

ОСОБЛИВОСТІ ПРАКТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ВІРТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ МІСЦЕВОСТІ

© Москаль Н., Ломпас О., 2009

Исследовано особенности подготовки данных и решения задач трехмерной визуализации цифровой модели местности с использованием программного обеспечения ЦФС Delta и инструментальной ГИС Панорама

Peculiarities of data preparation and solution of 3D digital terrain model visualization task by means of Digital photogrammetric station “Delta” and instrumental GIS Panorama

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Технологічні аспекти створення віртуальної метричної моделі місцевості тісно пов'язані методиками моделювання геопросторових даних. Теоретичні дослідження питання тривимірного моделювання геопросторових даних прямують до завершення (10, 21, 22), і свідченням цього є формування концепції уніфікованої моделі рельєфу земної поверхні та геопросторових об'єктів ситуації, зреалізованої у вигляді стандарту ISO 19107 – Spatial schema. Однак, на даному етапі для всіх країн світу, незалежно від рівня впровадження геоінформаційних технологій, розробка та впровадження повноцінних тривимірних геоінформаційних систем на базі уніфікованої моделі залишається проблемою комплексною, технічно, організаційно і фінансово важкою для впровадження. Тому, поки концепцію уніфікованої геометричної моделі не реалізовано в нових універсальних інструментальних ГІС і величезні фонди геоданих не буде перетворено згідно вимог цієї моделі, актуальною залишається задача дослідження і розроблення різних методик тривимірного моделювання і візуалізації місцевості. Для практиків в Україні, де фонд цифрових геоданих останніми роками потужно нарощується, але є розрізненим в плані моделей і форматів, особливо важливим завданням є розробка різних технологічних схем і методик 3D моделювання і візуалізації місцевості в середовищах найбільш популярних програмних продуктів, серед яких найбільш поширеними є пакет програм Digitals (модуль програмного забезпечення ЦФС Delta) та ГІС Панорама.

Постановка завдання. Метою даної роботи є дослідження можливостей та особливостей практичного використання сучасних програмних продуктів для створення цифрової моделі місцевості та візуалізації її у тривимірному форматі. Пропонуються технологічні схеми та результати практичного опробування методики реалізації тривимірної моделі місцевості з використанням програмного забезпечення цифрової фотограмметричної станції Delta та інструментальної ГІС Панорама.

Виклад основного матеріалу досліджень. В існуючих інструментальних ГІС та спеціалізованих програмних пакетах, які розробляються в Україні та інших державах (1, 8, 12, 16, 17, 18, 20), візуалізація реалістичного тривимірного метричного зображення місцевості виконується методом синтезу тривимірних зображень цифрових моделей рельєфу (ЦМР) та ситуації (ЦМС). Методи і методики моделювання рельєфу на сьогоднішній день досить добре досліджені (3, 14, 15, 19) і впроваджені в спектр функцій як спеціалізованих програмних продуктів (Surfer, Digitals), так і у інструментальних ГІС (Панорама, ArcGIS, ArcInfo). Однак питання моделювання та тривимірної візуалізації об'єктів, що розташовані на земній поверхні, до цих пір є предметом досліджень і завданням для вдосконалення в геоінформаційних інструментах.

Інструментарій геоінформаційних систем, використовуючи методи обробки зображень, все більше націлений на використання растрових просторово-прив'язаних даних та моделей. Цьому сприяє швидке впровадження технологій цифрової фотограмметрії для підготовки даних. Один із її основних продуктів – ортофотозображення – створює також цифрову геометричну основу для вимірювання, а в ідеалі для автоматичного розпізнавання всіх типів об'єктів з прийнятною точністю. Разом з тим, сучасні інструментальні ПС все ще не забезпечують високоточного автоматичного розпізнавання об'єктів за растром, особливо це стосується міських забудованих територій. Ці недоліки програмного забезпечення компенсуються наявністю інтерактивного режиму, який дозволяє оператору „вручну” виконувати певні етапи підготовки даних. Показовим в цьому плані є популярний програмний модуль Digital, в останніх версіях якого появилася нова можливість – створення віртуальної моделі місцевості методом синтезу цифрових моделей рельєфу і ситуації.

Дослідження можливостей пакету програм Digital для створення тривимірної моделі місцевості за результатами стереоскопічних вимірювань.

Для досліджень використовувалась нова версія програмного модуля - Digital/Delta for Windows V 5.0 Prof (Demo) Технологічна схема процесу побудови вказаної моделі наведена на Мал. 1.

Розглянемо детальніше особливості опрацювання даних на кожному етапі технології.

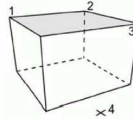
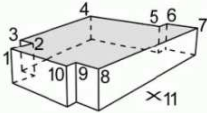
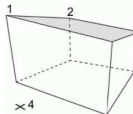
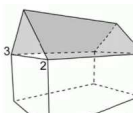
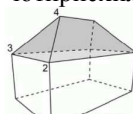
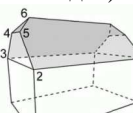
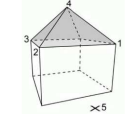


Створення ЦМР виконується в стереоскопічному режимі оператором за стандартною методикою, прийнятою у цифровій фотограмметричній станції Delta.

Побудова моделі ситуації також виконується за стандартною схемою, а методика збору конкретних об'єктів залежить від їх типу. Особливу увагу слід звернути на нову можливість збору таких об'єктів як будинки та споруди. Оскільки в реальному світі вони різноманітні, то, з огляду на наступну 3D візуалізацію, виникає необхідність класифікувати їх, виділяючи типові елементи. Програма Digital/Delta for Windows V 5.0 Prof (Demo) пропонує 17 шаблонів для класифікації об'єктів забудови в процесі вимірювання. Оцінюючи вигляд будівлі, оператор класифікує її елементи стосовно запропонованих шаблонів, вибирає необхідний шаблон або шаблони і стереоскопічно вимірює точки, за схемою, вказаною у шаблоні. Особливості вимірювання в стереорежимі найбільш типових шаблонів наведено у Таблиці 1.



Мал. 1. Технологічна схема підготовки даних та тривимірного моделювання місцевості у ПП Digital

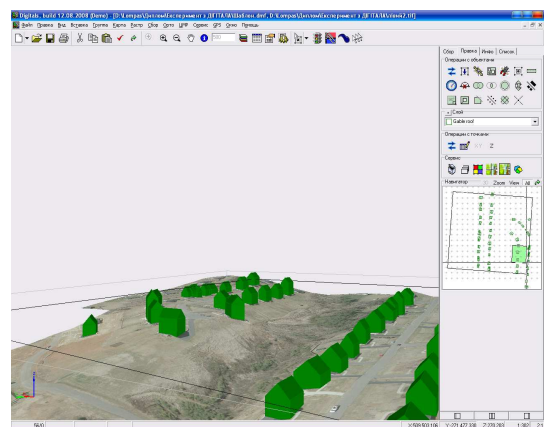
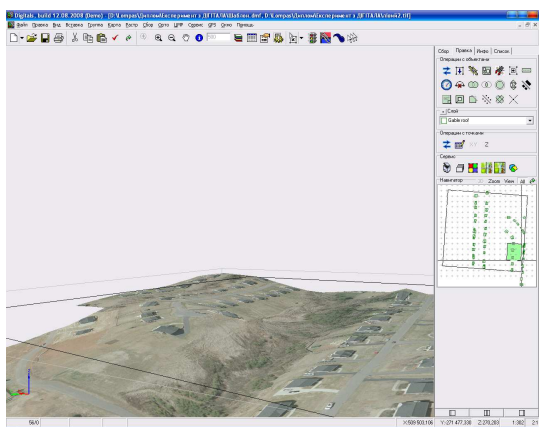
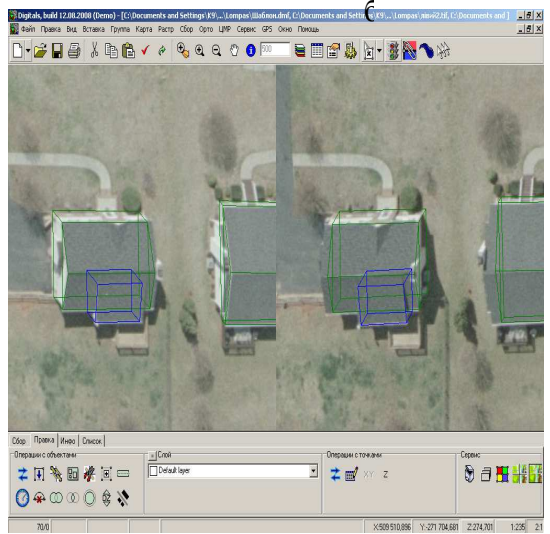
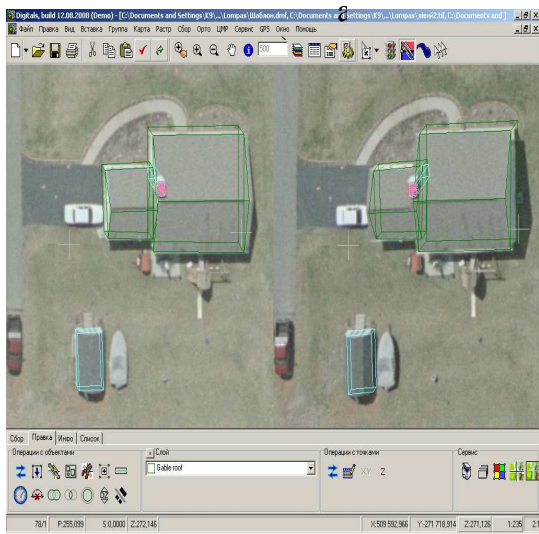
Таблиця 1.
Характеристика дій оператора в процесі стереоскопічного вимірювання будівель з використанням шаблонів.

Шаблон	Послідовність дій оператора	Доцільність застосування
<p><u>Flat roof</u> (Плоский дах)</p> 	Реєструються точки по кутах 1-3 на краю даху, далі наводять на 4-у точку, „опускають” її з даху і реєструють.	Використовується переважно для збору прямокутних панельних будинків.
<p><u>Flat Roof with more or less than four corners</u> (Плоский дах з більш ніж 4-ма кутами).</p> 	Реєструються точки по кутах 1-10 на краю даху, наводяться на 11-у точку, „опускають” її з даху і реєструють.	Використовується для збору панельних будинків складної конфігурації.
<p><u>Lean-to roof</u> (Похилий дах).</p> 	Реєструються точки 1-3 на краю даху, а 4-а садиться на землі	Можна застосувати для викреслювання дашків, навісів.
<p><u>Gable Roof</u> (Теремок) Двосхилий дах.</p> 	Реєструються точки по кутах 1-3 на краю даху, наводяться на 4-ий кут, „опускають” марку з даху і реєструють. Перші дві точки повинні бути паралельними коньку даху. Коньок створюється автоматично і його висоту можна пізніше коректувати.	Можна використовувати для збору об'єктів забудови у сільській місцевості.
<p><u>Hip Roof</u> (Теремок зі схилом) - вальмовий чотирихилий дах.</p> 	Реєструються точки по кутах 1-3 на краю даху (перші дві точки повинні бути паралельними коньку даху). Четверту точку „садиться” на коньок, п'яту – на землю	Використовується для моделювання об'єктів у сільській місцевості (“шевченківських хат”).
<p><u>Hipped Gable Roof</u> (напіввальмовий дах).</p> 	Реєструються точки по кутах 1-3 на краю даху (перші дві точки (лінія) повинні бути паралельними коньку даху). Точки 4-5 реєструються на краю „дашка”, точка 6 – зверху на початку конька, точка 7 – на землі. Протилежні точки створюються автоматично.	Використовується для збору об'єктів у сільській місцевості із складним дахом.
<p><u>Tent Roof</u> (шатро).</p> 	Реєструються точки по кутах 1-3 на краю даху, точка 4 реєструється на коньку, точка 5 – на землі. Висота конька може потім коректуватись.	Використовується для викреслювання об'єктів з шатровидним дахом.
<p><u>Tower</u> (вежа).</p> 	Точки 1-3 формують площину верхнього круга циліндра. Точка 4 „садиться” на землю. Щоб отримати конічну або усічену вежу, потрібно відрегулювати відповідне коло на землі або на краю даху башти, утримуючи натиснутою кнопку SHIFT під час повільного руху миші. Якщо перетягувати коло на землі або даху без натиснутої клавіші SHIFT, радіус кіл на даху і землі стане однаковим .	Може використовуватись для збору, наприклад, заводських труб
<p><u>Tower Roof</u> (вежа з конічним дахом) – “олівець”.</p> 	Точки 1-3 реєструються на краю даху. Точка 4 „садиться” на коньку, а точка 5 реєструється на землі.	Використовується для моделювання об'єктів з конічним куполоподібним дахом.

На Мал.2. показано результати експерименту на базі стереопари тестових фотограмметричних знімків масштабу 1:8000 у ПП Digital/Delta for Windows Version 5.0 Professional, build 12.08.2008 (Demo). Цифрова модель рельєфу побудована з кроком 25 м. Для дослідження методики збору будівель вимірювання проводилось для 70 об'єктів, з яких 54 об'єкти – будівлі з двохсхилим дахом (Gable Roof), 8 об'єктів – будівлі з похилим дахом (Lean to Roof), 6 об'єктів – будівлі з плоским дахом (Flat Roof), 2 об'єкти – моделювався димар, Tower Roof – вежа конічним верхом.

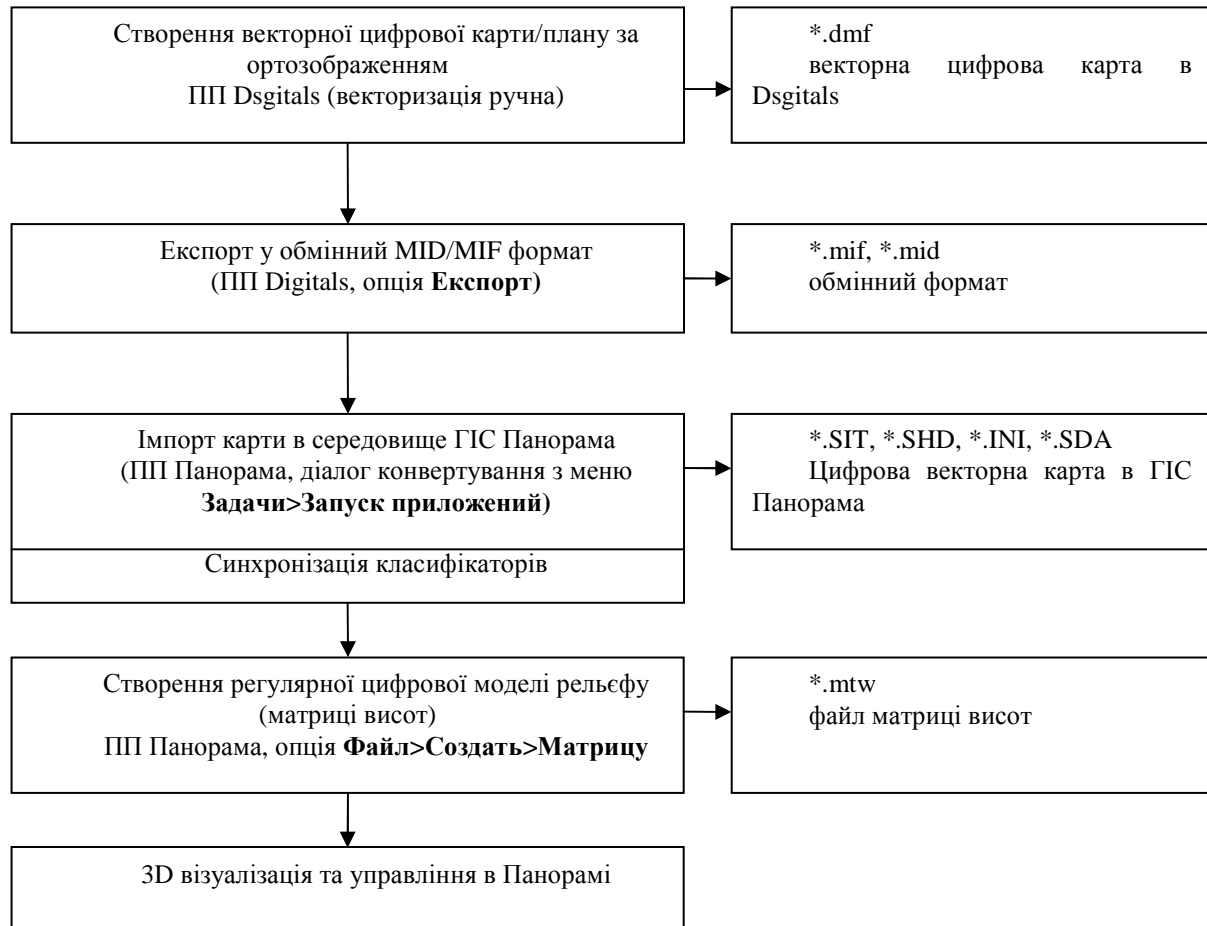
Синтез зображень виконується сукупністю команд **Вид>Трехмерный, Вид>Полный**, які генерують візуалізацію ЦМР каркасного виду і шарів об'єктів із відкритого dmf файлу. В цій ситуації контекстне меню дозволяє активувати функцію **Загрузить текстуру для ЦМР...**, яка надає користувачу діалогове вікно для вибору оператором файлу текстури (назви знімку чи ортофотозображення). Для текстури можна використовувати не тільки трансформовані фотограмметричні знімки, але і будь-які геопривязані зображення у форматі TIF. У Digital є команда для автоматичної генерації текстур із опрацьовуваної стереопари аерознімків, знятих камерою 3-DAS-1.

Із мал. 2е видно, що моделі будинків не мають реалістичного відображення через відсутність текстури для стін і дахів будівель. Механізм створення текстур для об'єктів із контекстного меню 3D моделі недоступний і в інтерактивній допомозі (help) даного програмного продукту не документованій. Пошук інформації на форумі користувачів Digital (23) показує, що існує можливість на базі знімків автоматично згенерувати файл текстури. Це файл текстового формату, структуру та вміст якого можна проглянути у закладці **Инфо** для кожного вибраного об'єкта 2D карти. Однак для досліджуваної версії Digital його сформувати не вдається і тому відображення вигляду об'єктів далеке від їх реального вигляду.



д) е)
 Мал. 2. Створення віртуальної моделі місцевості за стереопарою фотограмметричних знімків в програмі Digital/Delta for Windows V 5.0 Prof (Demo).
 а), б)-стереопара знімків $M 1:8000$ (знятих камерою RMK TOP 15, $f=145.860$ mm); в), г)-вимірювання будівель за шаблонами; д)- синтез зображень ЦМР та текстури зорієнтований знімок); е)- синтез 3D моделі рельєфу і шару об'єктів „будівлі”;

Дослідження пакету програм Digitala показали, що розв'язання задачі побудови прецизійної віртуальної моделі місцевості, де важливе значення має точне представлення висотної компоненти об'єктів, накладає певні умовності на процес стереоскопічних вимірювань об'єктів. Це ускладнює і збільшує вартість підготовки даних. Разом з тим досліджується нова версія програмного забезпечення цифрової фотограмметричної станції Delta, не підтримує сучасні вимоги для інтелектуальної тривимірної візуалізації об'єктів.



Мал. 3. Технологічна схема створення віртуальної моделі місцевості на базі цифрової векторної карти *dmf* формату

Створення віртуальної моделі місцевості у ГІС Панорама за даними файлу *dmf* формату.

Як бачимо з попереднього викладу всі процеси - від етапу збору даних (x, y, z) про місцевість до представлення в тривимірному відображенні на екрані – поки що проблематично виконати в одному програмному середовищі, тому виникає необхідність розробки технологічної схеми, яка передбачає використання можливостей різних інструментів. Нами пропонується технологічна схема (Мал.3), в якій для збору даних і формування моделі застосовується програмне забезпечення ЦФС Delta, а тривимірна візуалізація здійснюється в середовищі ГІС Панорама, яка надає ширші можливості у відтворенні реалістичних зображень об'єктів.

Розглянемо особливості кожного етапу технологічної схеми, яка опробувалась з використанням планшету цифрового векторного плану масштабу 1:2000 міста Харкова, створеного в пакеті програм Digitala на базі ортофото.

Створення цифрового векторного плану. Програма Digitala дозволяє проводити збір векторної інформації за растровими зображеннями (ручну векторизацію) в моно режимі, тобто на базі відсканованих карт, планів, аерофотознімків, космічних знімків центральної та панорамної

проекцій. У результаті формується векторна цифрова карта\план, які представляються 2D або 2,5D (коли цифруються горизонталі) топологічною моделлю місцевості. Кожен об'єкт карти належить до деякого шару. Шар є основною характеристикою об'єкту - він визначає групову приналежність об'єкту і його вигляд на карті. Кожен шар має ім'я (наприклад, будівлі житлові вогнестійкі) і ідентифікатор (ID) – унікальний восьмизначний код шару, який повинен відповідати класифікатору прийнятому для певного масштабного ряду. Всі шари і об'єкти цифрового плану, створеного за стандартною для даного пакету програм методикою, зберігаються у файлі dmf формату.

З метою передачі інформації у інші програмні системи Digitals надає можливість збереження даних цифрових векторних карт у різних обмінних форматах. Вибраний нами текстовий, обмінний MapInfo MIF/MID формат докладно описаний у документації та підтримується практично усіма інструментальними ГІС. ГІС Панорама має функціонально повний конвертор даного формату, який надає користувачу можливість автоматичного або інтерактивного формування структури шарів і об'єктів карти, яка імпортується із цього формату, а також впливати на структуру атрибутивних характеристик(семантики) об'єктів у шарах. Даний конвертор також створює діалогове середовище для коректування розбіжностей у різних системах класифікації для карт і планів одного масштабного ряду.

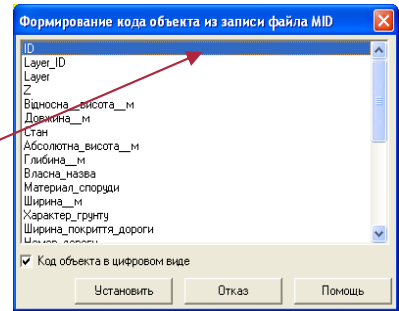
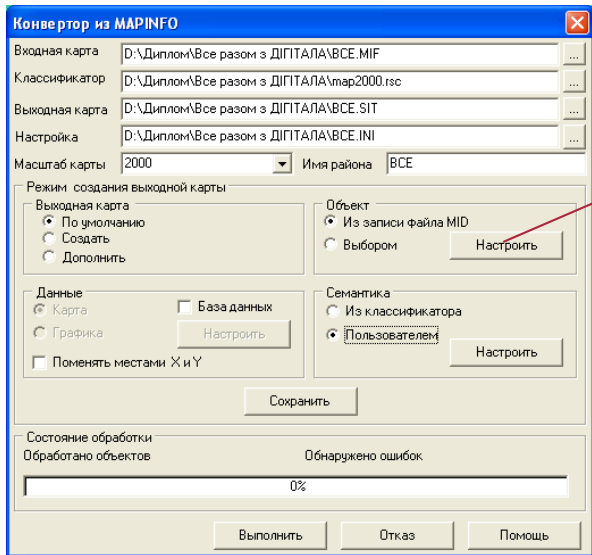
Імпорт карти у Панораму здійснюється командою головного меню **Задачи>Запуск приложений>Конвертор** із формату MIF/MID (Мал.4). У цьому діалозі слід вказати назви вхідних/вихідних файлів, масштаб та через ключове поле (поле ID коду або поле назви умовного знаку об'єкта) встановити відповідність між класифікатором ГІС Панорама та обмінним файлом MID, в який передались коди об'єктів класифікатора Digitals.

Однак, як показує практика, існує **проблема автоматичної синхронізації класифікаторів** шляхом встановлення відповідності значень ключового поля, оскільки класифікатор Digitals і класифікатор ГІС Панорама мають не тільки різні назви умовних знаків (на різних мовах), але і різні системи кодування (на мал.4 жовтим кольором позначено стрічки для поодиноких записів, де коди співпадають). Тому, необхідно підлаштувати класифікатори таким чином, щоб для об'єктів даної карти або коду (мал.4), або назви умовних знаків були однаковими. Це зручно зробити в середовищі ГІС Панорама командою **Задачи> Редактор класифікатора...** і у діалозі змінити код чи назву умовного знаку.

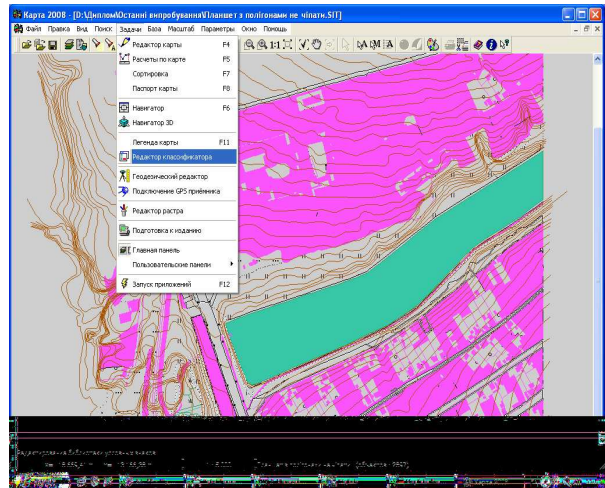
Для імпортованих файлів MIF/MID формату, які представляють векторні цифрові карти із однаковою за структурою сукупністю об'єктів та із однаковими настройками для атрибутивних характеристик, користувач може налаштувати параметри завантаження та зберегти у файлі настройки. Тоді, у наступних сеансах імпорту файлів MIF/MID процедуру синхронізації класифікаторів не повторяють, досить завантажити відповідний файл настройки. В результаті конвертації отримуємо векторну цифрову карту(ВЦК) у внутрішньому форматі ГІС Панорама.

Створення регулярної ЦМР (в термінах ГІС Панорама - матриця висот).

Матриця висот - тривимірна растрова модель місцевості, яка має регулярну структуру і містить елементи, значеннями яких є висоти рельєфу місцевості. Кожен елемент матриці містить одне значення висоти. Структура матриці висот аналогічна структурі цифрової моделі рельєфу DEM (Digital Elevation Model).

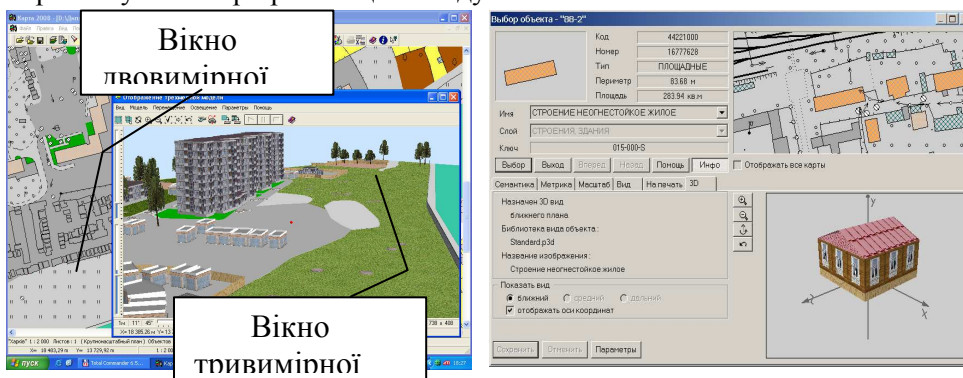


Digitals		ГИС Панорама	
ID код	Назва шару	ID код	Назва шару
44200001	Будівлі житлові вогнестійкі (КЖ)	44210000	Строение жилое огнестойкое
44200002	Будівлі нежитлові вогнестійкі (КН)	44212000	Строение нежилое огнестойкое
44200003	Будівлі житлові невогнестійкі (Ж)	44221000	Строение жилое неогнестойкое
44200004	Будівлі нежитлові невогнестійкі (Н)	44222000	Строение нежилое неогнестойкое
44308000	Сходи біля будинків, ганків	46430000	Ступени
71310000	Зарослі очерету	71310000	Камыши и тростник
71321000	Газон	71325000	Газон, клумба
45270000	Навіси на стовпах	47110000	Навес на столбах
71314000	Травна рослинність лук	71314000	Луговая растительность



Мал.4. Процедура синхронізації класифікаторів ПП. Diditals та ГИС Панорама в процесі вводу і конвертації файлу MID/MIF формату

Матрицю висот (ЦМР) побудують командою головного меню Файл>Создать>Матрицу, вказуючи такі входні параметри : крок вдовж кожної із осей координат, спосіб обчислення висот елементів матриці (метод побудови поверхні), перелік шарів цифрової векторної карти, координати об'єктів якої використовуються при реалізації методу.



Мал.5. а) Вікна візуалізації двовимірної і тривимірної карт
б) Вікно редагування тривимірного виду об'єкту

Створення віртуальної моделі місцевості (3D візуалізація) можливе за умови відкритого вікна двовимірної карти та підключення матриці висот у режимі виконання команди Задачи>Навигатор 3D. Візуалізатор тривимірної моделі місцевості дозволяє працювати в межах району, що

відображається у вікні двомірної карти, або з будь-яким вибраним його фрагментом (Мал.5 а). Відображенням 3D моделі користувач може управляти: вибирати висоту орієнтуру, кут спостереження і кут повороту моделі, масштаб відображення моделі, задати опцію “прозорий вигляд” – поверхня моделі стає прозорою, дозволяючи побачити об’єкти, розташовані під землею(мал.5е). У вікні тривимірної моделі можливий також вибір окремого об’єкту, при цьому відкривається вікно “Выбор объекта”, яке містить інформацію про його параметри (метричні дані, код, семантику), надає можливість друку виду 3D об’єкта, його параметрів та фрагменту району карти, де він розташований, а також дозволяє редагувати тривимірний вид об’єкта (Мал.5 б). Після збереження змін тривимірного виду об’єкта, вид всіх інших об’єктів із тим же кодом на 3D віртуальній моделі автоматично оновлюється. Вигляд фрагментів тривимірної моделі м.Харкова наведено на мал.6.

Висновки



*Мал.6. Вигляд фрагментів тривимірної моделі м.Харкова
 а) мікрорайон, б) водосховище, в) гаражі, г) багатоповерхові будинки, д) АЗС і трамвайні колії, е) підземні комунікації*

На сьогоднішній день важко назвати пакет програм, який в повному об'ємі поєднував би нові автоматизовані методики підготовки даних та сучасні можливості для інтелектуальної тривимірної візуалізації

Для задач, які не вимагають високої точності відтворення висотної компоненти (планування забудови території) для тривимірної візуалізації прийнятним є застосування адаптивних моделей об'єктів. Це здешевлює і прискорює процес підготовки даних та дає можливість використати фонд геоданих, нагромаджений у двовимірних ГІС. Ця технологічна схема, опробована нами з використанням ГІС Панорама і прийнятна для двох варіантів підготовки даних : в середовищі ГІС Панорама; в середовищі ПП Digitala чи інших пакетів, які допускають експорт в MIF/MID формат.

Якщо вимоги до точності візуалізації висотної компоненти високі, то в цьому випадку слід виконувати вимірювання за стереомоделлю місцевості (на ЦФС Дельта) з використанням програми Digitala. Для візуалізації у цьому випадку застосовується адаптивна параметрична модель. Ця технологічна схема нами досліджувалась з використанням ПП Digitala на всіх етапах – від підготовки даних до візуалізації. Дослідження показали, що 3D візуалізатор Digitala/Delta for Windows V 5.0 Prof (Demo) поки що не надає можливості реалістичного відображення об'єктів.

1. Башков Е.А., Аноприенко А.Я., Бабков В.С. *Дзгу в виртуальном мире: создание трехмерных моделей городских ландшафтов.* Донецкий Государственный Технический Университет. 2. Бусыгин Б.С., Гаркуша И.Н., Серединин Е.С., Гаевенко А.Ю. *Инструментарий геоинформационных систем (справочное пособие).* – Киев, ИРГ «ВБ». – 2000. 3. Буритинська Х.В. *Теоретичні та методологічні основи цифрового моделювання рельєфу за фотограмметричними та картометричними даними.* Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. Львів – 2003. 36 с. 4. *Геоинформационная система "карта 2005". импорт векторных электронных карт. Руководство пользователя. Редакция 1.0.* Панорама 1991-2000. Ногинск. 5. *Геоинформационная система "карта 2005". технология построения трехмерной модели.* Редакция 2.0. Панорама 1991-2007. Ногинск. 6. *Геоинформационная система "карта 2005". обработка матриц и tin-моделей. Руководство пользователя. Редакция 2.1.* Панорама 1991-2006. Ногинск. 7. *Геоинформационная система "карта 2005". Создание и редактирование классификаторов векторных карт. Версия 9.0.* Панорама 1991-2006. Ногинск. 8. Энди Митчелл. *Руководство по ГИС анализу.- Часть 1; Пространственные модели и взаимосвязи.; Пер. с англ.- Киев, ЗАО ЕСОММ Со; Стило, 2000.* 9. Кошкарев Ю.К., Сорокин А.Д. *Форматы и стандарты цифровой пространственной информации // ГИС- обозрение, Весна. 1995.* 10. Лященко А., Иванченко С., Смирнов В. *Концептуальні моделі геопросторових даних // Науково-технічний збірник. Вип. 51: Інженерна геодезія. К.: КНУБА, 2005.* 11. Лященко А.А., Смирнов В.В., Шлапак В.А. *Формування віртуальної просторової моделі міської забудови на основі бази цифрових картографічних даних // Містобудування та територіальне планування. - К.: КНУБА, 2002. - Науково-технічний збірник. Вип. 13. - С. 131 - 140.* 12. Москаль Н.М. *Розробка технології створення та візуалізації 3D моделі місцевості, // Геодезія, картографія і аерофотознімання. Міжвідомчий наук.-техн.збірник. Вип. 63, Львів, 2003.* 13. Москаль Н.М. *Третій вимір в геоінформаційних системах: передумови та шляхи реалізації.// Геодезія, картографія і аерофотознімання. Міжвідомчий наук.-техн.збірник. Вип. 61, Львів, 2001,с.152-159.* 14. Позняков А.В., Черванев И.Г. *Самоорганизация в развитие форм рельефа. – М. Наука, -1990,- 204с.* 15. Рудый Р.М. *К построению образов участков рельефа. «Геодезия, картография и аерофотосъемка ». Львов №48. 77-79.* 16. Baltsavias E. *DTM and Orthoimage Generation-A Thorough Analysis and Comparison of Four Digital Photogrammetric systems, ISPRS Com.IV Symposium, Stuttgart, 1998.* 17. Chan R., Jepson W., Friedman S. *Urban Simulation: An Innovative Tool for Interactive Planning and Consensus Building, 1998.* 18. *Raster-GIS – Integration of Raster Images and 3D-Objects into Geodatabases.// Department of Geodetic Sciences. Research. Report 1998. WG 01.51, ETHZ, Zurich.* 19. Wolf H. *Multiquadratische Methode und Kollokation // All. Vermes – Nachr. 1981, 88, №3 – P. 89-94.* 20. Zanini M., Carosio A. *3D-Landscape-Modelling and-Visualisation Based on Digital Topographic Maps. In: Proceeding of the 17th International Cartographic Conference(ICC), Barcelona, 3.-9.September 1995.* 21. Zlatanova S., Rahman A. A., Shi W. *Topological models and frameworks for 3D spatial objects // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XX congress ISPRS.*

Istanbul. - 2004. 22. Zhou L., Lu G., Sheng Y., Xu H., Wang H. A 3d GIS's Spatial Data Model Based On Cell Complex// The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XXI congress ISPRS, Vol. XXXVII. Part B2. Beijing. - 2008. P. 905-908. 23. Интернет джерело <http://www.geosystema.net/forum/>