Ю. Почвоуступная выемка пород вскрыш крутонаклонными слоями при открытой разработке крутопадающих железнорудных месторождений // Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН. – 2008. – Вып. 4 (94). – С. 96-101.
4. Санакулов К. С. Глубокие вводы поточно-го звена ЦПТ в карьере «Мурунтау» // Санакулов К. С., Шелепов В. И. Рациональное освоение недр. – 2011. – № 4. – С. 52-57
5. Paelke J. W. Преимущества вертикальных конвейерных систем ROCKETLIFT и ROCKETROPE по сравнению с традиционными системами вертикальной транспортировки сыпучих материалов / J. W. Paelke, R. Gunther, F. Kessler // Горная промышленность. – 2007. – № 5 (75). – С. 24-29.
6. Paelke J. W. Преимущества вертикальных конвейерных систем ROCKETLIFT и ROCKETROPE по сравнению с традиционными системами вертикальной транспортировки сыпучих материалов / J. W. Paelke, R. Gunther, F. Kessler // Горная промышленность. – 2007. – № 6 (76). – С. 35-37.

Поступила 04.11.2014

УДК: 528.083

Наука

Сидоренко В. Д. /д. т. н./, Намінат О. С.
Криворізький національний університет

Методика зйомки лінійних споруд методом наземного лазерного сканування для подальшого моніторингу

З метою підвищення ефективності зйомки та моніторингу лінійних інженерних споруд можна використовувати цифрові моделі цього об'єкту, створені на основі лазерно-скануючих систем. Маючи дві та більше таких моделей, зроблених у різний час з певним періодом, можна вести моніторинг цього об'єкту. У даній статті викладена методика зйомки лінійної споруди наземним лазерним сканером на прикладі автострою. Розглянутий підхід до знімання від підготовки приладу, вибору місця розташування пунктів планово-висотного обґрунтування до обробки результатів сканування. Визначенні залежності, використання яких дозволяє підвищити точність отримуваних результатів. Це залежність кроку сканування від відстані та висоти наземного лазерного сканера. Виходячи з необхідної точності ведення робіт, наведені розрахунки вибору кроку сканування, висоти сканера та відстаней до марок, що використовуються для прив'язки та орієнтування точкових моделей. Іл. 4. Бібліогр.: 6 найм.

Ключові слова: моніторинг, наземний лазерний сканер, лінійна споруда

To improve the efficiency of linear surveying and monitoring of engineering structures, you can use the digital model of the object created from the laser-scanning systems. Having two or more of these models, taken at different times with a certain period, it is possible to monitor the object. This article sets out the methodology shooting line facility terrestrial laser scanner on the example of the road. An approach to the measurement of training device, select the location of the items planned height control to the processing of the scanned. The dependence of the use of which can improve the accuracy of the results. This dependence of the pitch of the scanning distance and height of terrestrial laser scanner. Based on the required accuracy of reference works, given the choice of scanning step calculations, the height of the scanner and the distances to the brands used for the binding and orientation of point models.

Keywords: monitoring, ground laser scanner, a linear structure

Стан промислових міст зараз багато в чому залежить від інтенсивності техногенного впливу людини і зведення нових структур для по-

ліпшення економіки. Але ці зміни не рідко призводять до негативних наслідків. Для сучасного міста сьогодні дуже важливі транспортні сполу-

чення як внутрішні, так і зовнішні, які по праву можна назвати «артеріями міста». Такими є й лінійні споруди, а саме автодороги. Тому належне їх утримання у задовільному стані є одним з головних завдань у підтриманні життєдіяльності міст. Впровадження нових технологій для стеження за дорогами дозволить робити періодичні і безперервні варіанти моніторингу за зміщеннями та деформаціями цих об'єктів. Однією з таких технологій є наземне лазерне сканування, основи методики цього методу наведені нижче.

Проектування робіт

На етапі проектування виконується постановка завдання і визначаються вимоги, що пред'являються до кінцевого продукту: метод представлення продукту, вимоги до точності, обсяги робіт. Далі визначається коло завдань, які необхідно буде вирішити в процесі робіт, таких як, вибір методики робіт, підбір обладнання, яке за своїми характеристиками задовольняло б поставленим завданням. Також ведеться збір інформації про пункти вихідної геодезичної мережі. Після отримання цієї інформації виконується проектування мережі основного ПВО, створюваного за допомогою супутникового обладнання або електронних тахеометрів відповідно до вимог точності, регламентованими інструкцією.

Для створення цифрових топографічних планів і тривимірних моделей об'єктів на основі даних наземного лазерного сканування, необхідно скласти докладний абрис об'єкта, який являє собою аналог топографічного плану, виконаний в результаті зйомки. На абрисах повинна бути відображена інформація, необхідна для побудови цифрових моделей: взаємне положення об'єктів (у тому числі, і підземних комунікацій), їх призначення, характеристики. Для визначення характеристик інженерних комунікацій використовуються технічна документація та картографічні матеріали. Пошук підземних комунікацій проводиться згідно з технологічними схемами за зовнішніми дешифруваннями ознак або логічно. Точні місця пролягання підземних комунікацій і місця їх поворотів визначаються за допомогою трасошукача чи інших методів і фіксуються промірами або з використанням електронних тахеометрів і супутникових приймачів. Абриси виконуються з умовою збереження пропорцій об'єкта відображеного на папері. Складні ділянки або ділянки, що вимагають особливих пояснень, необхідно виносити на окремий лист і виконувати в більшому масштабі. Для подальшої роботи з абрисами складається картограма аркушів. При складанні абрису також не-

обхідно виконувати лінійні проміри рулеткою на коридорах комунікацій для їх дешифрування і в якості додаткового контролю при створенні цифрових топографічних планів на основі даних наземного лазерного сканування.

Створення планово-висотного обґрунтування на об'єкті

Під створенням основного ПВО з застосуванням супутникових приймачів і електронних тахеометрів мається на увазі створення мережі базових станцій на території лінійної споруди (родовищ або ділянки робіт), створення опорних базових точок безпосередньо на об'єктах робіт і подальше згущення знімальної мережі для створення робочого ПВО. Типова схема розвитку основного ПВО, яка може бути використана при зйомці, представлена на рис. 1.

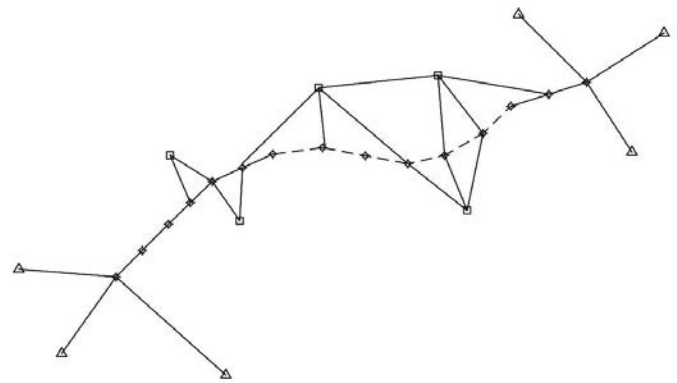


Рис. 1. Типова схема розвитку ПВО при зйомці лінійних інженерних споруд

Базові станції служать для виносу знімального обґрунтування безпосередньо на об'єкти і закріплюються, по можливості, в місцях, що охороняються, з під'їзними шляхами, за умови забезпечення можливості виносу знімального обґрунтування на якомога більшу кількість об'єктів.

Вибір місць розташування сканерних станцій

Вирішення таких питань, як розміщення НЛС на об'єкті під час зйомки і вибір необхідних параметрів сканування, відіграє вирішальну роль для оптимізації знімальних робіт.

Вибір кутового кроку сканування

Інформативність даних, одержуваних з використанням наземних лазерних сканерів, збільшується разом з щільністю зйомки. Однак, більшість сучасних НЛС обмежені за швидкістю зйомки і збільшення щільності сканування призведе до значних трудовитрат і зниження ефективності знімальних робіт, а в подальшому – і тривалості обробки. Тому під час сканування

необхідно обрати оптимальне значення кутового кроку, яке, з одного боку, дозволить отримати точкову модель з необхідною інформативністю, з іншого – не викличе зайвих витрат часу [1].

У роботі пропонується визначати кутовий крок сканування, виходячи з вимог до детальності одержуваної точкової моделі. При створенні цифрових топографічних планів детальність відображення ситуації залежить від їх масштабу. Наприклад, для планів масштабу 1:500 мінімальний розмір відображуваних об'єктів можна прийняти 0,3 мм в масштабі плану або 15 см на місцевості [84]. Крок дискретизації (лінійний крок сканування l) в даному випадку складе $1/2$ від мінімального розміру об'єкта, тобто близько 7 см. Таким чином, під час сканування необхідно підбирати кутовий крок, що забезпечує відстань між вимірюваними точками порядку 7 см. Очевидно, що в даному випадку кутовий крок сканування φ залежатиме від відстані D до об'єкта, що знімається. На рис. 2 представлений графік зміни кутового кроку сканування від відстані до об'єкта, що знімається при $l = 1$ см.

При зйомці лінійних споруд відстань до знімання контурів, в середньому, можна прийняти рівною 30-50 м.

При великих відстанях необхідно буде зменшувати кутовий крок сканування φ , що призведе до значного збільшення часу роботи на станції (наприклад, при зменшенні кутового кроку на 25 % збільшення тривалості сканування складе порядку 80 %) і обсягу надлишкових, непотрібних вимірювань, які створять додаткові складності при обробці даних. До того ж, для отримання вимірювань наземними лазерними сканерами потрібна пряма видимість на об'єкт, що знімається, і за умови високої контурності, збільшення відстані до об'єкту, що знімається спричинить появу безлічі тіньових зон на точковій моделі [2].

При зменшенні відстані до об'єктів, що знімаються, виникне необхідність у більшій кількості станцій сканування, що збільшить трудовитрати. До того ж, в даному випадку, також будуть виникати значні тіньові зони за рахунок збільшення кутових розмірів об'єктів-перешкод.

Виходячи з вищесказаного, прийнявши відстань до об'єкту, що знімається, $D = 40$ м, лінійний крок сканування $l = 7$ см, обчислимо φ за формулою

$$\varphi = \left(\frac{l}{D}\right) \cdot 57.3^\circ = 0.1^\circ. \quad (1)$$

Таким чином, значення кутового кроку сканування $0,1^\circ$ буде постійним при зйомці лінійних споруд для цілей створення топографічних планів, та визначення деформацій.

При виконанні сканерної зйомки для створення цифрових тривимірних моделей лінійних споруд φ необхідно розраховувати виходячи з підвищених вимог до детальності зйомки. Прийнявши мінімальний розмір орендованих об'єктів рівним 5 см аналогічно отримаємо, що лінійний крок сканування l складе 2,5 см. Очевидно, що для забезпечення підвищеної детальності зйомки відстань D до об'єктів, що знімаються, буде менше, ніж у попередньому випадку. В цілому D можна прийняти рівним 20-30 м або порядку 25 м. Підставивши в формулу значення l і D отримаємо, що в даному випадку кутовий крок сканування φ буде приблизно рівним $0,06^\circ$.

Слід мати на увазі, що лазерний промінь розходиться і потрапляє на об'єкт шляхом певного діаметру (1-4 см). А це означає, що об'єкт, який знімається в даному діаметрі, в будь-якому випадку буде виявлений, що і підтверджується отриманими результатами. До того ж, кожен об'єкт буде знятий з кількох станцій, що додає надійності зробленим висновкам [4].

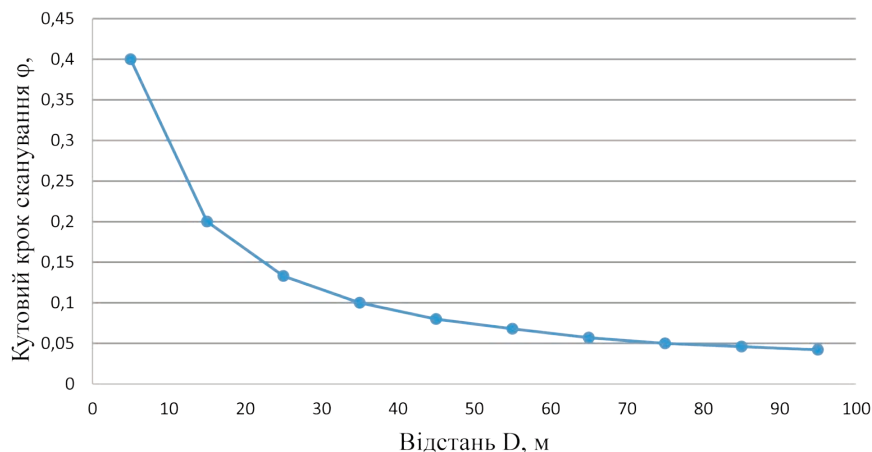


Рис. 2. Зміна кутового кроку сканування від відстані до об'єкту, що знімається

Однак, формула буде справедлива тільки для площини, перпендикулярній напрямку променя, тобто, в більшості випадків вертикально орієнтованою. На об'єктах, поверхня яких перпендикулярна вертикальній осі сканера (дороги, рельєф, комунікації), величина лінійного кроку сканування l складе

$$l = D - \left(h_1 \cdot \operatorname{tg} \left(90 - \operatorname{arctg} \left(\frac{h_i}{D} \right) - \varphi \right) \right), \quad (2)$$

де D – відстань до об'єкта; h_i – висота сканера відносно об'єкту, що знімається; φ – кутовий крок сканування.

У таких випадках постійний кутовий крок може виявитися недостатнім. Тому, при зйомці рельєфу, доріг, коридорів комунікацій з достатньою деталістю слід керуватися одним з наступних правил:

- виконувати зйомку таких об'єктів з додаткової станції сканера, розташованої на більш близькій відстані;
- зменшувати кутовий крок сканування (виконати зйомку в більш щільному режимі);
- збільшувати висоту установки сканера щодо об'єкта.

У кожному випадку вибирається варіант, найбільш відповідний ситуації, так як іноді неможливо встановити НЛС на досить близькій відстані, більш щільне сканування не дозволить отримати достатньо вимірених точок, або не буде можливості встановити НЛС в більш високу точку. Досвід експериментальних робіт показав, що краща інформативність точкової моделі досягається не зменшенням кутового кроку сканування, а збільшенням кількості сканерних станцій при звичайній щільності зйомки.

Вибір місцеположення сканерних станцій

При виконанні зйомки із застосуванням наземних лазерних сканерів важливе місце відво-

диться вибору місць їх розташування. Для виключення тіньових зон, місця розташування сканерних станцій на об'єкті необхідно планувати з урахуванням максимально повного захоплення елементів об'єкта, тобто їх максимальної відкритості. При цьому важливо забезпечувати перекриття точкових моделей, отриманих з сусідніх станцій, в зонах з достатньою щільністю зйомки (тобто максимального радіуса, для якого розраховувався кутовий крок, рис. 3).

Виконання даної умови, дозволяє отримувати детальні точкові моделі і виконувати візуальний контроль їх суміщення, що, безумовно, підвищує надійність вимірювань.

Важливою умовою вибору місць розташування сканерних станцій також є висота НЛС щодо об'єкта, який знімається. За формулою зроблені розрахунки лінійного кроку сканування l , за результатами яких побудований графік зміни l на площині, перпендикулярній вертикальній осі сканера, залежно від його висоти об'єкта, який знімається для $\varphi = 0,1^\circ$ і $S = 50$ м, рис. 4, з якого видно, що установка наземного лазерного сканера в найбільш високі точки збільшує оглядовість і щільність вимірюваних точок, що значно підвищує інформативність точкової моделі.

Виконання сканерної зйомки

У ході виконання сканерної зйомки на кожній станції пропонується дотримуватися наступного алгоритму дій:

- а) установка НЛС, підготовка його до роботи;
- б) встановлення та орієнтування тахеометра – входить в дію а);
- в) розстановка сканерних марок (робочого ПВО);
- г) координування робочого ПВО електронним тахеометром – входить в дію пункту в);
- д) виконання сканером зйомки;

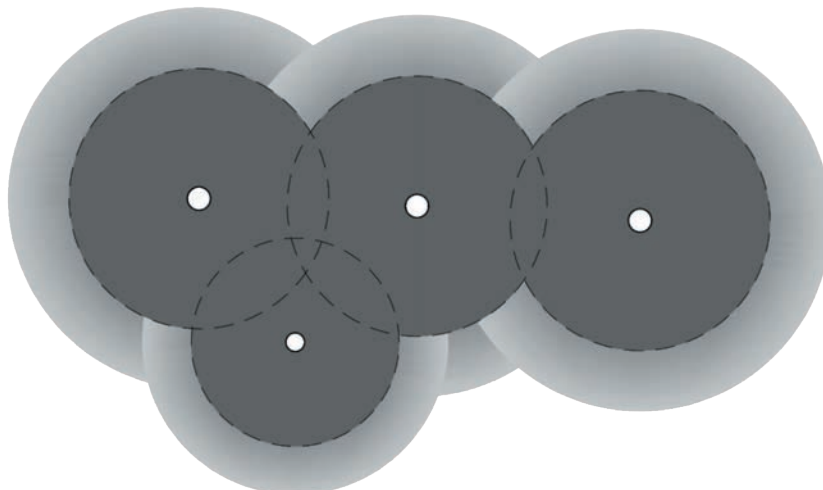


Рис. 3. Перекриття точкових моделей отриманих з різних сканерних станцій

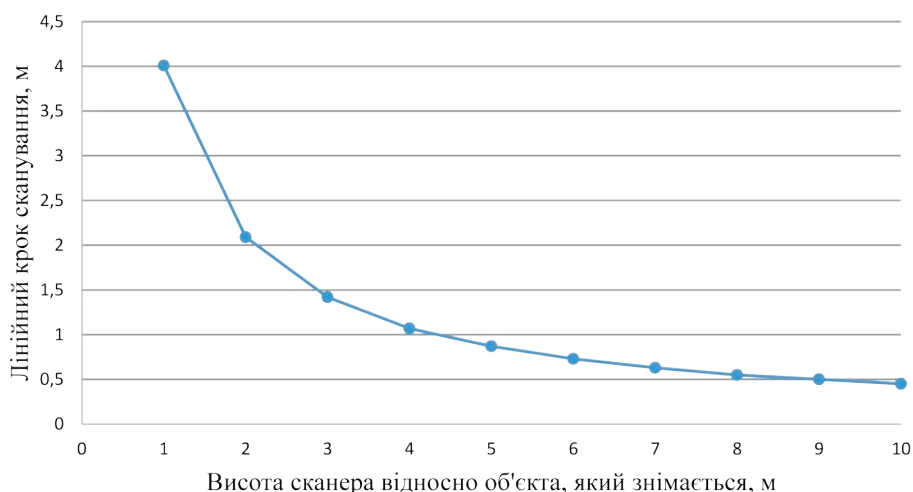


Рис. 4. Зміна l в залежності від висоти сканера, відносно об'єкту який знімається

- е) координування робочого ПВО сканером;
- ж) тахеометрична зйомка недоступних кон-турів – входить до дії пунктів д та е;
- і) перехід на наступну сканерну станцію.

Наведений алгоритм є оптимальним для знімальної бригади, що складається з трьох чоловік. Такий склад бригади дозволяє економити час за рахунок розділення процесів праці і виконання кількох дій одночасно.

Створення робочого планово-висотного об-грунтування (на прикладі наземного лазерного сканера Leica Scan Station2)

Для приведення результатів вимірів наземних лазерних сканерів до заданої системи координат виконується орієнтування точкової моделі по робочому ПВО (сканерні марки), однозначно по точкової моделі, що дешифрується.

Для орієнтування точкової моделі достатньо трьох сканерних марок, що розташовуються по колу, для контролю їх кількість збільшиться до чотирьох [5]. Але практика виконання робіт показала, що в силу ряду причин (недостатня видимість, перешкоди), кілька марок можуть бути виміряні неправильно. Тому бажано збільшувати число марок для більш достовірного і точного орієнтування. У роботі запропонована схема робочого ПВО, що складається з восьми сканерних марок, розташовуваних парами на відстані від 10 до 50 м.

Для дослідження різних схем робочого ПВО був виконаний експеримент, результати якого показали, що запропонована схема дозволяє збільшити точність орієнтування точкової моделі, на відміну від звичайної схеми створення робочого ПВО, при якій сканерні марки розташовуються поодиноці. Застосування даної схеми дозволяє скоротити трудовитрати на створення робочого ПВО в два рази, уникати пропусків

при прив'язці сканерних марок (тобто чітко відомо, що на кожній сканера станції необхідно закоординувати рівно вісім марок). Дана схема на місцевості коригується для забезпечення прямої видимості для НЛС і тахеометра.

Отримання координат сканерних марок в системі координат сканера проводиться шляхом їх сканування з максимальною роздільною здатністю. Для цього проводиться сканування всього поля зору НЛС, результатом якого є плоский знімок сцени сканування в чорно-білому діапазоні, кожен піксель якого відповідає одиничному вимірюванню і забарвлений залежно від інтенсивності відбитого сигналу. Опорні марки однозначно дешифруються, внаслідок різкого контрасту світлоповертаючої плівки з рештою об'єктів. На отриманому знімку намічається приблизне місце розташування сканерних марок, після чого НЛС автоматично виконує зйомку кожної марки з максимальною роздільною здатністю.

Після сканування програма обробки, використовуючи алгоритм орієнтування на певний розмір марок, автоматично знаходить координати їх центрів [6]. Точність визначення координат плоских марок для НЛС Leica становить близько 1 мм.

Формування єдиної точкової моделі використовуючи дані наземного лазерного сканування

Для отримання єдиної точкової моделі за результатами наземного лазерного сканування необхідно навести результати вимірювань в єдину систему координат. Для цього використовуються координати сканерних марок у зовнішній системі координат і системі координат сканера.

У програмі обробки в автоматичному або ручному режимі визначаються зв'язки між мар-

ками, координати яких визначені в обох системах координат. Наприклад, в ПО Leica Cyclone реалізований підхід, при якому зв'язки між марками визначаються в автоматичному режимі, з геометрії сузір'я. Результатом є таблиця, в якій представлені пари ідентичних марок і розбіжності між координатами марок в обох системах координат.

Оцінка точності положення марок, виміряних з використанням НЛС щодо зовнішньої системи координат, здійснюється за значеннями розбіжності координат марок в обох системах або помилок визначення лінійних і кутових елементів орієнтування.

Сьогодні зростає кількість підприємств захищених у впровадженні інноваційних технологій – ефективних і високопродуктивних систем лазерного сканування. Тим не менш, пропозиції ринку таких систем провокують впровадження їх у практику маркшейдерсько-геодезичних робіт без належного науково-методичного та нормативного обґрунтування. Для впровадження нових інструментів в геодезичне виробництво необхідно розробити методики дослідження їх основних технічних параметрів.

Очевидно, що потрібна розробка наукового і практичного, обґрунтованого методичного забезпечення маркшейдерсько-геодезичних робіт на основі сучасних досягнень в області лазерного сканування і це є актуальним завданням, затребувано сучасним виробництвом і веденням гірських робіт. З ростом науково-технічного прогресу в геодезичному виробництві і технічного рівня будівництва інженерних споруд виникає необхідність розробки і вдосконалення методик і технологій вимірювань для проведення такого моніторингу, оскільки успішне вирішення цього завдання вносить важливий внесок у забезпечення надійності, довговічності та без-

пеки експлуатації цих споруд. Тому дані матеріали дозволяють зробити ще один крок до застосування сучасних приладів.

Бібліографічний список

1. Середович А. В. Методика топографической съемки застроенных территорий с применением наземного лазерного сканирования / А. В. Середович // Изв. вузов. Горн. журнал. – Екатеринбург, 2004. – Кст 6. – С. 3-8.
2. Медведев Е. М. Лазерный сканер – не роскошь, а средство дистанционного зондирования [Электронный ресурс] / Е. М. Медведев // Геопрофи. – 2003. – № 4. – С. 16-18. – Режим доступа: <http://geoprofi.ru/default.aspx?mode=binary&id=58>
3. Шануров Г. А. Геотроника. Наземные и спутниковые радиоэлектронные средства и методы выполнения геодезических работ: учеб. Пособие 137. Г. А. Шануров, С. Р. Мельников. – М.: УПП «Репрография» МИИГАиК, 2001. – 136 с.: ил.
4. Бакулев П. А. Радиолокационные системы: Учебник для вузов / П. А. Бакулев. – М.: Радиотехника, 2005. – 320 с.
5. Радиотехнические системы: Учебник для вузов / Под ред. Ю. М. Казаринова. – М.: Высшая школа, 1990. – 496 с.
6. Середович А. В. Современные наземные системы лазерного сканирования и возможности их применения в геодезии / А. В. Середович // Сборник материалов ЛШ международного научно-техн. конф., посвящ. 70-летию СГГА «Соврем, проблемы геодезии и оптики», Ч. IV, 11-12 марта 2003 г., Новосибирск. – Новосибирск. – 2003. – С. 367-370.

Поступила 25.09.2014

ЗАКАЗ
ЭЛЕКТРОННОЙ ВЕРСИИ ЖУРНАЛА
www.metaljournal.com.ua
контактный телефон, факс: 0562-46-12-95