



УДК 528.711

Новий варіант методики стереофотограмметричного знімання місцевості

В.Г. Бурачек¹, В.І. Зацерковний², В.Ю. Беленок²

¹Київський інститут землевпорядкування та інформаційних технологій при
Національному авіаційному університеті

²Чернігівський державний інститут економіки і управління

У статті розглянуто новий спосіб стереофотограмметричного знімання об'єктів місцевості, заснований на використанні цифрової оптичної камери, GPS-приймача та комп'ютерної обробки даних, який дозволяє отримувати просторові координати точок з високою точністю.

НОВЫЙ ВАРИАНТ МЕТОДИКИ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ МЕСТНОСТИ, Бурачек В.Г., Зацерковный В.И., Беленок В.Ю. — В статье рассмотрен новый способ стереофотограмметрической съёмки объектов местности, основанный на использовании цифровой оптической камеры, GPS-приёмника и компьютерной обработки данных, который позволяет получать пространственные координаты точек с высокой точностью.

A NEW VARIANT OF METHOD OF STEREOPHOTOGRAMMETRIC SURVEY OF TERRAIN, Burachek V.G., Zatserkovniy V.I., Belenok V.Yu. — A new method of stereophotogrammetric survey of terrain's objects based on use of digital optical camera, GPS and electronic data processing which makes it possible to get space coordinates of objects with high precision is considered in this article.

Ключевые слова: дистанционные аэрокосмические методы; стереофотограмметрия; геоинформационный анализ.

Key words: remote sensing methods; stereophotogrammetry; geoinformatic analysis.

1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сьогоднішній етап розвитку фотограмметрії та дистанційного зондування Землі характеризується все більшим поширенням цифрових методів знімання та все подальшим розвитком і вдосконаленням знімальної, навігаційної апаратури та, як наслідок, отримуваних аерокосмічних знімків. Використання в якості приймачів сигналів лінійкових та матричних детекторів на основі пристроїв із зарядовим зв'язком (ПЗЗ-елементів) при використанні GPS (глобальної системи визначення місцеположення), INS (інерційної навігаційної системи) та відповідних рівнянь зв'язку дозволяє отримувати просторові координати об'єктів місцевості. У той же час, підвищення характеристик знімальних систем (збільшення кількості каналів та кількості пікселів) та ускладнення програм обробки даних призводять до того, що в цифровій фотограмметрії залишається актуальною проблема розвантаження бортової пам'яті під час виконання знімання, автоматизації аерознімальних процесів та підвищення точності визначення просторових координат точок місцевості.

2. ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ПУБЛІКАЦІЙ

Відомі способи аерофотознімання, що включають стереофотограмметричну обробку даних і отримання планових та висотних координат точок місцевості. За результатами аерофотознімання обробку знімків виконують двома методами: стереотопографічним або комбінованим. Стереотопографічне знімання виконується двома способами: диференціальним та універсальним [1].

Диференціальний спосіб вирішує задачу обробки знімків на декількох приладах, одна частина яких призначена для виготовлення контурного фотоплану, а друга — для рисовки рельєфу.

Універсальний метод обробки знімків засновується на використанні методів та пристроїв, що дозволяють за результатами обробки пари знімків визначати одночасно планові і висотні координати точок. Всі процеси такої обробки виконуються на одному пристрої.

При комбінованому методі знімання за аерофотознімками складають лише контурну частину плану, а рельєф місцевості на цих планах знімають і зображають горизонталями за допомогою наземних методів топографії.

До недоліків наведених способів слід віднести великий обсяг ручної праці, пов'язаний з обробкою фотоматеріалів і геодезичними наземними роботами та розвитком мережі опознаків (розпізнавальних знаків).

Відомі способи дистанційного цифрового знімання місцевості, що базуються на застосуванні цифрових камер з ПЗЗ-матрицями (прилади з зарядовим зв'язком) [2]. Недоліком даних способів, як і в першому випадку, є необхідність геодезичних робіт по забезпеченню місцевості, що знімається, опознаками, та відсутність повної автоматизації процесу знімання та обробки цифрових знімків.

Також відомі способи лазерного сканування місцевості [3], які ґрунтуються на таких принципах лазерної локації. Лазерне сканування виконується системами повітряного базування лідар, які працюють за принципом безперервного отримання смуг сканування. Лазерний промінь в межах однієї смуги відхиляється дзеркалом або призмою, а набір смуг отримують за рахунок руху носія. На носії встановлюють GPS-приймач для фіксації просторових координат точок, та інерційно-навігаційну систему, що фіксує кути нахилу платформи з лазером. В результаті отримують просторові координати точок об'єкту. Тут до недоліків слід віднести низьку точність визначення планових координат і необхідність проведення додатково планового знімання [1, 2] з вищевказаними недоліками.

3. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

З огляду на переваги та недоліки вищенаведених способів та пристроїв аерознімання і на існуючі проблеми автоматизації знімальних робіт, представляється доцільним розглянути варіант стереофотограмметричного знімання місцевості, що забезпечує зниження обсягу ручної праці, повну автоматизацію процесу знімання та обробки отриманих даних при формуванні цифрової моделі місцевості в тривимірній системі координат.

4. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

В основі розробленого способу стереофотограмметричного знімання місцевості є сумісне використання цифрової оптичної камери, GPS-приймачів та комп'ютерної обробки даних. При кожній експозиції з заданою точністю визначають кути відхилення оптичної осі цифрової знімальної камери відносно вертикалі в двох взаємно перпендикулярних площинах (ZOX) та (ZOY), які відповідають осям фотоприймальної матриці, виконують класифікацію об'єктів, що виділяються на фоні місцевості (наприклад, за принципом, описаним в [4]), та оцифровку їх зображень для першої та другої експозиції, визначають на фотоприймальній матриці координати точки зеніту та точки нульового відліку відповідно положенню оптичної осі цифрової камери, за даними відхилення від вертикалі та різницями координат відліків зображень об'єктів по осям фотоприймальної матриці визначають висоти об'єктів, а за отриманими значеннями висот уточнюють значення ординат об'єктів місцевості. Розроблений спосіб дає можливість побудови цифрового плану та цифрової моделі рельєфу місцевості безпосередньо в польоті, автоматизації процесу побудови та підвищення точності визначення координат точок при цифровому зніманні.

На рис. 1 представлена схема пристрою, за допомогою якого реалізується розроблений спосіб, на якій відповідними цифрами позначено: 1 — цифрова знімальна камера (ЦЗК) з багатоелементним фотоприймачем (наприклад, ПЗЗ-матрицею); 2 — блок ранжування; 3 — блок обробки інформації; 4 — блок формування цифрового плану та цифрової моделі рельєфу; 5 — блок управління; 6 — точний датчик вертикалі; 7 — навігаційний блок; 8 — GPS-приймач; 9 — блок гіростабілізації; 10 — лазерний висотомір з блоком випромінювання; 11 — блок запису та збереження інформації. Всі блоки встановлюються на літальному апараті (носії знімальної апаратури). З корпусом ЦЗК 1 жорстко зістикований блок гіростабілізації 9. До корпусу ЦЗК 1 жорстко пристикований точний датчик вертикалі 6, схемно з'єднаний також з блоком гіростабілізації 9, наприклад, за схемою датчика вертикалі, описаного в [5].

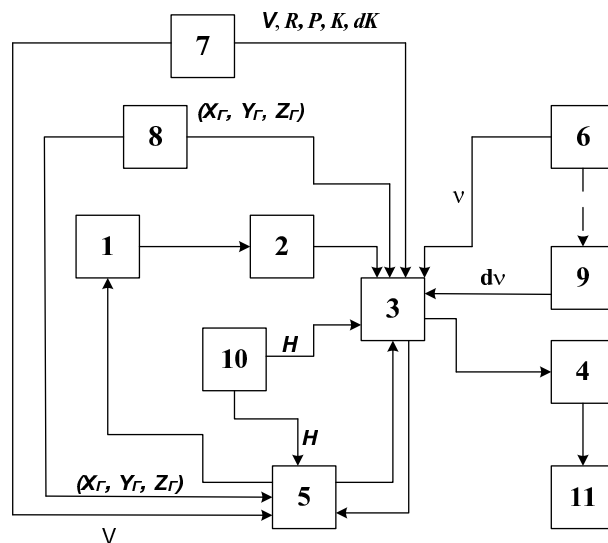


Рис. 1. Блок-схема пристрою

На початку маршруту знімання за допомогою блока управління 5 вмикають усі прилади та блоки пристрою. При виконанні першої експозиції об'єктів ЦЗК 1 формує зображення місцевості на мішені багатоелементного фотоприймача ЦЗК 1. Зображення місцевості у фотоприймачі перетворюється на сукупність електричних сигналів, що надходять у блок ранжування 2. У блоці 2 відбувається класифікація об'єктів за контрастністю, розміром та відтінком. Ця інформація у вигляді електронних кодів надходить до блоку обробки інформації 3. З GPS-приймача 8 до блоку обробки інформації 3 та блоку управління 5 періодично надходять сигнали з даними про точне положення точки знімання.

Для визначення кута ν відхилення оптичної осі ЦЗК 1 від вертикалі в моменти виконання знімання $t_{\text{зн}}$ використовують сумісну роботу датчика вертикалі 6 та блоку гіростабілізації 9. Вісь гіроскопу блоку 9 орієнтована в просторі в довільному напрямі. Датчик вертикалі 6 вимірює кути $\nu(t_{\text{засп}})$ відхилення оптичної осі ЦЗК 1 від вертикалі в моменти заспокоєння чутливого елемента датчика (наприклад, бульбашки) та передає результати вимірів до блоку обробки інформації 3. В моменти заспокоєння чутливого елемента датчика 6 оптично виконується прив'язка до осі гіроскопа блоку гіростабілізації 9, наприклад, за допомогою коліматора (це відображено оптичним зв'язком між блоками 6 і 9 на рис. 1). За інтервал часу між останнім моментом заспокоєння чутливого елемента датчика 6 $t_{\text{засп}}$ та моментом виконання знімання $t_{\text{зн}}$ вісь гіроскопу може зміститися від положення, в якому вона перебувала до моменту заспокоєння чутливого елемента. Відхід осі гіроскопу $d\nu(t_{\text{засп}} - t_{\text{зн}})$ свідчить про відхилення оптичної осі ЦЗК 1 від вертикального положення. Виміряне значення цієї величини передається з блоку гіростабілізації 9 до блоку обробки інформації 3 і слугує для визначення величини відхилення від вертикалі в моменти виконання знімання.

За допомогою застосовуваних у наш час гіростабілізуючих установок (наприклад, типу Н-55, ТАУ, ГУТ-9 та ін.), що використовують у своїй роботі тріступеневі гіроскопи, можна стабілізувати положення знімальної камери з точністю 10–15' [6]. При використанні гіростабілізуючої установки можна досягнути значення кута відхилення оптичної осі АФА від прямовисного положення 30'' [7]. Похибки гіроазимута характеризуються відходами осі гіроскопу в азимуті, які можуть становити від одиниць до десятків часток градуса за годину, що є достатнім для виконання знімання ЦЗК з високою точністю. За даними блоку гіростабілізації 9 (гіроазимут) також враховують зміну азимута осі багатоелементного матричного фотоприймача ЦЗК 1 між експозиціями та визначають траєкторію шляху ЦЗК (носія) з врахуванням даних GPS.

Отже, до блоку обробки інформації 3 надходять: з навігаційного блоку 7 — значення швидкості V руху носія, значення кутів крену R , тангажу P , курсу K , коливання курсу dK , з датчика вертикалі 6 — кут відхилення оптичної осі ЦЗК від вертикалі ν , з блоку гіростабілізації 9 — кут відходу осі гіроскопу за інтервал часу $[t_{\text{засп}}; t_{\text{зн}}]$, з блоку лазерного висотоміра 10 — значення висоти знімання H , з GPS-приймача — координати центру знімання $X_{\Gamma}, Y_{\Gamma}, Z_{\Gamma}$ (рис. 1).

На рис. 2 представлена схема реалізації запропонованого способу: S_1 і S_2 — положення центрів знімання на одному базисі; Z_1^M і Z_2^M — положення точок зеніту на фотоприймальних матрицях на одному базисі; N_1 і N_2 — положення точок надіру на одному базисі; H_1 і H_2 — висота знімання з одного базису; O_1 і O_2 — проекції на місцевість центрів багатоелементних фотоприймачів при двох послідовних зніманнях; (XYZ) — системи координат багатоелементного матричного фотоприймача, причому вісь X спрямована вздовж напрямку руху літального апарату, вісь Z — вздовж місцевої вертикалі, а вісь Y доповнює дану систему координат до правої; P_1 і P_2 — положення об'єкта знімання, отримане з базису знімання на проекціях на місцевості першого та другого багатоелементних фотоприймачів; α_1 і α_2 — кути між надирними та проектуючими променями для базису знімання; ν_1 і ν_2 — кути відхилення від вертикалі; (1) і (2) — проекції на місцевість багатоелементних фотоприймальних матриць, отримані з одного базису знімання; h — висота об'єкта (точки P) над відліковою площиною (наприклад, площиною середньої висоти знімання); $(X_{\Gamma}Y_{\Gamma}Z_{\Gamma})$ — геодезична система координат.

Літерами зі штрихами на рис. 2 позначені проекції відповідних елементів на площину (XZ) .

Абсциси та ординати центрів знімання в геодезичній системі координат визначаються безпосередньо за відліками GPS. Відносно центрів знімання в геодезичній системі координат $(X_{\Gamma}Y_{\Gamma}Z_{\Gamma})$ обчислюються координати точки зеніту на фотоприймальній матриці (наприклад, Z_1^M), в якій знаходиться початок системи координат матриці (XYZ) . Відносно цієї точки визначаються координати об'єктів місцевості в системі (XYZ) , що потім перераховуються в геодезичну систему координат $(X_{\Gamma}Y_{\Gamma}Z_{\Gamma})$, при цьому в ординати вводиться поправка ΔY .

Істинне значення висоти об'єкта (точки P) відносно деякої відлікової площини (наприклад, площини середньої висоти знімання) — величина h — визначається перетином відповідних проектуючих променів S_1P_1 і S_2P_2 . Це ілюструє рис. 3,а. З блоку 1 до блоку 3 надходять значення абсцис об'єктів місцевості, наприклад, точок P'_1 і P'_2 , у системі координат (XYZ) (це є відліки по фотоприймальній матриці), за

якими обчислюється значення величини h :

$$h = H_1 \frac{\Delta X_1}{X_1} = H_2 \frac{\Delta X_2}{X_2}, \quad (1)$$

де ΔX_1 і ΔX_2 — прирости абсцис об'єктів відносно точки zenіту на фотоприймальній матриці для проєкцій матриць (1) і (2), відповідно; X_1 і X_2 — значення абсцис об'єкту, відраховані відносно точок zenіту на фотоприймальній матриці.

Якщо об'єкт розташований вище середньої висоти знімання $H_{\text{ср}}$, то значення його висоти буде перевищувати $H_{\text{ср}}$ на величину h , тобто складатиме $(H_{\text{ср}} + h)$, якщо нижче, то $(H_{\text{ср}} - h)$. Вирахувані значення висот об'єктів передаються з блоку обробки інформації 3 до блоку формування цифрового плану та цифрової моделі рельєфу 4.

Перехід від координат точок на фотоприймальній матриці до координат точок на місцевості можна виконати за відомими з фотограмметрії формулами зв'язку.

Розглянемо проєкцію елементів знімання на площину (YZ) . Оскільки частота виконання експозицій

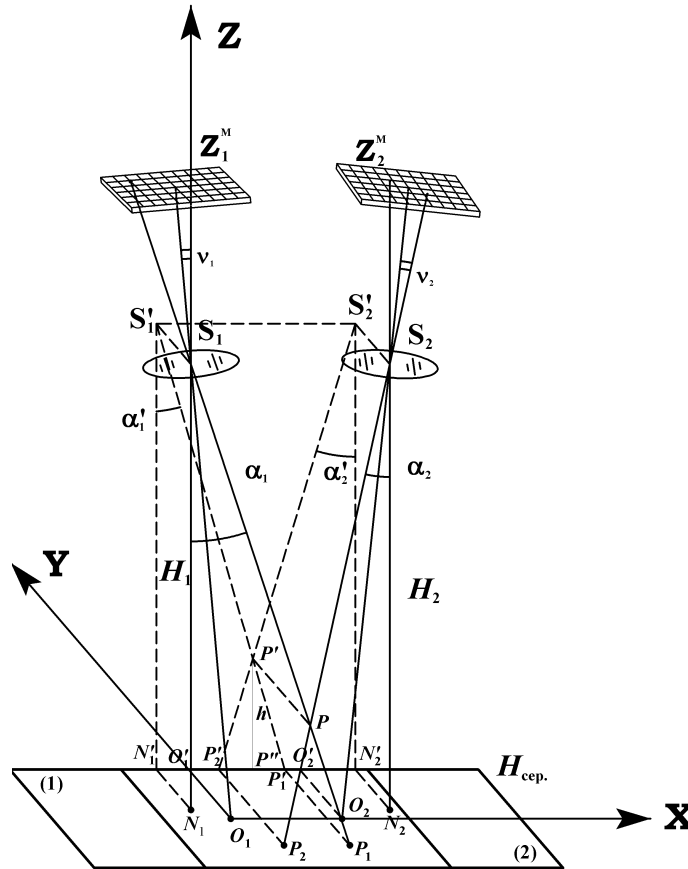


Рис. 2. Схема реалізації розробленого способу

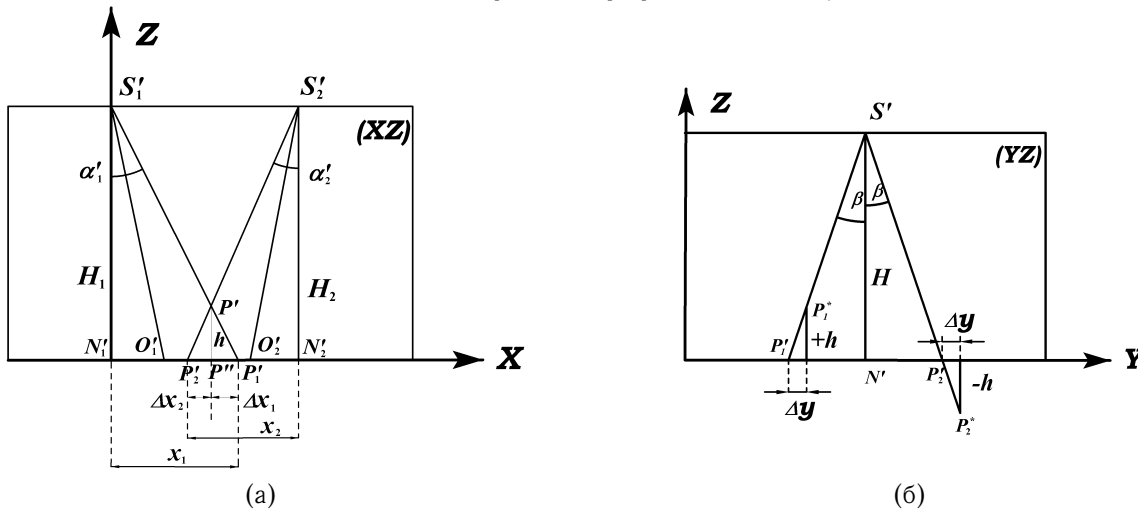


Рис. 3. Визначення координат точок місцевості

ЦЗК є досить високою (наприклад, для ЦЗК ДМС інтервал знімання складає 2 с/кадр), то коливання курсу будуть незначними за проміжок часу між експозиціями, а отже відповідні точки лежатимуть на прямій, паралельній осі X , тобто зіллються в одну точку при проектуванні на площину (YZ). Тоді матимемо точки, зображені на рис. 3,б, де β — кут, що є проекцією на площину (YZ) кута між проектуючим променем об'єкту місцевості і надирним променем. За відомими висотами точок визначаємо реальні значення їх ординат, причому, у залежності від того, чи є реальна висота об'єкту місцевості більшою H^+ або меншою H^- , ніж висота відлікової площини (наприклад, площини середньої висоти знімання), матимемо наступні формули для введення поправки в значення ординати об'єкту місцевості:

$$H^- = H_{\text{ср}} + \Delta Y, \quad H^+ = H_{\text{ср}} - \Delta Y,$$

де величина поправки ΔY обчислюється блоком обробки інформації 3 як відстань від точки перетину проекції проектуючого променя об'єкту на площину (YZ) з віссю Y (точки P'_1 або P'_2 на рис. 3,б) до точки, утвореної відкладанням від осі Y (площини з висотою $H_{\text{ср}}$) в ортогональному напрямку величини h , обрахованої для даного об'єкту, до перетину з проекцією на площину (YZ) проектуючого променя даного об'єкту. Тобто ΔY — це є поправка, яку треба ввести у виражене відносно точки зеніту на фотоприймальній матриці значення ординати об'єкту, щоб отримати реальне значення висоти цього об'єкту над площиною $H_{\text{ср}}$.

З блоку обробки інформації 3 вираховані координати точок надходять до блоку формування цифрового плану та цифрової моделі рельєфу 4, де відбувається прив'язка визначених координат точок на фотоприймачі до відповідних об'єктів на місцевості згідно даних GPS-вимірювань. Сигнал з блоку формування цифрового плану та цифрової моделі рельєфу передається до блоку запису та збереження інформації 11. В процесі аерознімання непотрібна інформація видаляється з блоку. Даний спосіб можна використовувати і при наявності опознаків. У цьому випадку за координатами опознаків уточнюють координати об'єктів знімання.

Дані, що безпосередньо отримуються під час виконання знімання і надходять до оперативної пам'яті бортового комп'ютера, після надходження до блоку обробки інформації 3 та проведення з ними необхідних обчислень, результатом яких є визначення координат та висот точок об'єктів знімання, зтираються з оперативної пам'яті бортового комп'ютера, тим самим усуваючи необхідність у використанні великого об'єму дороговартісної пам'яті на жорсткому диску.

5. ВИСНОВКИ

В розробленому способі стереофотограмметричного знімання місцевості пропонується принципово новий варіант використання сітки пікселів ПЗЗ-матриці — як картографічної сітки. Спосіб дозволяє автоматизувати процес цифрового знімання місцевості, має високу точність визначення координат та висот точок, які є вихідними даними для побудови безпосередньо в польоті цифрової моделі рельєфу з введенням поправок за спотворення взаємодіючих векторів променів візування в геодезичній і приладовій системах координат. Це дає можливість звільнити бортову пам'ять від проміжних даних, зменшити об'єм ручної роботи і послідовно виконувати в процесі польоту обчислення координат точок та залишати в літаку готові цифрові моделі рельєфу для кожної пари знімків і, таким чином, звільнити оперативну пам'ять бортової системи як мінімум на 50%.

1. Лобанов А.Н., Буров М.И., Краснопевцев Б.В. Фотограмметрия. — М.: Недра, 1987. — 310 с.
2. Дорожинський О.Л., Тукай Р. Фотограмметрия: підручник. — Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2008. — 332 с.
3. Медведев Е.М., Данилин И.М., Мельников С.Р. Лазерная локация земли и леса. — М.: Геолитар, Геокосмос, Красноярск: Инст-т леса им. Сукачёва СО РАН, 2007. — 230 с.
4. Матиясевич Л.М., Антипов А.В. О простейших количественных дешифрировочных признаках // Геодезия и картография. — 1987. — № 3. — С. 30–33.
5. Научно-исследовательская работа «Применение технологий ДЗЗ для решения задач кадастра и мониторинга земель» (научный руководитель д.т.н., проф. Бурачек В.Г.). — Чернигов–Киев, 2011 р. (номер государственной регистрации 0211U008173).
6. Назаров А.С. Фотограмметрия: учебное пособие для студентов вузов. — Минск: ТетраСистемс, 2006. — 368 с.
7. Кузьмин Б.С., Герасимов Ф.Я., Молоканов В.М. и др. Топографо-геодезические термины. Справочник. — М.: Недра, 1989. — 261 с.
8. Дорожинський О.Л. Цифрова фотограмметрия — сучасний стан та чинники її розвитку // Укр. міжвідомчий н.-т. збірник "Геодезія, картографія і аерофотознімання". — 2005. — № 66. — С. 136–143.
9. Беленок В.Ю., Бурачек В.Г., Дерун І.Ю., Зацерковний В.І. Вирішення задач автоматизації стереознімання // Астрономічна школа молодих вчених: міжнародна наукова конференція, 12–14 травня 2001 р: тези доповідей. — Чернігів: Чернігівський національний педагогічний університет, 2011. — С.8.

Надійшла до редакції 29.09.2011