МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

С. М. Андрєєв, В. А. Жилін, А. С. Нечаусов

АНІМАЦІЙНІ ГЕОЗОБРАЖЕННЯ ТА 3D-МОДЕЛІ МІСЦЕВОСТІ

Навчально-методичний посібник

Харків «ХАІ» 2022

УДК 911:004+004.9
А65

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. Р. Е. Пащенко,
канд. техн. наук, доц. Б. М. Іващук

Андрєєв, С. М.

А65 Анімаційні геозображення та 3D-моделі місцевості [Текст] : навч.-метод. посіб. / С. М. Андрєєв, В. А. Жилін, А. С. Нечаусов. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2022. – 96 с.

ISBN 978-966-662-902-2

Наведено відомості про поняття, призначення й класифікацію анімаційних геозображень та 3D-моделей для створення різноманітних моделей місцевості.

Для студентів, що вивчають дисципліну «ГІС-аналіз» за спеціальностями 193 «Геодезія і землеустрій» (освітня програма «Геоінформаційні системи і технології») і 103 «Науки про Землю» (освітня програма «Космічний моніторинг Землі»).

Іл. 25. Табл. 5. Бібліогр.: 12 назв

УДК 911:004+004.9

© Андрєєв С. М., Жилін В. А., Нечаусов А. С., 2022
© Національний аерокосмічний
університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», 2022

ISBN 978-966-662-902-2

ЗМІСТ

ВСТУП 5

1 МУЛЬТИМЕДІА В ГІС …… 7
1.1 Поняття «мультимедіа». Загальна класифікація …….. 7
1.2 Мультимедіа як ідея ……. 8
1.3 Мультимедійне устаткування …… 10

2 МУЛЬТИМЕДІЙНИЙ ПРОДУКТ …….. 12
2.1 Основні етапи створення мультимедійного продукту …… 12
2.2 Класифікація авторських систем для створення мультимедійного продукту ……..…….. 13

3 ВИКОРИСТАННЯ МУЛЬТИМЕДІЯ В КАРТОГРАФІЇ ..…… 18
3.1 Функції мультимедійних продуктів ……..... 18
3.2 Класифікація мультимедіа у сфері картографії ……. 19

4 КАРТОГРАФІЧНІ АНІМАЦІЇ..……... 25
4.1 Історичні відомості про картографічні анімації ……..... 25
4.2 Види картографічних анімацій ……..…… 26
4.3 Області застосування анімацій у картографії …… 28
4.4 Характеристика окремих елементів картографічної анімації ….. 29

5 КОМПОНУВАННЯ КАРТОГРАФІЧНИХ АНІМАЦІЙ..... 32
5.1 Особливості компонування картографічних анімацій 32
5.2 Класифікація анімацій у картографії ……..…… 36
5.3 Можливості анімації в картографічних моделях ……..... 38
5.4 Ефекти анімації в картографічних творах …… 40
5.5 Актуальні технічні проблеми картографічної анімації …….. 43
5.6 Перспективи розвитку анімації в картографії …… 45

6 ЦИФРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЛЬЄФУ……..…… 48
6.1 Створення цифрової моделі рельєфу ..……..... 48
6.2 Типи цифрових моделей рельєфу ……..…… 53
6.3 Математичні алгоритми, що використовуються для ЦМР……. 56
6.4 Використання ЦМР ……..…….. 57

7 ВІРТУАЛЬНІ МОДЕЛІ МІСЦЕВОСТІ……..…….. 58
7.1 Аналіз програмного забезпечення для створення віртуальних моделей місцевості ……..... 58
7.2 Компоненти віртуальної моделі місцевості …… 61
7.3 Візуалізація віртуальної моделі місцевості ……..…… 64
7.4 Використання спеціальних ефектів у ВММ ……..…… 68

7.5 Сфери використання тривимірних моделей місцевості …….. 70

8 ОСНОВНІ МЕТОДИ СТВОРЕННЯ 3D-МОДЕЛЕЙ МІСТ …….…. 75
8.1 Ручне створення моделей міст з використанням 3D-моделювання……. 75
8.2 Повністю автоматична генерація 3D-моделей міст ……. 77
8.3 Напівавтоматичне створення 3D-моделей міст…….. 80

9 ЗАСТОСУВАННЯ ДАНИХ АЕРОФОТОЗНІМАННЯ З БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ 3D-МОДЕЛЕЙ МІСЦЕВОСТІ..... 83
9.1 Аналіз програмного забезпечення для фотограмметричного оброблення даних з БПЛА ..…… 84
9.2 Методика побудови 3D-моделі місцевості за даними фото- та відеознімання з БПЛА……..... 85

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК ……..... 95

ВСТУП

Останніми роками в багатьох галузях народного господарства потреба у відомостях про місцевість уже не задовольняється використанням тільки топографічних карт в аналоговій та цифровій формах. Недостатня інформативність карти і невміння працівників різних відомств, що не мають геодезичної освіти, читати карту утруднюють її використання, а в багатьох спеціальних додатках істотно обмежують її застосування.

Для вирішення багатьох інженерних завдань з використанням автоматизованого аналізу стану території, особливо в районах інтенсивного будівництва, потребується детальна інформація про просторове положення, висоти об'єктів території в цифровій формі.

Виникли нові цифрові геопросторові продукти, що отримали назву 3D-моделей, які є тривимірними просторовими моделями реальних об'єктів території. Отриманню й використанню таких нових видів цифрової продукції сприяли досягнення тривимірної машинної графіки при просторовому моделюванні місцевості в геоінформаційних технологіях. У науковій і технічній літературі наводяться різні означення й позначення, наприклад: тривимірні віртуальні моделі місцевості (3-Dimentional) або 3D-візуалізації, тривимірні цифрові моделі, 3D-сцени (тривимірні сцени).

Перелік 3D-продуктів поступово розширюється. Зараз найбільш затребуваними є візуальні цифрові моделі міст. У багатьох великих містах світу тривимірна просторова інформація використовується під час вирішення таких завдань, як міське планування, керування транспортом, захист від шуму.

У світі тривимірні цифрові моделі починають використовуватися в різних сферах діяльності. Підтвердженням тому є поява цифрових 3D-моделей міст, що регулярно виставляються на сайтах у мережі «Інтернет», а також публікації на цю тему. Тривимірні моделі дають наочне уявлення про територію і сприяють якнайкращому вирішенню різних завдань з урахуванням особливостей і деталей конкретної її ділянки.

У багатьох випадках для правильного оцінювання вибраного варіанта вирішення поставленого завдання і досягнутих результатів необхідно мати достовірну інформацію не тільки про планове положення й висоту об'єктів, що отримуються шляхом виділення точок цих об'єктів на тривимірній моделі, але й про точність цих даних. Інформацію такого роду можуть забезпечити матеріали аерофотознімання й космічного знімання з високою роздільною здатністю.

Аерофотознімання, незважаючи на швидкий розвиток методів дистанційного зондування Землі, є одним з основних способів створення й оновлення великомасштабних карт і планів.

Зарубіжними компаніями створюються тривимірні моделі багатьох міст. В організаціях різних відомств виконуються практичні роботи зі створення 3D-моделей.

Здебільшого як початкові дані для отримання інформації про об'єкти використовуються космічні знімки з високою роздільною здатністю, топографічні карти, плани (цифрові або аналогові), а для створення цифрових моделей рельєфу — інформація про рельєф з цифрових або аналогових карт (планів). Перспективними є технології створення тривимірних сцен за результатами оброблення лазерно-локаційних даних.

На території багатьох міст є топографічні плани (цифрові, аналогові), що створюються й оновлюються за матеріалами аерофотознімання засобами відомих фотограмметричних технологій. Така цифрова або аналогова продукція в більшості випадків є сертифікованою, оскільки отримується в спеціалізованих державних структурах. Дані цифрових топографічних планів можуть бути основою для формування цифрових моделей рельєфу й об'єктів — початкових даних для подальшого отримання тривимірних сцен.

Нині у виробничих підрозділах та інших організаціях України для оброблення матеріалів аерокосмічного знімання використовуються цифрові фотограмметричні системи (ЦФС) зарубіжного й вітчизняного виробництва. Ці системи призначено і для збору тривимірної цифрової інформації про територію з метою подальшого передавання в геоінформаційні системи (ГІС), що можуть працювати з тривимірними відеосценами (3D-ГІС).

Метою навчального посібника є надання студенту можливості вивчення понять та особливостей побудови анімаційних і 3D-моделей місцевостей сучасними програмними засобами для отримання знань і компетенцій з питань застосування теорії геоінформаційного аналізу просторових даних.

1 МУЛЬТИМЕДІА В ГІС

1.1 Поняття «мультимедіа». Загальна класифікація

З появою першого комп'ютера розпочався розвиток мультимедіа. Відтоді мультимедіа проникло практично у всі сфери діяльності людини. Мультимедіа оточує нас усюди – через різні екрани сучасна людина стикається з віртуальними світами, вплив яких стає все істотнішим. Практично всі сфери діяльності – наука, культура, освіта, бізнес – сьогодні є немислимими без продуктів мультимедіа. Презентація доповіді, навчальна програма, анімаційний рекламний ролик, віртуальна подорож усередині або навколо будівлі – ось невеликий перелік мультимедійних засобів передавання інформації. Діапазон вживаних при цьому аудіовізуальних засобів є достатньо широким – комп'ютерна 2D- і 3D-графіка, фотографія, анімація, відео, музика, голос, звукові спецефекти.

Одним з найважливіших інноваційних напрямів розвитку сучасної картографії є включення в її арсенал мультимедійних методів і засобів з одночасним переходом до інтерактивних принципів використання комп'ютерних картографічних творів.

Метою мультимедійних технологій, одного з найбільш перспективних і популярних напрямів картографії і геоінформатики, є створення продукту, який містить колекції зображень, текстів і даних, що супроводжуються звуком, відео, анімацією та іншими візуальними ефектами (Simulation), а також інтерактивний інтерфейс та інші механізми керування. Це означення сформульовано 1988 року найбільшою Європейською комісією з проблем упровадження й використання нових технологій.

Мультимедійні системи, безумовно, проводять революційні змінення в таких областях, як освіта, комп'ютерний тренінг, у багатьох сферах професійної діяльності, науки, мистецтва, у комп'ютерних іграх.

Поява систем мультимедіа підготовлена як вимогами практики й розвитком технічних і системних засобів, так і розвитком теорії. Подальший розвиток мультимедіа спрямований на об'єднання різнорідних типів даних у цифровій формі в одному середовищі-носієві, у межах однієї системи.

Мультимедіа — це взаємодія візуальних та аудіоефектів під керуванням інтерактивного програмного забезпечення з використанням сучасних технічних і програмних засобів. Вони об'єднують текст, звук, графіку, фото, відео в одному цифровому поданні.

Унаслідок того, що поняття «мультимедіа» є достатньо широким, нині існує три різні розуміння цього терміну:

1) **мультимедіа як ідея**, тобто як спосіб зберігання, організації й передавання інформації різного типу;

2) **мультимедіа як устаткування**, що дає змогу працювати з інформацією різної природи й передавати її споживачеві;

3) **мультимедіа як продукт**, що складається з даних різних типів, об'єднаних певною ідеєю і які становлять інтерес для користувача. Розглянемо поняття «мультимедіа» з цих точок зору.

1.2 Мультимедіа як ідея

Мультимедіа контент (цифрове подання медіаданих) формується на основі різних типів даних. Достатньо умовно, але згідно з усталеним уявленням, мультимедіа контент можна подати як синхронізоване об'єднання двох потоків даних: відеоряду й аудіоряду.

Відеоряд складається з таких основних елементів даних:

1 Текст. У мультимедіа продуктах текст, як і раніше, відіграє основну роль під час передавання споживачеві семантичної інформації (мультимедіа кіоски, довідники, енциклопедії, електронні підручники). Розрізняють текст форматований і неформатований. Форматований текст виразніше передає зміст мультимедіа документа завдяки використанню різних способів зображення текстового матеріалу, але потребує в декілька разів більше місця для зберігання на відміну від неформатованого тексту. Порівняно з іншими типами медіаданих текст є найпростішим типом і потребує найменших ресурсів для зберігання.

2 Статичні зображення (still images). До цього типу даних належать: цифрові фотографії; відскановані зображення; зображення, підготовлені в графічних редакторах. Метод, що використовується для подання (зберігання) зображення, називають форматом. Сьогодні існує більше сотні форматів, а це створює значні складнощі при одночасному їх використанні в одному мультимедіа продукті. Існує можливість взаємного перетворення більшості форматів без спотворення інформації. Статичні зображення можуть потребувати для зберігання значної місткості пам'яті на носієві даних. З цієї причини в більшості форматів зображення зберігаються в стисненому вигляді, що зменшує необхідну місткість пам'яті для зберігання в декілька разів.

3 Анімація. Під анімацією зазвичай розуміють послідовний показ мальованих статичних зображень. Кожне таке зображення називають кадром. Якщо зображення в сусідніх кадрах не дуже відрізняються одне від одного, а частота показу кадрів становить 15 і більше кадрів за секунду, то через особливості зору людини створюється ілюзія безперервного змінення зображення.

4 Живе відео/кіно (life video, movie). Живе відео по суті є дуже схожим на анімацію, але джерелом зображення є об'єкти реального світу. Зображення фіксуються за допомогою спеціального устаткування, наприклад відеокамери, і перетворюються в цифровому форматі. Для нормального сприйняття людиною живого відео необхідною є частота показу 24 (кіно) або 25 (телебачення) кадрів за секунду. Зберігання й оброблення відео потребують значних ресурсів. Так, наприклад, цифрове

подання однієї секунди відео з роздільною здатністю 640x480 потребує близько 22 Мб, отже, комп'ютер повинен мати таку саму швидкість передавання й оброблення. Навіть сучасні DVD-диски місткістю 4 Гб у цьому випадку можуть зберігати всього 3 хв відео. Відео, порівнянне за якістю й роздільною здатністю з телевізійним зображенням, потребує ще більших ресурсів (більше 30 Мб/с). Через це відеодані завжди зберігаються й передаються в стисненому вигляді.

Засіб, що використовується для стиснення відео, називають кодеком (codec). Кодек є аналогом формату для статичних зображень. З підвищенням швидкодії ПК багато кодеків реалізовано у вигляді програм і не потребують спеціального устаткування. Зараз налічується більше 30 різних типів кодеків. Методи стиснення відеокодеками базуються на таких основних принципах: зменшення кількості інформації через зниження якості (видалення неістотних деталей, згладжування переходів, зменшення кількості кольорів і т. д.); зберігання тільки змін від кадру до кадру, а не кадру цілком; стиснення даних усередині кожного кадру. Завдяки використанню кодеків досягається стиснення відео в декілька разів. Наприклад, кодеки MPEG-4 дають змогу помістити фільм тривалістю 2 год з прийнятною якістю на стандартному CD місткістю 650 Мб.

5 Двовимірна (sprites) і тривимірна (tween) анімація. Ідея цього методу полягає в тому, що результативне зображення кожного кадру створюється «на льоту» програмними засобами. Уся образотворча сцена складається з невеликих об'єктів (спрайта). Кожен спрайт є мальованим або синтезованим зображенням. Рух і перетворення спрайта визначає керувальна інформація, яка задається за допомогою табульованих даних або математичних функцій. Перевага цього методу полягає в малій кількості даних, потрібних для створення тривалих відрізків відеозображення.

6 Віртуальна реальність. Цей тип даних дає змогу описати об’єкти тривимірного світу та їх взаємне розташування. Зображення генерується «на льоту» на основі опису тривимірних об'єктів та інтерактивної взаємодії з користувачем.

Аудіоряд складається з таких основних елементів:

1 Відцифрований звук (wave). Цей тип даних є цифровим еквівалентом аналогової форми звуку (тиску повітря, що діє на барабанні перетинки людини відповідно до аналогового електричного сигналу). Процес відцифрування звуку (дискретизація) полягає в послідовній фіксації амплітуди аналогового сигналу через певні проміжки часу. Якість відцифрованого звуку визначається трьома параметрами:

– частотою дискретизації (кількістю відліків за секунду);

– роздільною здатністю (кількістю бітів інформації, що виділяється для фіксації амплітуди);

– кількістю звукових каналів.

Чим більшими є частота дискретизації й роздільна здатність, тим більш якісним є відцифрований звук, але й кількість ресурсів, потрібних для його зберігання, також є більшою.

Стандартне значення цих параметрів для музичного CD:

- частота дискретизації – 44100 відліків за секунду;
- роздільна здатність – 16 бітів (65536 можливих значень амплітуди);
- кількість звукових каналів – 2 (стерео).

Для зменшення місткості пам'яті для зберігання звуку за аналогією з відеозображеннями використовуються аудіокодеки.

2 MIDI (Musical Instrument Digital Interface) — цифровий інтерфейс музичних інструментів. Принципово інший тип звуків. Тут звуки музичних інструментів і звукові ефекти формуються електронними синтезаторами. Самі MIDI-дані містять лише керувальну інформацію для синтезатора звуків: тип інструмента, висоту звуку, тривалість звуку. MIDI-звуки містять музику (одно- й багатоголосу) і звукові ефекти, зокрема такі, що не мають природних аналогів. Перевага MIDI-даних полягає в невеликій місткості пам'яті для зберігання.

3 Звук, що синтезується. Звуки й звукові ефекти створюються «на льоту» на основі математичних методів і бібліотек зразків звуків. Прикладом може бути синтез мови, хоча нині успіхи в цій області є відносними.

1.3 Мультимедійне устаткування

Практично все периферійне устаткування сучасного комп’ютера можна віднести до розряду мультимедійного, оскільки воно бере участь у відображенні, обробленні або підготовці медіаданих.

Перелічимо основні пристрої периферійного устаткування.

Пристрої зберігання призначено для зберігання мультимедійних даних. Інформаційний носій у цих пристроях характеризується великою місткістю пам'яті й низькою вартістю одиниці інформації. Основні пристрої такого типу — CD і DVD. Обидва типи пристроїв належать до класу оптичних, у яких інформація на знімному носієві кодується шляхом чергування ділянок, що відбивають і не відбивають світло. Для прочитування інформації застосовується інфрачервоний лазер та оптичний датчик відбитого світла. Пристрої цього типу випускаються як тільки для читання, так і для читання й запису. Місткість пам'яті CD становить 700 Мб, DVD — 4 Гб і більше.

Відеокарти. До пристроїв цього типу належать пристрої захоплення і відцифрування відеосигналу (capture devices), TV-тюнери, перетворювачі сигналів VGA-TV, MPEG-програвачі. Пристрої захоплення і відцифрування приймають відеосигнал від відеомагнітофона, телевізора або відеокамери, дискретизують сигнал і дають змогу зберігати окремі кадри на жорсткому

диску. Дорогі пристрої цього класу містять вбудований кодек для стиснення сигналу, що надходить, і зберігання всієї відеопослідовності на диску в реальному часі. TV-тюнери перетворюють аналоговий телевізійний відеосигнал, що надходить по мережі кабельного телебачення або від антени, і дають змогу проглядати телепередачі на екрані монітора. Перетворювачі VGA-TV змінюють зображення, що подається на екран монітора, на аналоговий телевізійний сигнал, придатний для введення в телевізійний приймач.

Звукові карти призначено для введення, виведення й оброблення аудіосигналу. Сучасна звукова карта містить такі основні компоненти:

- аналого-цифровий перетворювач (АЦП) вхідних аналогових звукових сигналів у цифрову форму;
- апаратно-реалізовані кодеки;
- цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) цифрового звуку в аналоговий сигнал для виведення на зовнішні пристрої;
- стереофонічний вихідний підсилювач;
- синтезатор музичних звуків, що задовольняє стандарту MIDI;
- цифровий сигнальний процесор DSP (або розширений сигнальний процесор ASP) для відтворення спеціальних звукових ефектів (об'ємний звук, луна).

2 МУЛЬТИМЕДІЙНИЙ ПРОДУКТ

2.1 Основні етапи створення мультимедійного продукту

Процес створення мультимедійного продукту складається з декількох етапів:

- розроблення ідеї мультимедійного продукту – початковий етап, на якому визначається призначення продукту, коло споживачів, досліджується ринок аналогів, формується склад розробників;
- створення сценарію – детальне опрацьовування сюжету, окремих елементів медіаданих і зв'язків між ними;
- створення макета – етап «обкатки» майбутнього мультимедіа-продукту: скріплення різних розділів медіаданих на працюючому макеті, уточнення сценарію, «програвання» різних сюжетів продукту;
- підготовка матеріалу – етап остаточного збору й оброблення матеріалів відповідно до вимог сценарію і макета; етап може бути достатньо дорогим, оскільки до роботи можуть залучатися професійні дизайнери, художники, кіно-, фото-, звукооператори, можливе придбання або оренда професійного устаткування;
- технічна реалізація проєкту – етап остаточної реалізації мультимедіа продукту та його підготовки до видання.

Технічна реалізація проєкту. Створення повноцінного мультимедіа продукту може бути достатньо трудомістким і тривалим процесом. На першому етапі дуже важливо вибрати середовище розроблення, що якнай повніше відповідає поставленій меті, оскільки неправильне рішення обов'язково призведе до втрати часу і засобів.

Існують два основні способи створення мультимедійного додатка: використання спеціалізованих засобів розроблення; виконання цієї роботи програмістами для створення мультимедійного додатка з «нуля». Якщо йдеться про презентацію, то другий спосіб є дуже повільним і дорогим, однозначно вибирають спеціалізовані засоби підготовки. У решті випадків можливі обидва варіанти. Найкращим рішенням часто є застосування готового пакета й розширення його можливостей завдяки використанню мов програмування, але таке рішення є можливим не для всіх спеціалізованих пакетів. Велику частину мультимедійних продуктів можна віднести до однієї з таких категорій:

- вебдодатки;
- презентації;
- прототипи додатка;
- навчальні програми;
- гіпертекстові/гіпермедійні додатки;
- засоби розроблення мультимедійних додатків (авторські засоби розроблення);
- ігри.

За винятком останнього пункту для решти категорій додатків здебільшого можна підібрати відповідний спеціалізований пакет.

Унаслідок швидкого розвитку мультимедійних технологій і підвищення до них інтересу з боку непрофесіоналів в області мультимедіа (створення малотиражної продукції рекламно-інформаційного характеру, каталогів, довідників, презентацій) на ринку виникла велика кількість спеціалізованих систем, що дають змогу цій групі людей швидко і просто створювати мультимедійні додатки. Такі системи отримали спеціальну назву – авторський засіб розроблення, або авторська система.

Зазвичай для розроблення інтерактивного мультимедійного додатка з використанням авторської системи потребується значно менше часу і засобів, ніж з використанням засобів програмування. Проте на підготовку мультимедіа матеріалу (тексту, аудіо- і відеоряду) авторська система не впливає і виграє в часі при підготовці кінцевого продукту завдяки прискореному компонуванню матеріалу та організації зв'язків.

2.2 Класифікація авторських систем для створення мультимедійного продукту

Найповнішою класифікацією авторських систем сьогодні є класифікація, запропонована Джемі Сигларом, згідно з якою виокремлюються **вісім типів авторських систем**:

– мова сценаріїв (Scripting Language);
– образотворче керування потоком даних (Icon/Flow Control);
– кадр (Frame);
– картка з мовою сценаріїв (Card/Scripting);
– часова шкала (Timeline);
– ієрархічні об'єкти (Hierarchical Object);
– гіпермедіа посилання (Hypermedia Linkage);
– маркери (Tagging).

Наведемо характеристику кожного типу авторських систем.

1 Мова сценаріїв найбільш близька за формою до традиційного програмування. Ця об'єктно-орієнтована мова програмування за допомогою спеціальних операторів описує взаємодію елементів мультимедіа:

- розташування активних зон;
- призначення активних кнопок;
- синхронізацію аудіо- і відеопотоків і т. д.

Використання методу дещо збільшує період розроблення (потрібний відносно великий час на вивчення можливостей системи), але завдяки йому можна отримати найпотужнішу взаємодію елементів. Приклади систем, що ґрунтуються на мові сценаріїв:

- Ten Core Language (фірма Computer Teaching);
- Media View (фірма Microsoft).

2 Образотворче керування потоком даних забезпечує мінімальний час розроблення, найкраще підходить для швидкого створення прототипу проєкту або виконання завдань, які необхідно завершити в найкоротші терміни. Його основа — палітра піктограм (Icon Palette), що містить різні функції взаємодії елементів програми, і лінія (Flow Line) напрямної, яка показує фактичні зв'язки між піктограмами. Найбільш розвинені пакети цього типу, такі як Authorware або IconAuthor, є надзвичайно потужними і мають великий потенціал.

Головна перевага цього методу полягає в тому, що він дає змогу прискорити роботу над дизайном додатка. Уся робота зводиться до переміщення піктограм з палітри на бланк сторінки й заповнення відповідних діалогових вікон, що визначають поведінку об'єктів та їх зв'язок з іншими компонентами проєкту.

Застосування авторських систем цього типу – найбільш прийнятний шлях для побудови мультимедійних додатків зі складними функціями взаємодії, подібних до програм машинного навчання і мультимедійних кіосків. До систем, що базуються на образотворчому керуванні потоком даних, належать:

- Authorware (фірма Macromedia);
- Icon Author (фірма Aim Tech);
- TIE (фірма Global Information Systems).

3 Кадр подібний до методу образотворчого керування потоком даних. Його основою зазвичай також є палітра піктограм (Icon Palette), проте зв'язки між піктограмами можуть бути складними алгоритмами, що розгалужуються. Авторські системи, побудовані за цим методом, характеризуються високою швидкістю виконання. Найрозвиненіші програми такого роду дають змогу використовувати для опису сценарію компільовані мови.

До систем, що ґрунтуються на кадрі, належать:

- Quest (фірма Allen Communication);
- Ten Core Producer (фірма Computer Teaching);
- CBT Express (фірма Aim Tech).

4 Картка з мовою сценаріїв – потужний за своїми можливостями (завдяки включеній мови сценаріїв) метод, що потребує точної і жорсткої структуризації сюжету. Він чудово підходить для гіпертекстових додатків. Можливості програм цього типу легко розширюються за допомогою модулів DLL. Такі системи часто використовуються для розроблення прикладних програм загального призначення, а найрозвиненіші з них дають змогу створювати всередині самої системи об'єкти, включаючи графічні елементи. Багато розважальних та ігрових програм проходять етап створення прототипу за цим методом.

Головний недолік авторських систем на основі картки з мовою сценаріїв – неможливість забезпечити точне керування синхронізацією й виконання паралельних процесів. Найкращим застосуванням цих авторських систем є підготовка додатків, які можна логічно організувати у вигляді окремих карток з гіпертекстовими зв'язками між ними. Приклади систем, що будуються на картці з мовою сценаріїв: HyperCard (фірма Apple Computer); Multimedia ToolBook (фірма Asymetrix).

5 Часова шкала. За структурою призначеного для користувача інтерфейсу авторська система на основі цього методу схожа на звуковий редактор для багатоканального запису. Елементи, що синхронізуються, показуються на різних горизонтальних «доріжках» з робочими зв'язками, що відображаються у вигляді вертикальних стовпців. Основними елементами цього методу є трупа (cast) – набір об'єктів, а також партитура (score) – покадровий графік подій, що відбуваються з цими об'єктами. Основна перевага методу полягає в тому, що він дає змогу написати сценарій поведінки для будь-якого об'єкта. Кожну появу об'єкта з трупи в одному з каналів партитури називають спрайтом (sprite), який також уважається самостійним об'єктом. Для керування спрайтом залежно від дій користувача в пакет вбудовується об'єктно-подієва мова сценаріїв (Scripting language). Подібні системи використовуються при створенні багатьох комерційних прикладних програм.

Авторські системи на базі часової шкали найкраще підходять для підготовки додатків з інтенсивним використанням мультиплікації або таких, де потребується синхронізація різних мультимедійних складових. Ці системи легко розширюються для реалізації додаткових функцій (таких, як гіпертекст) через модулі типу DLL. Їх основний недолік — складність освоєння мови сценаріїв.

До систем, що ґрунтуються на часовій шкалі, належать:

- Director (фірма Macromedia);
- Power Media (фірма RAD Technologies).

Найбільш відомою системою, побудованою за цим методом є популярна авторська система мультимедіа Macromedia Director (рисунок 2.1). З її допомогою розробляються достатньо складні комерційні додатки і навіть комп'ютерні ігри.

6 Ієрархічні об'єкти. Тут, як і в об'єктно-орієнтованому програмуванні, застосовується метафора об'єкта. Метод є достатньо складним для новачків, але завдяки візуальному поданню об'єктів та інформаційних складових мультимедійного проєкту дає змогу реалізувати досить складні

й розвинені сюжети. Системи цього типу мають високу вартість і використовуються здебільшого професійними розробниками мультимедійних додатків.

До систем, що базуються на ієрархічних об'єктах, належать:
- mTropolis (фірма mFactory);
- New Media Studio (фірма Sybase);
- Fire Walker (фірма Silicon Graphic Studio).

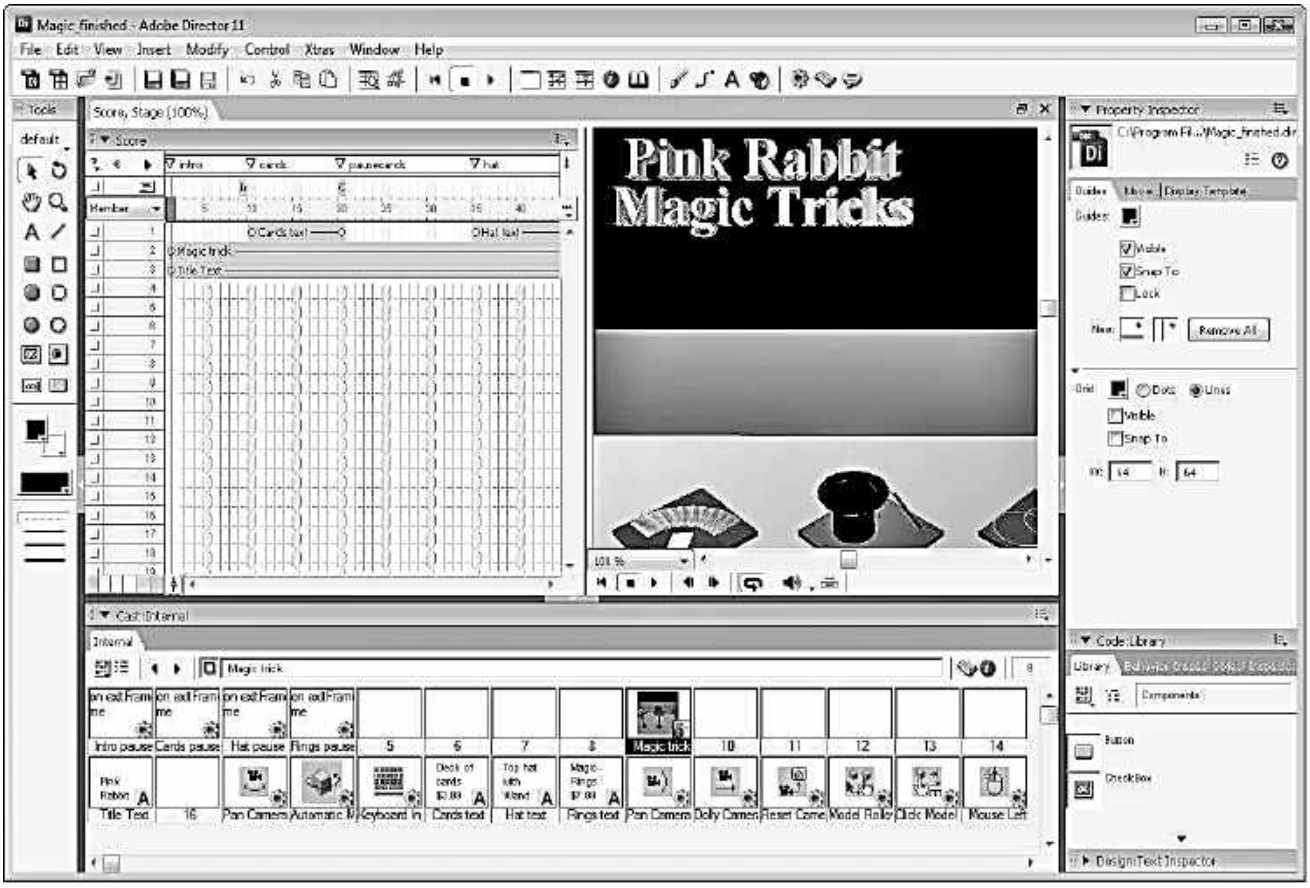

Рисунок 2.1 – Авторська система Macromedia Director

7 Гіпермедіа посилання. Метафора цього методу подібна до метафори кадру, у якій показуються концептуальні зв'язки між елементами, проте їй бракує візуального подання зв'язків. Ангорські системи, побудовані за цим методом, є дуже простими в освоєнні. При використанні ангорських систем з гіпермедіа посиланнями можна створювати різноманітні гіпертекстові додатки з елементами мультимедіа. Вони мають ті ж області застосування, що й системи, побудовані за методом «Картка з мовою сценаріїв», але є гнучкішими. До систем, що грунтуються на гіпермедіа посиланнях, належать:

- HyperMethod (фірма Prog/Systems Al Lab);
- Formula Graphic (фірма Harrow Media).

8 Маркери (теги). У системах на базі маркерів використовуються спеціальні команди – теги в текстових файлах (наприклад, SGML/HTML і WinHelp), щоб зв'язати сторінки для забезпечення взаємодії та об'єднання елементів мультимедіа. Вони мають зазвичай обмежені можливості з відслідкування зв'язків і найкраще підходять для підготовки діалогових довідкових матеріалів, подібних до словників і посібників. Активно використовуються для підготовки інтернет-сторінок.

До систем, що базуються на маркерах, належать:

- WebAuthor (фірма Quarterdeck);
- FrontPage (фірма Vermeer);
- HoTMetaLPro (фірма SoftQuad);
- Adobe PageMill (фірма Adobe).

Таким чином, мультимедіа продукт – це програмний продукт, що дає змогу інтегрувати за допомогою комп'ютера практично всі середовища, що використовуються людиною: текст, графіка, відцифровані нерухомі зображення, анімація, 3D-графіки, відео, звук, мова.

Велику частину мультимедійних продуктів можна віднести до однієї з таких категорій: презентації; прототипи додатка; навчальні програми; гіпертекстові/гіпермедійні і вебдодатки; ігри.

3 ВИКОРИСТАННЯ МУЛЬТИМЕДІЯ В КАРТОГРАФІЇ

3.1 Функції мультимедійних продуктів

Системи мультимедіа дали поштовх революційним зміненням у таких областях, як освіта, наука, мистецтво, комп'ютерний тренінг, в багатьох сферах професійної діяльності і є основою будь-якої реклами. Основні функції застосування продуктів, створених у мультимедіа-технологіях: маркетингова; освітня; науково-дослідна; розважальна.

Маркетингова функція. Мультимедіа презентація – це дієвий маркетинговий інструмент, що виконує такі ключові завдання: оформлення рекламних кампаній та акцій з просування продукту; інформування цільової аудиторії (споживачів, партнерів, інвесторів) про товари, послуги й новинки; підтримка престижу компанії за допомогою цільового поширення мультимедіа носіїв серед клієнтів або партнерів. Використання мультимедіа продуктів з цією метою є способом просування об'єкта серед потенційних споживачів відповідної інформації.

Освітня функція. Комп'ютерний тренінг стає важливою складовою освітнього процесу, особливо в системах дистанційного навчання, що набувають усе більшого поширення. Як блоки навчального й тестувального матеріалу, так і інтерфейсна складова підвищують ефективність навчання при вмілому введенні в них мультимедійних елементів. Нині створення мультимедійних навчальних курсів є актуальним і таким, що динамічно розвивається.

При створенні навчальних курсів ставляться високі вимоги до достовірності і репрезентативності матеріалу. Розробники програмного забезпечення мають пропонувати прості в навчанні і водночас не дуже обмежені за функціональністю засоби для компонування мультимедіа продуктів.

Науково-дослідна функція. Засоби мультимедіа в цьому випадку можуть застосовуватися на етапі публікації результатів дослідження у форматі мультимедіа продукту замість звичних поліграфічних видань.

Також не обійтися без електронних, зокрема мультимедійних, засобів у бібліотечній, музейній та архівній справі: для документування колекцій джерел та експонатів, їх каталогізації й наукового опису, автоматизації пошуку і зберігання, для зберігання даних про місцезнаходження джерел, довідкової інформації, для організації роботи вчених з електронними копіями документів і т. д.

Якщо розглядати тривимірну візуалізацію й реконструкцію будівель і споруд, то вони широко застосовуються в області геоінформаційних

систем, пов'язаних з вивченням об'єктів у їх прив'язці до географічних координат. Моделі будівель можуть бути візуалізовані в заданій місцевості, якщо необхідно, виконуються аналітичні розрахунки за повними тематичними шарами (кількість населення, дорожні мережі, інженерні комунікації). Лазерне об'ємне сканування об'єктів архітектури з подальшою тривимірною реконструкцією дає змогу створювати мультимедійні бази даних для каталогізації цих об'єктів з метою їх вивчення, вимірювання, використання для демонстрації.

Як тільки графічні системи набули достатньої продуктивності для створення складних динамічних зображень, їх стали застосовувати як засіб моделювання реальної обстановки на різного роду тренажерах. Першими такі системи освоїли авіатори, які використовували їх для навчання пілотів на землі, що дало змогу значно зменшити вартість навчання з гарантованою його високою якістю і безпекою.

Тривимірні сцени є основою систем віртуальної реальності, що потребують додаткового специфічного устаткування для взаємодії з комп'ютером і дають змогу створити ефект присутності користувача у віртуальному світі.

Розважальна функція. Багато фільмів містять фрагменти анімації або є такими цілком. Розважальний сектор інтернету немислимий сьогодні без компонентів мультимедіа. Багато сучасних комп'ютерних ігор – якісні зразки реалістичної тривимірної графіки.

Креативна функція. Крім інформаційних додатків розвиваються й креативні, що дають змогу створювати нові твори мистецтва. Уже зараз станція мультимедіа стає незамінним авторським інструментом у кіно й відеомистецтві. Автор фільму за екраном такої настільної системи створює твори з наперед підготовлених фрагментів, намальованих, відснятих або записаних. Користувач має практично миттєвий доступ до кожного кадру матеріалу, можливість електронного монтажу з точністю до кадру. Широко використовуються різні відеоефекти, накладення й перетворення зображень, маніпуляції зі звуком, компонування звукового супроводу зі звуків від різних зовнішніх аудіоджерел, з банку звуків або програм звукових ефектів. Застосування оброблених або таких, що згенерували комп'ютером, зображень може привести до появи нової техніки в образотворчому мистецтві або кіно.

3.2 Класифікація мультимедіа у сфері картографії

Унаслідок стрімкого розвитку інтернету і зростання потреб користувачів у просторових геоданих все частіше мультимедіа технології

застосовуються на сторінках тематичних сайтів і геопорталів, а основними факторами, що впливають на актуальність таких сайтів, є наочність, інтерактивність, доступність просторової інформації.

Технології мультимедіа в тематичних сайтах найчастіше класифікуються за трьома критеріями: об'єкти застосування; види мультимедіа; мета використання.

Класифікацію технологій мультимедіа у сфері картографії зображено на рисунку 3.1.

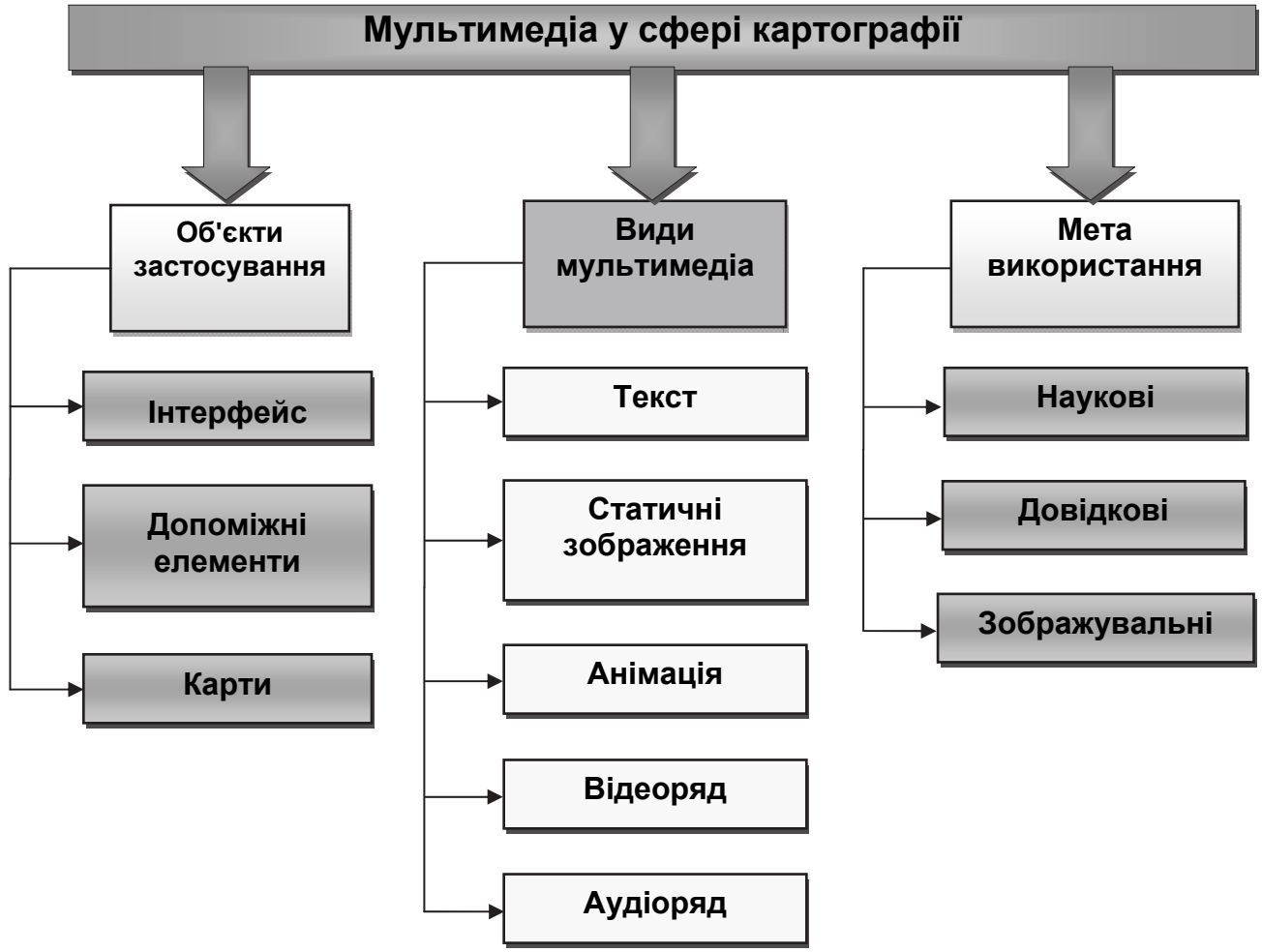

Рисунок 3.1 – Класифікація мультимедіа у сфері картографії

Інтерфейс – це сукупність елементів керування, дизайну й подання змісту, які є загальними для геопорталу.

Допоміжні елементи – це елементи, до яких належать текст, графічні зображення та ін. З одного боку, ці елементи є частиною мультимедіа, а

з іншого – можуть бути об'єктами застосування мультимедійних технологій: анімація, звуковий супровід, інтерактивний супровід.

Текст – це невід'ємний елемент мультимедіа продуктів, який поєднує мовні структури, відеоряд, статичні та динамічні зображення, звукові та кольорові ефекти.

Статичні зображення – це зображення з відсутністю руху в даний момент.

Анімація фіксує послідовні фази руху статичних зображень.

Відеоряд характеризується великою кількістю елементів. Розрізняють статичний і динамічний відеоряди. Статичний відеоряд містить растрову і векторну графіку (малюнки, символи в графічному режимі, тривимірні моделі) і фото (фотографії і скановані зображення). Динамічний відеоряд – це послідовність статичних елементів (кадрів).

Аудіоряд може містити мову, музику, спецефекти, які звучать у певній послідовності й можуть бути супроводом до відеоряду, анімації. У сучасних мультимедійних картографічних творах широко використовується звуковий супровід, насамперед для "пояснення" зображених об'єктів: при вказуванні на них курсором чується звукова підказка, звучить назва об'єкта або його словесна характеристика.

Особливі програмні модулі дають можливість відтворювати реальні звуки, наприклад дзюрчання струмка, шелестіння лісу, і це створює ілюзію присутності на місцевості. Можна ще більше підсилити сприйняття стану навколишнього середовища, відтворюючи шум дощу, розкати грому, гуркіт блискавки.

Ще один напрям використання звукових ефектів призначено для характеристики якості карти. Так, при наближенні курсора до ділянок зображення, слабо забезпечених даними або таких, що мають недостатню точність, посилюється шум, який свідчить про наявність перешкод.

Електронні технології дають змогу додати до графічних засобів, що традиційно використовуються в картографії, ще й варіювання характеру звуку, його гучність, тональність, тривалість.

Проводять десятки експериментів, щоб визначити, якими є правила застосування звукових засобів при віртуальному картографуванні, як мають поєднуватися анімація і звук. Ясно, наприклад, що зображення дощу потребує введення його шуму.

Якщо прислухатися до навколишнього середовища, то можна зрозуміти декілька істин, дуже важливих для розроблення мультимедійних картографічних творів з використанням звуку:

- звук завжди пов'язаний з фізичним джерелом;
- реакція на звук визначається досвідом слухача;

- упізнаваність звуку пов'язана з попереднім досвідом.

Під час створення аудіосередовища звуковий дизайн має відображати реальні звуки.

Розумне використання музики і звукових ефектів дає змогу значно поліпшити створювані мультимедійні твори. Сьогодні сучасне мультимедійне програмне устаткування є одним з найбільш оптимальних засобів поширення звуку, оскільки має вбудовані можливості стиснення, роботи з бібліотеками звуків, вільного багаторазового використання звуку, застосування ефектів панорамування і наростання/загасання звуку, а також виклику за допомогою команд, написаних на різних мовах програмування. Слід зазначити, що використовувати звук в електронних картографічних творах слід обережно. Некоректне озвучування елементів ландшафту може спричинити погіршення ефектності його використання.

У більшості наявних мультимедійних картографічних творів використовуються звуки двох типів: звукові події; потоковий звук. Звукові події часто використовуються для створення нетривалих звукових ефектів або звуків, для яких повна (від початку до кінця) синхронізація з часовою шкалою не є необхідною. Відтворення потокового звуку, своєю чергою, починається відразу після завантаження достатньої частини звукових даних і триває до його явної зупинки внаслідок дій користувача. Потоковий звук синхронізований з відтворенням анімаційних карт.

Існує декілька вельми істотних зауважень, що стосуються роботи зі звуком у мультимедійній картографії:

- не слід використовувати один і той же звук і як звукову подію, і як потоковий звук, оскільки це призводить до помилкових уявлень і асоціацій;

- декілька звуків, що програються одночасно, часто призводять до помітної втрати концентрації користувачем, тому не слід задавати більше двох звуків, що відтворюються водночас;

- часто зручніше створювати короткі музичні цикли, які можна використовувати багаторазово, що дає змогу не застосовувати довгі й об'ємні звукові фрагменти.

Серед усіх засобів мультимедіа анімація відіграє важливу й особливу роль. Це пов'язано з тим, що анімація має широкі можливості для створення, аналізу й відображення різних видів геозображення. Сучасні технології дають змогу інтегрувати анімаційні фільми різної складності в інші складові електронних атласів або вебресурсів без використання додаткових програмних продуктів.

Основні твори мультимедійного картографування подаються у вигляді інтерактивних карт, анімаційних геозображень, електронних і мультимедійних атласів. Інтерактивні карти й мультимедійні атласи вже давно стали новою формою організації просторових даних, що забезпечує якісно новий рівень оперативності доступу і зручності отримання для комплексного аналізу географічної інформації і прийняття оптимальних керувальних рішень.

Величезні фізичні обсяги інформаційних потоків та їх динаміка ставлять завдання з систематизації й моніторингу інформаційних ресурсів перед сучасними мультимедійними творами (рисунок 3.2).

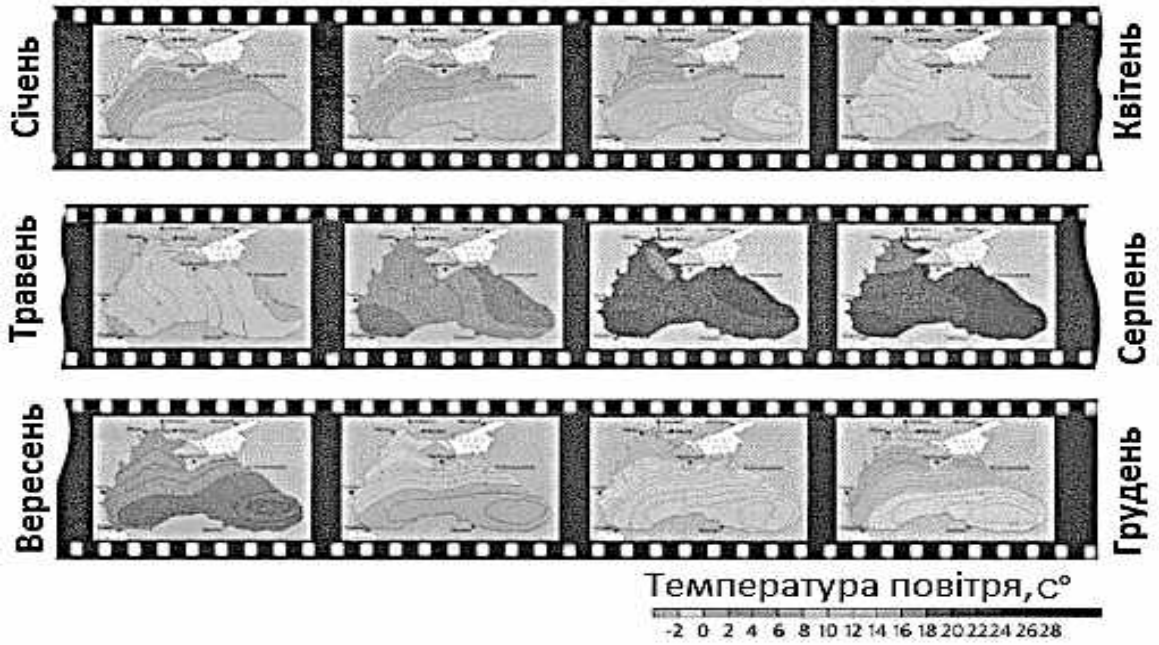

Рисунок 3.2 – Анімаційна послідовність середньомісячних температур поверхні води

Проблеми під час організації географічної інформації і даних на основі мультимедійних картографічних творів є аналогічними проблемам даних, що важко структуруються:

- різнорідність носіїв інформації – аналогових (у вигляді наукових літературних монографій і статей, фондових матеріалів – звітів за результатами спеціальних польових досліджень, проєктів, різних паперових карт, аерофотознімків) та електронних (у вигляді цифрових карт, космічних знімків, аудіо- й відеоінформації, розміщених, зокрема, у середовищі інтернету);

- фрагментарність (інформація найчастіше належить до якої-небудь наочної області, причому різні тематики можуть бути по-різному «покриті» інформацією);

- різнорівневість інформації (інформація може належати до всієї проблеми в цілому, до деякої її частини, до конкретного елемента проблеми);

- різний ступінь надійності (інформація може містити конкретні дані різного ступеня надійності, непрямі дані, висновки на основі надійної інформації або непрямі висновки);

- можлива суперечність (інформація з різних джерел може збігатися, злегка різнитися або взагалі суперечити одна одній);

- змінність у часі (проблема розвивається з часом, тому й інформація в різні моменти часу в одному й тому самому елементі проблеми може і має різнитися).

В Україні і в зарубіжних країнах почали активно створюватися мультимедійні картографічні твори на основі систематизації, узагальнення й комп'ютерного подання великої кількості різноманітних картографічних, тематичних і мультимедійних матеріалів, що відображають різні аспекти стану й розвитку навколишньої дійсності.

4 КАРТОГРАФІЧНІ АНІМАЦІЇ

4.1 Історичні відомості про картографічні анімації

Перші картографічні динамічні фільми були створені ще наприкінці XX ст. Тоді, 1959 року, американський учений Н. Троуер досліджував можливості застосування мультиплікаційних принципів у картографії. Проте реалізувати його методи вдалося лише близько 20 років потому. Перший картографічний фільм, на основі якого будувалися теоретичні припущення Н. Троуера, складався всього з двох карт. У подальшому він створив фільм, що складався вже з 50 карт і показував динаміку населеності деяких штатів США в період 1936–1957 рр. Фільм тривав близько 20 хвилин, тоді як тривалість усіх створюваних у той час картофільмів становила не більше 2–3 хвилин.

Розвиток обчислювальної техніки подальшими роками дав змогу перейти від аналогових технологій до цифрових, демонстрація фільмів здійснювалася не на кіноекрані, а на дисплеї. Один із перших комп'ютерних роликів демонстрував орієнтацію орбіти супутника. 1966 року А. Робінсон запропонував використовувати ЕОМ-фільми в картографії.

У 70-ті роки в США дещо підвищився інтерес до анімаційної картографії. Тоді було створено багато дисплей-фільмів. З найцікавіших слід зазначити фільм з використанням тривимірних моделей про заселення м. Детройта [W. R. Tobler, 1970], анімовану демонстрацію омивання (обертання джерела світла навколо деталей рельєфу), фільм про динаміку використання земель в одному зі штатів.

До середини 70-х років випущено в світ декілька оглядових робіт з мультиплікаційної картографії [1]. У цей же час було створено спеціалізовані мови програмування, орієнтовані на анімацію (мови BEFLIX і ANIMAII). Найбільш значущий практичний ефект дав досвід учених Великобританії – зроблені ними анімації процесів, що відбуваються в Ірландському морі, дали змогу не тільки відображати рухи водних мас, морських фронтів і течій, але й складати прогнози та оперативно приймати рішення щодо освоєння ресурсів морів, охорони морського середовища.

Проте до початку 90-х років XX ст. анімаційна картографія залишалася доступною лише для вузького кола професіоналів та експертів. Причиною тому була висока вартість обчислювальної техніки, її низька продуктивність і необхідність великих зусиль на створення кожної анімації. Проте зниження вартості комп'ютерів до рівня, коли вони дійсно стали персональними, і поліпшення якості побутових моніторів до рівня

телевізійного сигналу і вище сприяли різкому збільшенню анімаційних матеріалів. Бурхливий прогрес комп'ютерної техніки, що почався в першій половині 90-х років, привів до появи найрізноманітніших типів картографічної анімації.

4.2 Види картографічних анімацій

Нині можна виділити декілька видів картографічної анімації.

1 ***Анімовані двовимірні карти динаміки:***

1.1 Карти динаміки площадкових контурів явищ на різні дати.

1.2 Карти відмінності станів на декілька дат одних і тих же площадкових контурів.

1.3 Карти динаміки точкових об'єктів (динаміка положень або станів об'єктів).

1.4 Карти динаміки лінійних об'єктів (динаміка положень або станів об'єктів).

1.5 Комплексні динамічні двовимірні карти (карти, на яких одночасно показано динаміку точкових, лінійних і площадкових об'єктів або різних їх поєднань).

2 ***Анімовані двовимірні карти руху.***

3 ***Класичні двовимірні карти, у яких як образотворчий засіб використовуються ефекти анімації.***

4 ***Анімовані лінійні й площадкові анаморфози:***

4.1 Анімовані лінійні анаморфози.

4.2 Анімовані анаморфози, що показують динаміку контурів на різні дати (дві і більше).

4.3 Анімовані анаморфози станів контурів.

4.4 Комплексні анімовані анаморфози (динаміка контурів і станів контурів у поєднанні з іншими динамічними образотворчими засобами).

5 ***Анімовані динамічні тривимірні зображення:***

5.1 Анімовані поверхні (ізометрія, динамічна ізометрія зі зміненням точки й кута огляду).

5.2 Анімовані тривимірні блок-діаграми й умовні знаки.

5.3 Тривимірні анімовані анаморфози.

6 ***Анімації у віртуально-реальнісних зображеннях:***

6.1 Обліт місцевості, рух по поверхні.

6.2 Рух у середовищі.

6.3 Рух у просторі віртуальної реальності цифрової моделі місцевості (ЦММ) одночасно з анімацією окремих компонентів самої ЦММ (рух наземних і повітряних об'єктів, протікання річок, процеси метеоявищ).

На кінцевому етапі анімації можна підрозділити на такі типи:

1 Некерована послідовність двовимірних кадрів. При цьому типі анімації суб'єкт, що її переглядає, не може змінити практично нічого – ні проєкцію, ні кут огляду, ні масштаб зображення. Типовим прикладом такої анімації є анімація у форматі AVI (відео для Windows). Незважаючи на двовимірність самих кадрів, зміст їх може бути тривимірним (наприклад, AVI-файл з анімованою тривимірною поверхнею). Початкові кадри-карти можуть створюватися автором найрізноманітнішими способами й не призначаються для змінення споживачем.

Для перегляду анімації не потребується ні спеціального програмного забезпечення (ПЗ), ні значних апаратних засобів, користувач може мати лише початкову комп'ютерну підготовку.

2 Послідовність векторних карт, що перетворена на растр і виводиться на екран в реальному часі. Зазвичай для анімації такого типу можна задати призначену для користувача проєкцію, змінити масштаб або компонування карти, змінити легенду, увімкнути або вимкнути шари даних. Звичайне створення такої анімації ведеться на базі наявних ГІС-пакетів за допомогою системи внутрішніх команд або вбудованої мови програмування.

Прикладом може бути анімація, що складається з послідовності векторних карт у форматі SHP (що працює в середовищі ArcView) та інтерактивно керується користувачем. Для створення анімації подібного роду потребується наявність продуктивної техніки (з достатньою обчислювальною потужністю) і ГІС-пакета, а також необхідно вміти програмувати на одній з внутрішніх мов ГІС (наприклад, Avenue для ARCGIS). Проглянути анімацію може будь-який користувач з початковим рівнем знання ГІС-пакета, у якому створювалася анімація.

3 Модель даних, що повністю керується користувачем і візуалізується внаслідок тривалого розрахунку. Тут користувач може змінити майже всі параметри (швидкість обльоту, точку огляду, дальність

видимості, наявність атмосферних ефектів, рух інших моделей у просторі математичної моделі місцевості), проте результати змінення анімації він може побачити лише після розрахунку, унаслідок якого створюється некоректована послідовність двовимірних кадрів. Для створення моделі потребується наявність спеціалізованого ПЗ, високопродуктивного апаратного забезпечення, а також необхідно відмінно знати пакети для створення такої анімації (3D-Studio MAX, Power Animator, Maya та інші продукти, призначені для створення найскладнішої дво- і тривимірної графіки для видео- і кінофільмів). Користувач, який обробляє таку модель даних, повинен також мати потужний комп'ютер, ПЗ, у якому створювалася модель даних, і володіти навичками роботи з цим ПЗ.

4 Віртуальна модель місцевості, що повністю керується користувачем і візуалізується в режимі реального часу. Тут користувач може змінити всі параметри, причому результати змінення можна побачити відразу ж без будь-яких додаткових розрахунків.

Створення моделі може бути надзвичайно складним, оскільки необхідно не тільки мати великі обчислювальні потужності, але й володіти відразу декількома ГІС-пакетами 3D-анімації, програмування та ін.

Кваліфікація користувача може бути різною: від мінімального ознайомлення з програмою й простого перегляду до глибокого знання особливостей побудови моделі й можливості внесення до неї необхідних змінень.

4.3 Області застосування анімацій у картографії

Область застосування анімованих картографічних зображень є практично необмеженою. Як відомо, картографувати можна практично будь-які об'єкти, що нас оточують. Оскільки всі об'єкти (явища), що картографуються, з часом змінюються, для будь-якого об'єкта картографування може бути створена картографічна анімація. Сьогодні основними областями, для яких створюються і в яких використовуються картографічні анімації, є:

1 Оперативне картографування (гідрометеослужби) та екстрене картографування при надзвичайних ситуаціях (НС).

Мета: своєчасна підтримка прийняття рішення, виявлення закономірностей розвитку картографічного явища, достовірне прогнозування розвитку ситуації на основі кількох станів процесу, що картографується і є динамічним.

2 Навчальний процес (у школах, ВНЗ, військових навчальних закладах).

Мета: достовірне передавання знань, наочна демонстрація раніше виявлених закономірностей розвитку явищ, що картографуються, і процесів.

3 Демонстраційно-рекламна і пропагандистська діяльність (різного роду презентації та покази, коли суміщається демонстрація картографічних фільмів з різноманітною іншою інформацією – текстами, графіками, таблицями, фотоматеріалами, відеозаписами).

Мета: наочне передавання спеціалізованої інформації особам, що не мають картографічної підготовки (потенційно – демонстрація громадянам, що не мають узагалі ніякої спеціальної освіти), для того, щоб спонукати їх на яку-небудь дію.

4 Планування військових операцій або стеження за їх ходом.

Мета: максимально наочне передавання спеціалізованої інформації особам, що мають картографічну підготовку, для забезпечення оперативного прийняття рішення.

5 Фундаментальні дослідження в області історичних, географічних, геологічних, суспільних наук.

Мета: фундаментальні дослідження для виявлення невідомих процесів.

4.4 Характеристика окремих елементів картографічної анімації

Нині двовимірні динамічні анімаційні карти зазвичай мають усі атрибути класичної карти (масштаб, проєкції, сітка меридіанів і паралелей).

Проєкція. Зазвичай основна частина анімацій створюється з розрахунком на незмінність проєкції. Змінення проєкції при створенні двовимірних анімацій практично завжди приводить до необхідності змінення компонування карти, її масштабу, зміщення легенд та інших змінень, настільки значних, що після цього доводиться переробляти весь фільм. Змінення проєкції при створенні тривимірної анімації взагалі потребує повного перерахунку всієї моделі. Відносно просто змінити проєкцію та компонування анімованої карти можна лише в тому випадку,

якщо маємо справу з послідовністю векторних карт, що переводяться в растр і виводяться на екран в реальному часі.

Слід зазначити, що вести мову про проєкцію для анімованих анаморфоз можна лише умовно, оскільки під час анімації контурів відбувається динамічне змінення простору, який неможливо описати однією проєкцією. При створенні тривимірних анімацій, особливо ізометричних зображень, перспективних виглядів, обльотів місцевості тощо, не можна казати про проєкцію самого зображення на екрані дисплея, оскільки в проєкції знаходяться лише дані, на основі яких будується саме зображення в кадрі.

Масштаб. Масштаб анімаційної комп'ютерної карти також не можна розглядати в класичному розумінні цього терміна, оскільки він залежить від розміру дисплея, на якому демонструється фільм, і від розміру вікна, у якому ведеться показ (вікно може бути більше або менше дисплея). При створенні анімації по обльоту тривимірної моделі місцевості, коли маємо справу з ізометричними зображенням, казати про масштаб взагалі некоректно. Тому для всіх видів картографічної анімації доцільно було б використовувати термін «просторова роздільна здатність».

Для двовимірної анімації просторова роздільна здатність виражається в метрах на піксель, для тривимірної – у метрах (наприклад, просторова роздільна здатність віртуальної моделі місцевості становить 20 м).

Часовий масштаб зображень. Оскільки час є по суті четвертою координатою, під час створення анімацій можна враховувати часовий масштаб. Здебільшого в картографії всі процеси, що показуються, відображаються в прискореному режимі, проте в принципі можна припустити появу і сповільнених картографічних анімацій. Часовий масштаб 1 : 86 400 указує на те, що одній секунді анімації відповідають 86400 с реального часу, тобто 1 доба.

Потрібно зазначити, що в анімації, особливо при створенні двовимірних анімацій, зазвичай мають справу не з секундами, а з кадрами. Нерідко під час перегляду фільму можна побачити напис «1 кадру відповідає 1 рік». У цьому випадку точно визначити часовий масштаб стає складно, оскільки для цього потрібно ще знати, скільки кадрів показується в секунду в цій анімації. Використання різних за часовим масштабом картографічних анімацій дає результат, подібний до використання різних за масштабом карт на одну й ту ж територію. При зменшенні масштабу на карті залишаються лінії, основні, найважливіші деталі будови місцевості, а менш значущі зникають. І навпаки, при збільшенні масштабу можна

побачити незначні особливості місцевості, які неможливо побачити на дрібномасштабних картах. Зменшення часового масштабу анімації дає змогу виявити основні напрями розвитку територій, згладивши незначне «биття» унаслідок прискореного показу подій. Фільми ж з великим часовим масштабом приховують від нас ці основні напрями, але дають змогу детально вивчити особливості відхилень розвитку явищ від основної течії. Використання змінення часового масштабу генералізує картографічні явища і процеси.

Легенди до картографічних анімацій. Легенди для анімацій мають відповідати двом взаємно протилежним умовам:

- бути максимально повними і показувати всі види умовних знаків на карті і всі варіанти їх анімації для забезпечення наочності карт;
- бути невеликими за розміром, оскільки розмір матриці екрану є відносно невеликим.

Легенди анімаційних карт часто містять як звичайні умовні позначення, що використовуються в класичній картографії, так і достатньо специфічні елементи, рідкісні або такі, що ніколи не зустрічаються на звичайних картах. Наведемо декілька прикладів:

- лічильники часу, що застосовуються для точного визначення моменту часу, на який створювалася карта;
- колірні багатоступінчасті або безперервні градієнтні шкали (кількість ступенів кольорів може становити 800…1000 і більше), що використовуються для анімації колірного забарвлення й досягнення ефекту плавного переходу кольорів;
- анімовані умовні знаки (точкові, лінійні, площадкові), зображення яких можуть бути як дво-, так і тривимірними;
- пульсуючі умовні знаки (знаки з циклічно змінною формою, кольором, фотознімком, внутрішньою структурою, орієнтацією);
- індикатори достовірності даних і типів даних для кожного кадру.

5 КОМПОНУВАННЯ КАРТОГРАФІЧНИХ АНІМАЦІЙ

5.1 Особливості компонування картографічних анімацій

До початку XXI ст. практично всі аналогові й кінематографічні способи демонстрації і створення картографічної анімації не застосовувалися, оскільки всі вони були надзвичайно трудомісткими (потребувалося ручне або частково автоматизоване промальовування кожного кадру), користувач не міг нічого змінити у вже готовому анімаційному продукті, засоби демонстрації (кінозал, проєктор, екран) були громіздкими й мали високу вартість, а сам процес – тривалим і дорогим. Способи створення анімації, що згадуються в окремих джерелах, шляхом знімання на відеокамеру окремих паперових карт у заданій послідовності в певний час також практично не використовуються.

Абсолютна більшість картографічної анімації створюється з використанням комп'ютерів і призначається для перегляду на екрані дисплея.

Основою для сприйняття людиною анімації є зображення, що виводиться на екран комп'ютера, і під час перегляду анімації людина може сприйняти лише ту інформацію, яка відображається на екрані. Проте якраз екран комп'ютера є «найвужчим» місцем у створенні картографічної анімації.

Незважаючи на колосальне збільшення місткості пам'яті накопичувачів даних і потужності процесів за останні 10 років, збільшення розмірів дисплеїв і їх роздільної здатності (у дюймах і в кількості пікселів) є невеликим. У цьому полягає перша особливість компонування картографічних анімацій.

Наприклад, на початку 1993 р. комп'ютер, що вважався «хорошим», мав жорсткий диск на 20…40 Мб, оперативну пам'ять 1…4 Мб та екран з максимальною роздільною здатністю 640x480 пікселів при діагоналі 14 дюймів. На початку 2003 р. «хорошим» уважається комп'ютер, що має жорсткий диск на 80…120 Гб (збільшення в 3000–4000 разів), оперативну пам'ять близько 512 Мб (збільшення в 128–512 разів), екран з максимальною робочою роздільною здатністю 1600x1200 при діагоналі 19 дюймів. Таким чином, площа екрана в пікселах збільшилася в 6,25 раза, а в квадратних сантиметрах – усього в 1,84 раза.

Щоб зрозуміти, багато це чи мало, перейдемо до аналогових карт. Під час сканування стандартної воєнно-топографічної карти повне передавання всієї необхідної інформації з точністю, що відповідає точності початкової карти або є більшою за неї, відбувається при роздільній здатності сканування 250 точок на дюйм (розмір точки – 0,1 мм, точність карти – 0,4 мм, мінімальна товщина лінії на карті – 0,15 мм). Отже, на екрані з роздільною здатністю 1600x1200 точок поміститься стільки ж інформації, скільки на паперовій карті розміром 16x12 см. Невелике поле

для діяльності, особливо якщо врахувати, що основна маса користувачів працює з роздільною здатністю 1280x1024 або 1024x768 точок. З цього випливає, що необхідно максимально ефективно використовувати все поле зображення, прагнучи, якщо можливо, залишати на ньому лише найбільш значущі й важливі деталі.

Другою особливістю компонування комп'ютерних картографічних анімацій є пропорції екрана та його орієнтація. Пропорції більшості екранів становлять **4:3** (відношення ширини до висоти), і кадр завжди розташовується горизонтально. А може бути **16:9**.

Унаслідок цього створення анімацій, сильно витягнутих у вертикальному напрямку, є ускладненим, оскільки при цьому їх вертикальний розмір лімітується короткою стороною екрана.

Вимога до пропорції екрана як 4:3 є необов'язковою, пропорції можуть бути якими завгодно: достатньо лише перейти від повноекранної анімації до віконної. Проте при цьому корисна площа вікна сильно зменшується.

Слід зазначити, що перші картографічні анімації [N. J. W. Thrower, 1959] мали кілька особливостей, незвичайних для класичної картографії і сучасних анімацій. Так, на цих картах не зазначалися масштаб і проєкція, не було сітки меридіанів і паралелей, легенд. Ці особливості були обумовлені технічними й ідеологічними причинами. Зокрема, відсутність легенд автор пояснював тим, що у глядача все одно немає часу їх читати, і вважав за краще давати легенди у вигляді звукового супроводу. Подібний підхід заслуговує на увагу і може використовуватися якщо не для повного, то хоч би для часткового змінення легенди при створенні складних комплексних анімацій.

Третя особливість – це анімація і картографічні способи зображення. Поза сумнівом, значне поширення різних методів використання анімації приведе до деякого перегляду класифікації картографічних способів зображення з додаванням до них кількох інших способів.

Як відомо, при створенні всіх умовних знаків картограф оперує графічними змінними. У класичній картографії це форма, розмір, колір, фотознімок, внутрішня структура й орієнтація знака. Картографічні анімації додали до цього ряду ще декілька змінних.

Наведемо ці змінні в сукупності з прикладами гіпотетичних двовимірних карт (не є картами динаміки), що використовують анімаційні ефекти як умовні позначення.

Анімація форми (форма умовного знака може змінюватись, причому по-різному залежно від семантичного значення знака). Приклад: демографічна карта міст, на якій рівень народжуваності показано у вигляді умовного знака – кружка, при цьому народжуваність тим вище, чим більше різниця між початковим і кінцевим розмірами кружка, швидкість збільшення кожного кружка є пропорційною середній кількості дітей, що народилися. Анімації циклічно повторюються.

Анімація кольору (початковий колір умовного знака змінюється на інші кольори, швидкість і тип зміни кольору характеризують інтенсивність процесу, що картографується). Приклад: електоральна карта міст, показаних умовним знаком – білим кругом. Розмір круга є пропорційним кількості жителів. Електоральні переваги більшості показано переходом від білого кольору до умовного кольору, що асоціюється з тим або іншим кандидатом, швидкість змінення кольору є пропорційною перевазі на виборах. Анімації циклічно повторюються.

Анімація розміру (розмір умовного знака змінюється залежно від семантики). Приклад: карта населених пунктів. Населені пункти показано умовним кругом діаметром *D.* Міграція населення відображається циклічним повільним зміненням розміру знаків (часовий період змінення – *T),* причому діаметр знака змінюється пропорційно кількості мігрантів за рік. Селища вахтового типу з сезонним заселенням показуються також циклічним зміненням знака (період змінення – T/6) пропорційно кількості вахти.

Анімація внутрішньої структури знака (усередині знака відбувається змінення текстури або малюнка знака). Приклад: карта населених пунктів, показаних геометричними умовними знаками різної форми залежно від типу поселення – міське чи сільське. За допомогою різних кольорів відображається національний склад, при цьому текстура передає змінення складу, що мали місце за певний період.

Анімація положення знака. Шляхом відображення характеру руху знака можна подати додаткову інформацію про об'єкт. Анімація положення знака можлива у двох виглядах.

Перший вигляд – рух знака по полю карти, що показує фактичне переміщення об'єктів у просторі. Приклад: карта переважного напрямку течій у морі. Напрямок руху водних мас показано рухомими стрілками.

Другий вигляд анімації положення знака – знак переміщується, але рух знака не пов'язаний з його переміщенням у просторі. Приклад: карта світу, на якій у центрі кожної країни стоїть однаковий умовний знак (наприклад, круг); при досягненні країною певного рівня еміграції за рік знак починає здійснювати «биття» з одного боку в інший, залишаючись зрештою на одному місці, причому амплітуда «биття» є пропорційною дальності міграції.

Анімація орієнтації знака є окремим випадком застосування анімації форми знака, тому її не виокремлено як динамічну змінну.

Анімація поверхонь. У географії часто виникає необхідність аналізу поверхонь. Це може бути, наприклад, цифрова модель рельєфу однієї й тієї ж території в різні епохи; поле атмосферного тиску; поверхня, побудована за псевдоізолініями лісистості місцевості.

Аналіз різночасових станів поверхні й виявлення динаміки розвитку поверхні шляхом візуальних спостережень і класичної картометрії є практично неможливими. Для проведення подібних досліджень

потребується спеціалізований математичний апарат. Застосування математичних методів саме по собі є складним, та й не дуже наочним. Часто, особливо якщо необхідно лише з'ясувати суть змінень, що відбуваються, та їх швидкість, можна спростити це завдання шляхом використання тривимірної анімації поверхні.

Якщо необхідно (для підвищення наочності й інформативності анімації), поверхня може бути текстурована або «драпірована» (якщо поверхня – рельєф місцевості, то її можна обтягнути текстурою космічних знімків), у неї можуть бути додані які-небудь інші об'єкти (наприклад, населені пункти). У процесі анімації поверхні можна провести її обліт або створити кілька анімацій однієї поверхні з різних точок огляду.

Використання подібного підходу дає змогу надзвичайно наочно й ефектно продемонструвати основні тенденції розвитку поверхні в часі і візуально оцінити ці змінення.

Анімація є особливим способом картографічного відображення. Приклади використання картографічної анімації в тематичних блоках наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Приклади використання картографічної анімації

Назва блока	Тематика картографічних анімацій	Способи відображення
Загальна характеристика	Динаміка соціально-економічних показників та електоральної активності	Змінення кольору картограм і розмірів картодіаграм
Історія	Змінення державних кордонів, напрям міграції народів, проведення військових операцій, динаміка виробництва	Змінення положення кордонів, форми ареалів, рух стрілок, змінення розміру картодіаграм і локалізованих значків
Природні умови й природні ресурси	Змінення геологічних епох, кліматичні змінення, динаміка ландшафтних складових, змінення ареалів, міграція тварин	Змінення форми й положення ареалів, розподіли географічних полів, нечасові анімації з метою порівняння розподілу зв'язаних показників
Населення й людський розвиток	Змінення кількості та інших демографічних характеристик населення, систем розселення, параметрів людського розвитку	Змінення кольору картодіаграм, розмірів і кольорів локалізованих значків і картодіаграм
Економіка	Змінення економічних показників, транспортно-комунікаційної мережі	Змінення забарвлення картограм, змінення розмірів і структури картодіаграм і локалізованих діаграм
Екологічний стан природного середовища	Динаміка забруднення та інших негативних явищ, міграція тварин	Змінення форми й положення ареалів, розподіли географічних полів, змінення кольору картограм, розмірів і структури картодіаграм

5.2 Класифікація анімацій у картографії

Структурну схему електронних картографічних мультимедійних матеріалів зображено на рисунку 5.1.

Структурну схему класифікації анімацій показано на рисунку 5.2.

Анімації класифікують за такими ознаками:

- за об'єктами застосування – анімації картографічних та інших елементів;
- за змістом – анімації зі змістовим навантаженням або декоративні елементи;
- за вимірністю – двовимірні й тривимірні;
- за способами створення – анімації, виконані у відео- (.avi), векторному (.swf) і растровому (.gif) форматах;
- за методом створення – покадрові (коли зображення змінюється в кожному наступному кадрі) та автоматичні (коли зображення змінюється тільки в ключових кадрах фільму, а інші створюються автоматично);
- за способами керування – інтерактивні, що дають можливість керувати зображенням, і неінтерактивні, що відображаються автоматично без участі користувача.

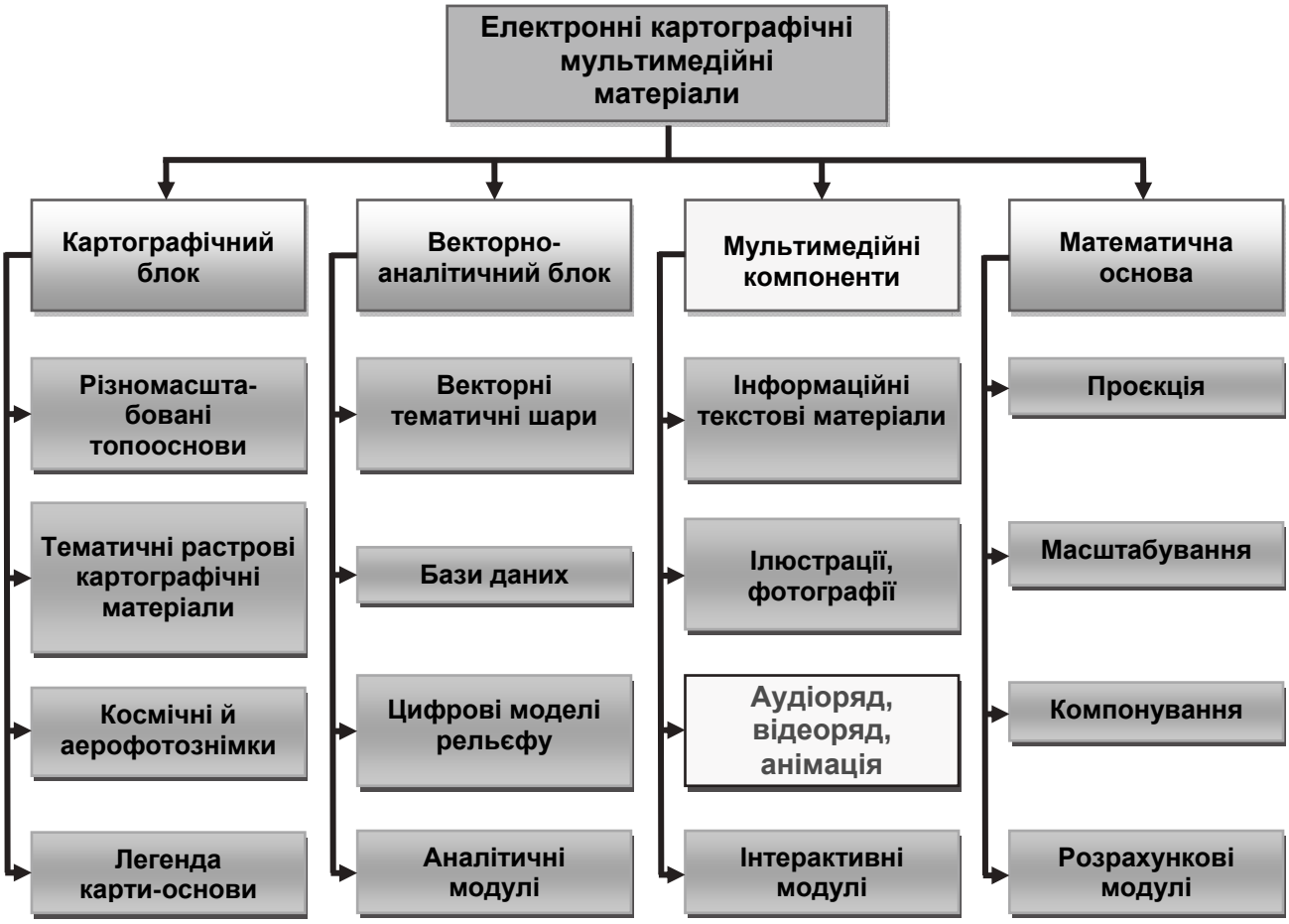

Рисунок 5.1 – Структурна схема картографічних мультимедійних матеріалів

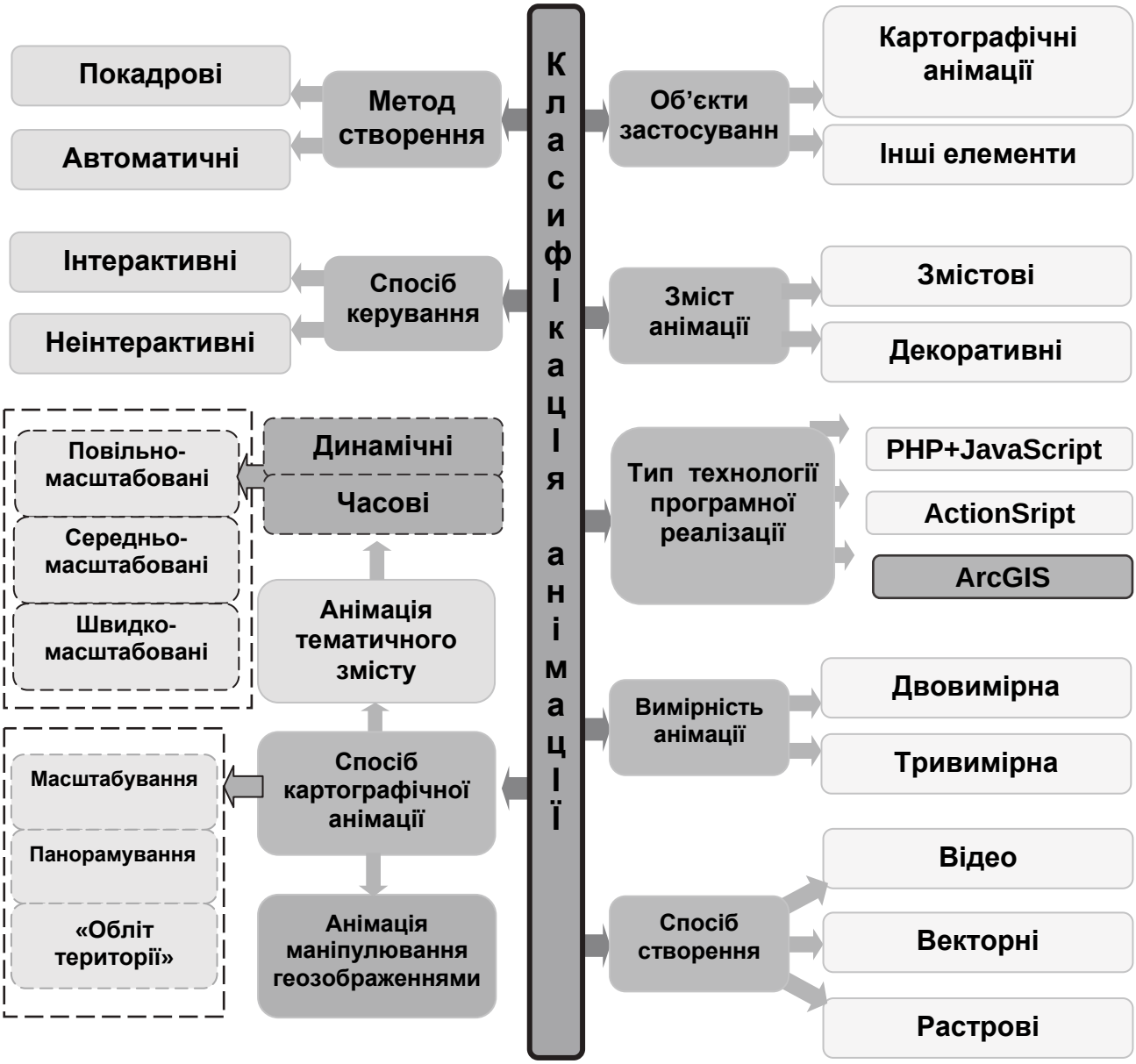

Рисунок 5.2 – Схема класифікації анімації при взаємодії з геозображеннями

За способами картографічної анімації в цьому випадку можна виокремити анімацію маніпулювання геозображеннями й анімацію тематичного змісту. До анімацій маніпулювання геозображеннями належить масштабування карти в процесі створення анімації, панорамування, змінення проєкції й перспективи, обертання тривимірних зображень, створення ефекту руху карти й польоту над картою (так званий «обліт території»). Анімації тематичного змісту – зображення динамічних і нединамічних елементів тематичного змісту карти.

Анімаційні карти можуть передавати будь-які дані, що мають часову складову. Найпоширеніші карти: змінення соціально-економічної ситуації, кордонів та ареалів, розвитку історичних подій і міграційних процесів у природних і суспільних геосистемах.

Таким чином, можливості картографічної анімації застосовуються в мультимедійних інтерактивних картографічних творах, що належать до елементів інтерфейсу, карти в цілому й окремих об'єктів карти або їх сукупності.

Найбільший інтерес становить використання анімації при картографуванні геосистем.

Головною з передумов до використання анімації в картографії є можливість відображення динаміки змінення просторових об'єктів та їх характеристик. У картографічні об'єкти додається ще одна координата – час, яким також можна керувати, переходити до певного часового значення або інтервалу, змінювати швидкість спливання часу та ін. Усе це дає можливість наочніше відобразити картографічну інформацію, побачити раніше непомічені змінення в об'єктах та їх взаємозв'язку, зробити прогнози.

Застосування анімації в картографічних додатках дає змогу вирішувати такі завдання: адекватніше відображати на карті процеси реального світу, підвищити наочність і, отже, сприйняття інформації, зробити керування додатками інтуїтивно зрозумілим шляхом додавання схожості з об'єктами реальної дійсності.

5.3 Можливості анімації в картографічних моделях

Ефекти анімації, що застосовуються в мультимедійних інтерактивних картографічних творах, можна розподілити на такі, що належать до елементів інтерфейсу, карти в цілому й окремих об'єктів карти або їх сукупності (рисунок 5.3).

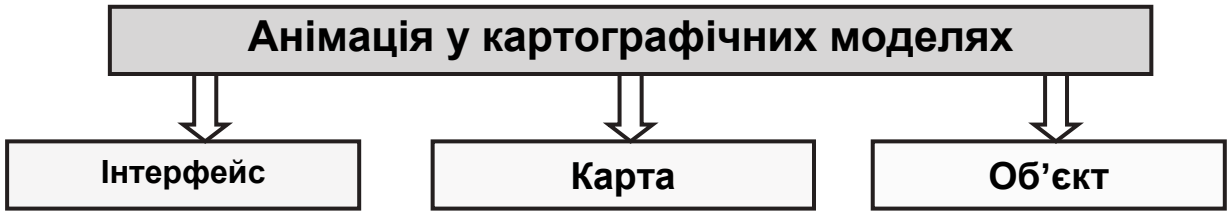

Рисунок 5.3 – Схема категорій картографічних анімацій

Анімаційні ефекти для інтерфейсу картографічних додатків застосовуються до різних типів елементів для взаємодії з користувачем і відображення допоміжної інформації (кнопки навігації по карті, масштабні лінійки, панель шарів), їх призначено для привертання уваги користувача до певного елемента, відображення змінення стану інструмента.

Анімаційні ефекти для карти застосовуються цілком до всього картографічного зображення, часу, що відображається в певний момент у картографічному творі. Їх призначено для наочного зображення змінення стану місцевості на карті з часом, поліпшення визначення

місцеположення видимих об'єктів при зміненні положення ділянки місцевості, що відображається, і т. ін.

Анімаційні ефекти для об'єктів карти застосовуються для окремих об'єктів карти або їх груп і використовуються для привертання уваги користувача до певних об'єктів, змінення їх зовнішнього вигляду з часом і внаслідок модифікації яких-небудь характеристик об'єкта, до змінення метричних характеристик об'єкта з часом.

Анімація інтерфейсу. Анімації, що застосовуються в інтерфейсі картографічних додатків, можна розподілити відповідно до трьох груп візуальних компонентів інтерфейсу (рисунок 5.4).

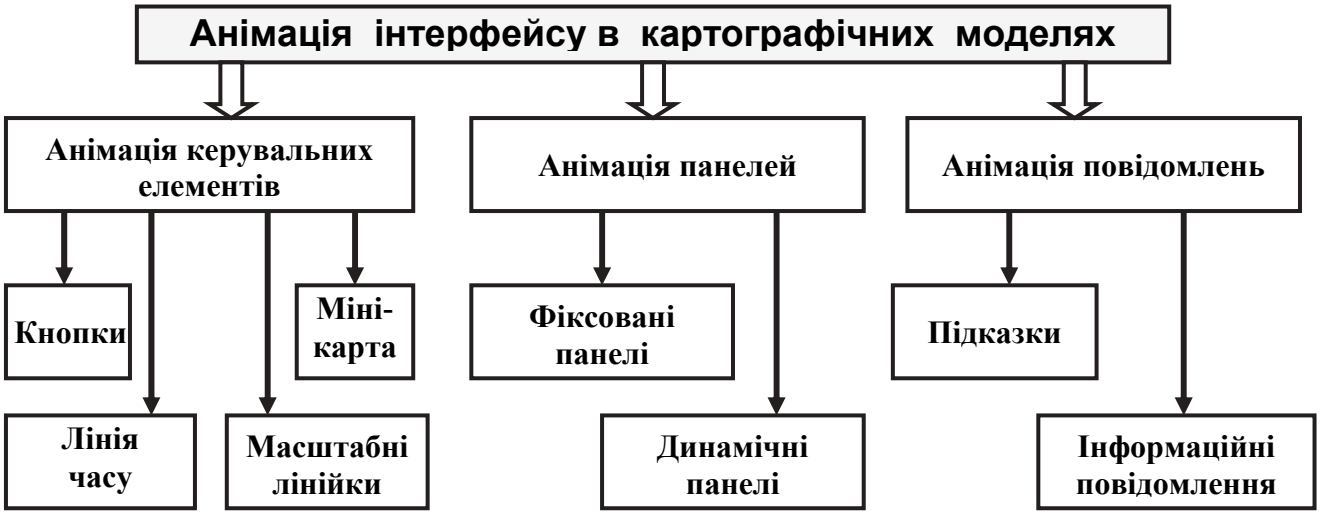

Рисунок 5.4 – Категорії анімацій в інтерфейсі

Анімації карт у картографічних моделях. Анімації, що застосовуються для карти, можна підрозділити на категорії відповідно до параметрів, що змінюються в процесі анімації (рисунок 5.5).

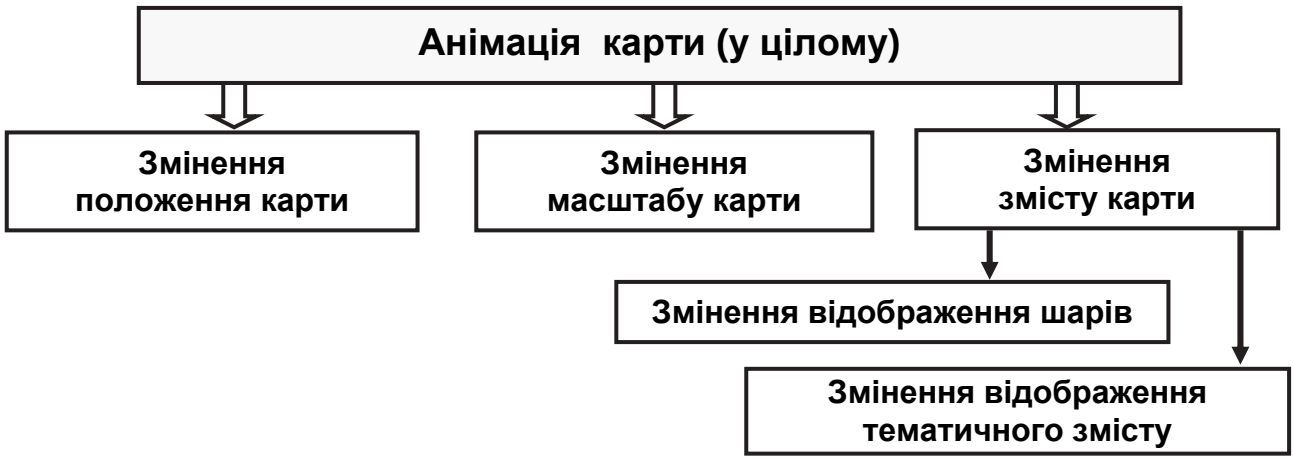

Рисунок 5.5 – Категорії ефектів анімації карти в цілому

Анімації об'єктів у картографічних моделях. Анімації об'єктів карти підрозділяються на певні категорії, як це показано на рисунку 5.6.

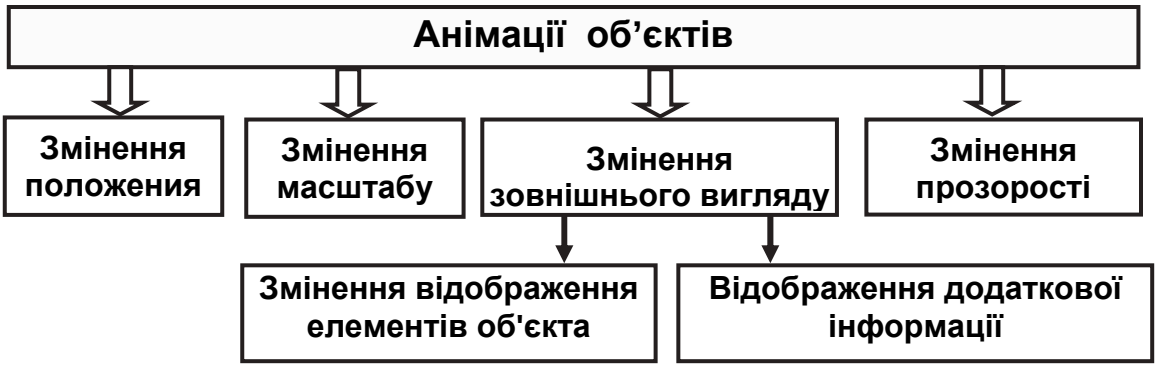

Рисунок 5.6 – Категорії ефектів анімації для об'єктів карти

5.4 Ефекти анімації в картографічних творах

Ефекти анімації, що застосовуються в мультимедійних інтерактивних картографічних творах, можна розподілити на такі, що належать до елементів інтерфейсу, карти в цілому й окремих об'єктів карти або їх сукупності.

Анімації в інтерфейсі картографічних додатків можуть бути застосовані для таких елементів:

- кнопки інструментів або режимів для привертання уваги;
- видача додаткової інформації, конкретизація функції, що виконується конкретною кнопкою;
- масштабні лінійки; під час операцій з певним об'єктом можуть бути анімовані переходи від однієї градації масштабу до іншої для кращого сприйняття змінень, що відбуваються з видимим картографічним зображенням;
- межі ділянки місцевості, що відображається на екрані, на загальній карті; плавне переміщення й змінення масштабів певного елемента дає змогу користувачеві краще відслідковувати змінення в інформації, що відображається картографічно, відносно попередніх та інших просторових об'єктів;
- вікна, що з'являються поверх основного вікна карти й містять довідкову інформацію про просторові об'єкти й правила роботи з інструментами, мають виникати і зникати поступово, а також бути зв'язаними з об'єктом або елементом, що викликав їх появу за допомогою анімації шляху переміщення.

Прикладами таких анімацій з картою можуть бути повільне змінювання масштабу, переміщення вікна перегляду, обертання карти в тривимірному зображенні.

Для окремих об'єктів карти або їх груп можна застосувати такі типи анімації: мигання (відображення знайдених унаслідок пошукового запиту об'єктів), відрисовка контуру (вибір користувачем певного об'єкта), змінення кольору (відображення змінення певного тематичного параметра з часом), поява або зникнення додаткової інформації (унаслідок зменшення масштабу спрощення зовнішнього вигляду об'єктів), змінення зовнішнього вигляду (збільшення при наведенні на об'єкт курсора миші або змінення зовнішнього вигляду значка об'єкта відповідно до змінень, що відбуваються з реальним об'єктом у часі), відображення тривимірного вигляду при наведенні, динамічна побудова діаграм, переміщення об'єкта, побудова нових об'єктів і видалення тих, що існують (зміна зони затоплення).

Розглянемо особливості застосування анімації в інтерфейсі картографічних додатків.

Застосування анімації в інтерфейсі додатка дає змогу вирішувати такі завдання: підвищення наочності, спрощення використання елементів керування шляхом додавання схожості з об'єктами реальної дійсності для привертання уваги. Однією з головних передумов до використання анімації в інтерфейсі додатків є посилення природності, оскільки в реальному житті об'єкти зазвичай змінюються поступово.

Анімовані інтерфейси спочатку виникли в комп'ютерних іграх через необхідність у високій наочності й ранньому доступі до апаратного прискорення графіки. Дотепер анімація рідко використовувалася в настільних і вебдодатках унаслідок того, що не було можливості створювати прийнятну анімацію через апаратні обмеження і відсутність відповідних інструментів. Але використання нових можливостей не завжди є доречним.

Використання анімації є найдоречнішим у таких випадках:

- пояснення ідеї або концепції елементів інтерфейсу;
- змінення стану інтерфейсу;
- організація зворотного зв'язку з користувачем.

Застосування анімації не є обґрунтованим, якщо вона:

- використовується дуже часто, без необхідності;
- заважає користувачеві або відвертає увагу від виконання завдання;
- знижує (значно) швидкодію системи.

Потрібно враховувати, що картографічний твір може відтворюватися на різних пристроях, у тому числі й мобільних, отже, необхідно звертати увагу на споживання енергії. Бажано мати можливість вимкнути відображення анімаційних ефектів або яким-небудь чином приховати їх для економії електроенергії.

При створенні анімації необхідно враховувати такі характеристики й особливості.

1 Малий термін відтворення. Більшість анімацій виконуються для операцій, що часто застосовуються, і для того, щоб не уповільнити виконання завдань користувачем. Анімації мають тривати від 1/6 до 1/2 с. Наприклад, швидкість переміщення маркера лінійки масштабів унаслідок використання інструменту масштабування не повинна бути фіксованою, і має обчислюватися виходячи з поточного й необхідного положень.

2 Час відгуку. Анімація має починатися протягом 1/15 с після ініціювальної події або дії користувача. Збільшення часу відгуку може спричинити те, що користувач не зможе співвіднести свою дію з конкретною анімацією. Виходячи з того, що обсяг просторової інформації може бути дуже великим, потрібно це враховувати під час операцій з картою для того, щоб зменшити час очікування користувача.

3 Різний темп відтворення. Анімація зазвичай має більш природний вигляд і є дуже помітною, якщо має найбільшу швидкість на початку і сповільнюється наприкінці. Наприклад, при переміщенні вікна перегляду на великі відстані проміжні стани вікна перегляду зазвичай не мають великої цінності для користувача, тоді як початкове і, особливо, кінцеве положення є достатньо важливими, отже, для певної операції має сенс використовувати різну швидкість переміщення.

4 Ключові стани. У лінійних анімаціях та анімаціях невеликої тривалості зазвичай найбільш важливими є кадри початку і кінця відтворення, особливо при відображенні переміщення об'єкта, проміжні ж стани, якщо вони відображаються лінійно, є значно менш важливими. При одночасному відтворенні декількох анімацій необхідно рознести за часом моменти їх початку й закінчення. В анімаціях, пов'язаних зі збільшенням зовнішнього вигляду значка при наведенні на нього курсора миші, зазвичай використовуються графічні зображення різного вигляду і різного ступеня деталізації, що в разі лінійної анімації спричиняє великі трудовитрати при узгодженні анімованих елементів зображень або візуальні помилки. Таким чином, часто має сенс збільшувати швидкість відтворення проміжних кадрів, виділивши початковий і кінцевий кадри.

5 Частота кадрів. Більшість анімацій для повільного відображення повинні мати частоту кадрів, не меншу за 20 $с^{-1}$.

6 Масштаб. Дизайн анімації має працювати при відображенні на різних моніторах і пристроях.

7 Персоналізація. Анімації мають узгоджуватися з дизайном, завданнями й середовищем користувачів програмного продукту, де вони

використовуються. Потрібно враховувати, хто буде користувачем створюваного картографічного твору, якими будуть склад карт, їх тематика, функції та ін.

Таким чином, зараз при створенні інтерактивних мультимедійних картографічних творів необхідно замислюватися про правильність і коректність застосування різних анімаційних ефектів, звертати увагу на цільову аудиторію, орієнтуватися на все різноманіття програмних та апаратних засобів.

5.5 Актуальні технічні проблеми картографічної анімації

Передавання даних по мережі «Інтернет». Найбільші складнощі для використання анімації виникають в мережі «Інтернет». Передавання готової растрової анімації високої роздільної здатності з великою кількістю кадрів по стандартних каналах зв'язку є практично неможливим через великий обсяг даних і низьку пропускну здатність, що призводить до значних фінансових витрат. Крім того, це тривалий процес. Перспективнішим методом є передавання по каналах зв'язку у вигляді початкової інформації і параметрів її анімації в якому-небудь стандартному й загальноприйнятому програмному продукті.

Проте сьогодні не існує жодного більш менш загальноприйнятого формату даних для передавання анімації в такому вигляді, не поширені також і програмні продукти, що дають змогу користувачеві самостійно створювати анімацію (імовірно, цих продуктів взагалі не існує). Проблему в деякому розумінні можна вирішити з допомогою формату VRML, призначеного для передавання по мережі «Інтернет» тривимірних моделей, що переглядається багатьма безкоштовними (або умовно-безкоштовними) програмами, що дають змогу проводити поворот моделі, її масштабування і наближення до неї. Проте цей формат, узагалі не призначено для картографії, є дуже громіздким і має багато інших недоліків.

Передавання результативних віртуальних моделей для їх подальшої візуалізації користувачами або фахівцями-картографами також є дуже ускладненим, оскільки, незважаючи на всі хитрощі й методи оптимізації і стиснення, навіть середня за розмірами й детальністю віртуальна модель може займати більше одного гігабайта пам'яті, а найбільш великі моделі – десятки гігабайтів.

Крім того, вартість програмних пакетів оброблення складних віртуальних моделей і тривимірної графіки (Erdas Imagine, 3D-Studio MAX, MAYA, MULTIGEN) становить десятки тисяч доларів, і звичайний користувач просто не може їх придбати.

Стиснення анімації. Через вищеописані причини передавання картографічних анімацій здійснюється в 99 % випадків у вигляді растрового відеофайлу (наприклад, файл AVI) або послідовності файлів-

кадрів (TIFF). На практиці запис відео може проводитися у форматах AVI, MPEG, DV та кількох інших форматах (RAM, QUICK TIME, WMV), що застосовуються для картографічних анімацій дуже рідко.

Формат AVI спочатку створювався як формат без стиснення, проте нині у світі існує декілька десятків спеціальних драйверів-кодеків, що підтримують різні алгоритми стиснення, тоді як файли з даними все одно мають розширення *.avi.

Для запису анімації в послідовність кадрів найчастіше використовуються формати TIFF, jpg, bmp, tga та ін.

Неважко підрахувати, що один кадр нестисненого відео розміром 1280x1024 з глибиною кольору 24 біта займає 4 Мб даних. Мінімальна рекомендована швидкість показу анімації становить 15 кадрів за секунду (при меншій кількості кадрів починає виявлятися ефект «стрибків» зображення), оптимальна – 25 кадрів за секунду. При цьому швидкість обміну даними з жорстким диском має становити 60…100 Мб/с. Проте сучасні жорсткі диски здатні на оброблення лише 20…28 Мб/с (тут не розглядається застосування RAID-масивів, оскільки це надзвичайно рідкісна ситуація).

Оскільки повнокольорові нестиснені кадри й фільми і зараз не можуть відтворюватися на комп'ютері зі швидкістю 25 кадрів за секунду, виникає необхідність використовувати різні методики стиснення відеоданих, доводячи потік інформації до 5…10 Мб/с. Декомпресія зображення здійснюється в режимі реального часу центральним процесором (процесорами) комп'ютера.

Усі алгоритми стиснення інформації поділяють на алгоритми стиснення з втратою якості й алгоритми без втрати якості. У першому випадку добиваються значного стиснення, але кінцеве зображення може сильно відрізнятися від оригіналу, у другому – фільм залишається незмінним, але достатнього стиснення не досягається.

Алгоритми стиснення з втратою даних. До таких належать алгоритми стиснення MPEG1, MPEG2, MPEG4, Motion JPEG DV RAM, сімейства кодеків для формату AVI: кодеки серії EHVX, 1NL C1NEPACK. Усі вони достатньо широко застосовуються, є безкоштовними, зручними для використання й забезпечують значне стиснення внаслідок часткової деградації зображення. Для кожного типу анімації рекомендується спробувати застосувати різні алгоритми стиснення, вибравши серед них той, який привів до якнайкращого результату.

Слід зазначити, що найбільш якісне зображення і (водночас) якнайкраще стиснення забезпечують алгоритми сімейства DIVX MPEG4. Негативною рисою їх є можливість конфлікту програм-декодувальників з апаратним забезпеченням комп'ютера, що спричиняє некоректний показ зображення або навіть збій показу. Утім, ці випадки є надзвичайно рідкісними.

Практично такий же результат дає використання алгоритму стиснення MPEG2, що не має вказаного вище недоліку. Обидва алгоритми потребують для перегляду установлення на комп'ютер драйверів кодеків, що не поставляються у стандартній комплектації Windows.

Решта алгоритмів стиснення нині є доступними, проте не мають ніяких переваг перед вищеописаними і тому застосовуються вкрай рідко.

Алгоритми стиснення без втрати даних. До таких алгоритмів належить сімейство кодеків стиснення типу RLE (Run-length enco ding).

Алгоритм стиснення RLE базується на тому, що в зображенні йдуть послідовно один за одним *N* однакових пікселів кольору *K,* кодувальник проводить запис лише кількості повторень *N і* значення кольору *K,* економлячи таким чином велику кількість байтів.

Проте стиснення є можливим лише в тому випадку, якщо в зображенні часто зустрічаються ланцюжки пікселів одного кольору, тобто зображення є достатньо однорідним. Зазвичай, до таких зображень належить більшість двовимірних анімацій, де часто застосовуються однорідні колірні заливки, кадри повторюють один одного (або трохи відрізняються один від одного). У цьому випадку стиснення RLE дає чудовий ефект. Проте при стисненні цим алгоритмом тривимірної графіки результат є практично нульовим. Відбувається це через надзвичайну неоднорідність тривимірного зображення (наявність текстур, тіней, швидка зміна точок огляду і т. ін.).

Найбільш якісний результат дає застосування кодека Autc desk RLE 24 bit, який дає змогу стискати цим алгоритмом анімації з глибиною кольору 24 біта. Широко відомий кодек Microsoft RLE призначено для роботи тільки з анімаціями в 256 кольорів. Причому навіть у цьому випадку зображення часто і сильно загрублюється.

5.6 Перспективи розвитку анімації в картографії

Насамперед подальший розвиток картографічної анімації потребує експериментальних психологічних досліджень, спрямованих на вивчення сприйняття динамічних графічних образів, а також на оцінювання результатів створення тих або інших способів зображення, де використовуються динамічні графічні змінні.

Якщо в класичній картографії такі роботи проводилися, були опубліковані й широко використовувалися при оформленні карт і в картографічному дизайні, то в анімаційній картографії ця область знань є практично недослідженою.

Наведемо приклад особливостей анімаційних способів відображення інформації: сприйняття кольорів з багатоступінчастих колірних шкал, що плавно переходять один в одний, є принципово різним при різній швидкості показу фільму. Не остаточно вивчено здатність людини одночасно сприймати декілька однакових, але по-різному анімованих

знаків. Список мало досліджених і зовсім не вивчених аспектів сприйняття змінних зображень – величезний.

Сьогодні розробляються нові методи й прийоми анімаційного картографування для кожного з наявних типів анімації. Особливо важливими є досліди з комплексування динамічних графічних змінних та їх сумісного застосування з класичними картографічними способами відображення. Створюються принципово нові типи анімації (останніми роками розроблено і створено такі картографічні зображення, як анімовані анаморфози, анімовані пірамідальні блок-діаграми та ін.).

Унаслідок технічного прогресу змінюються вимоги до кінцевої продукції – до самої анімації. Як було показано вище, розмір матриці екрану є надзвичайно важливим для анімації і часто має вирішальне значення при виборі масштабу анімації й образотворчих засобів. Зараз це значення коливається між 1280x1024 і 1600x1200 (1920x1200) пікселів.

Подальший розвиток ПЗ для генерації двовимірних анімацій відбувається в двох напрямах:

- розвиток складного й багатого за можливостями ПЗ для створення анімацій професіоналами і видачі їх користувачеві в готовому вигляді;
- розвиток ПЗ для створення анімації самим користувачем, що є скромнішим за можливостями, але простішим в освоєнні.

Програмне забезпечення для створення тривимірних анімацій розвивається шляхом його ускладнення. Передбачається, що споживач анімації в принципі не зобов'язаний знати, як вона робиться, і може не вміти самостійно створювати такі продукти. Усі сучасні продукти, що мають повний спектр можливостей для створення високоякісної і детальної анімації (як у режимі реального часу, так і в режимі попереднього розрахунку), є надзвичайно складними системами, що потребують багаторічного досвіду роботи й володіння всіма тонкощами картографії та комп'ютерної графіки.

Ці системи розвиваються шляхом збільшення обсягів оброблюваної інформації (що веде до підвищення детальності моделей, збільшення їх просторового обхвату), прискорення й оптимізації проведення математичних розрахунків.

З'являються все нові можливості з анімації об'єктів, що входять до складу математичної моделі місцевості (наприклад, можливість задати не тільки різні траєкторії для об'єктів, але й різну кінематику руху – інертний політ важкого літака). Передбачається можливість ієрархічної супідрядності об'єктів (рухи батьківського об'єкта (старшого за ієрархією) завжди копіюються дочірнім об'єктом (молодшим), а не навпаки).

Розрахунок траєкторії руху і швидкості відбувається автоматично.

При створенні віртуальних моделей місцевості й пов'язаних з ними тривимірних анімацій усе більше уваги приділяється використанню даних дистанційного зондування Землі. У програми додають засоби для читання й оброблення сирих і частково оброблених даних зйомок, які виконуються

із застосуванням різних апаратів (LANDSAT, ICONOS, ASTER), завдяки чому розробник може самостійно обробляти знімки, не звертаючись до спеціалізованих центрів.

Збільшується асортимент мультимедійних форматів, допустимих до використання в анімованих віртуальних моделях: звукові ефекти, тексти, анотації, растрові фотоматеріали, CAD-матеріали.

У подальшому анімації, що створюються при візуалізації віртуальних моделей, за своєю реалістичністю все більше наближатимуться до відеозйомки реальної місцевості, а технології анімації окремих об'єктів дадуть змогу не тільки моделювати наявні системи об'єктів, але й прогнозувати різні сценарії їх розвитку. Анімація залишиться однією з областей геоінформатики, що ставлять високі вимоги до апаратних ресурсів.

Розвиток двовимірних анімацій і використання динамічних графічних змінних набуде логічного завершення; унаслідок досліджень різних способів зображення будуть сформульовані основні правила застосування динамічних і статичних способів зображення, що дасть змогу створювати лаконічні за формою й багаті за змістом картографічні інформаційні продукти.

6 ЦИФРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЛЬЄФУ

6.1 Створення цифрової моделі рельєфу

Цифрова модель рельєфу (ЦМР) – це засіб цифрового подання тривимірних просторових об'єктів (поверхонь або рельєфів) у вигляді тривимірних даних, що створюють безліч висотних відміток (відміток глибин) та інших значень аплікат (координати Z) у вузлах регулярної або нерегулярної мережі або сукупність записів горизонталей (ізогіпс, ізобат) або інших ізоліній.

Перші експерименти зі створення ЦМР належать до найраніших етапів розвитку геоінформатики й автоматизованої картографії в першій половини 60-х років XX ст. Відтоді розроблено методи й алгоритми розв'язування різних задач, створено програмні засоби моделювання, великі, зокрема національні й глобальні, масиви даних про рельєф, накопичено досвід вирішення з їх допомогою різноманітних наукових і прикладних завдань. Цифрове моделювання рельєфу як одна з важливих моделювальних функцій геоінформаційних систем містить дві групи операцій, перша з яких обслуговує вирішення завдань створення моделі рельєфу, друга – її використання.

До проблематики створення ЦМР традиційно належать питання оцінювання джерел даних про рельєф (зокрема їх точність), вибору моделей просторових даних для його опису, методи реалізації та верифікація отриманої моделі.

Джерела даних для ЦМР. Незважаючи на простоту модельованого об'єкта – рельєфу, що добре, на перший погляд, описується математично як поверхня або поле, практика пропонує безліч способів і технологій створення ЦМР (рисунок 6.1).

Множинність типів джерел початкових даних про рельєф обумовлена, своєю чергою, різноманіттям способів отримання й організації первинних вимірювальних відомостей та їх похідних. Серед них геодезичні роботи й топографічне знімання місцевості, стереофотограмметричне оброблення фототеодолітних, аеро- і космічних знімків, альтиметричне знімання (рельєф суші), вимірювальні роботи й ехолотування підводного рельєфу акваторії океанів і внутрішніх водоймищ, знімання радіолокації рельєфу льодовикового ложа і небесних тіл. Різноманітними є і вторинні джерела відомостей про рельєф, наприклад топографічні карти.

Просторова організація початкових даних про рельєф як множина опорних точок моделі (точка з відомими висотними відмітками) також є різною. Розподіл точок може бути регулярним, структурним і хаотичним.

З урахуванням технології отримання й попереднього оброблення (характеру фотограмметричного оброблення стереомоделей і технології цифрування карт) можна виокремити системи висотних відміток рельєфу у випадково розташованих точках – у вузлах нерегулярної мережі (що

отримуються, наприклад, шляхом тахеометричного знімання), у частково впорядкованій множині точок (інженерні дослідження), регулярних ґрат (спеціальні види площадкової нівеляції, цифрове фотограмметричне оброблення, попереднє оброблення інших моделей), у лінійно впорядкованій множині точок, що отримуються шляхом цифрування карт (обводом ліній або скануванням), у повністю або частково впорядкованій множині точок місцевості, що генеруються в процесі фотограмметричного оброблення стереомоделей.

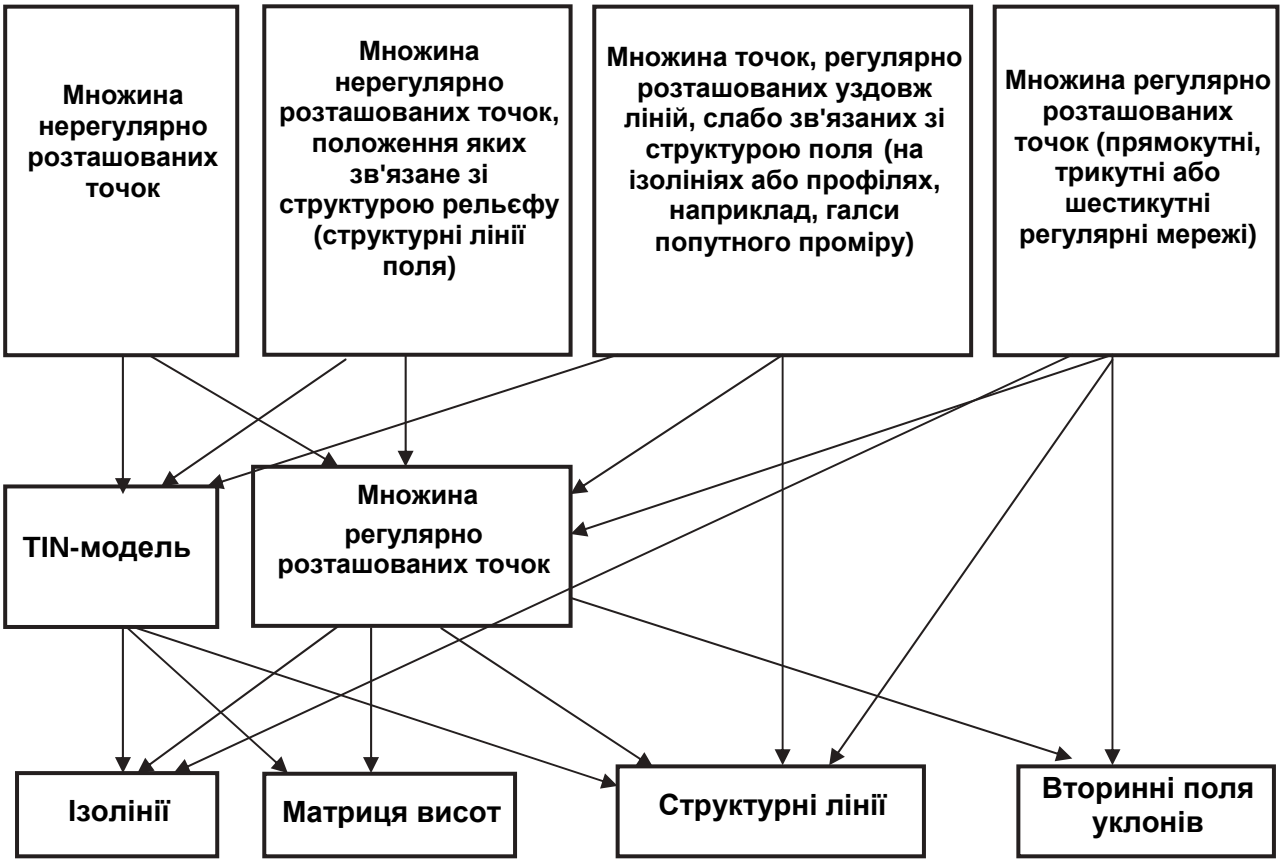

Рисунок 6.1– Загальна схема створення ЦМР

На рисунку 6.1 чотири типи початкових множин:

- нерегулярно розташованих точок;
- нерегулярно розташованих точок, положення яких зв'язане зі структурою рельєфу (структурні лінії поля);
- точок, регулярно розташованих уздовж ліній, слабо зв'язаних зі структурою поля (на ізолініях або профілях, наприклад, галси попутного проміру);
- регулярно розташованих точок (прямокутні, трикутні або шестикутні регулярні мережі).

Карта як джерело масових даних для ЦМР. Серед переліченої вище різноманітності джерел даних для моделювання рельєфу два з них –

карти й аерокосмічні матеріали – відіграють особливу роль масових джерел.

Що стосується даних дистанційного зондування – матеріалів аеро- і космічного знімання, їх роль з різних причин буде підвищуватися, а частка й роль карти – знижуватися.

Це технологічні й технічні причини: підвищення просторової роздільної здатності систем космічного знімання (<1 м) сканера, широке застосування відносно недорогих і доступних цифрових фотограмметричних станцій, зокрема, на платформі персональних комп'ютерів, поява методу, що принципово відрізняється від стереофотограмметричного методу екстракції висот, – інтерферометрії, що набула значного використання в обробленні радіометричних даних. Аерознімки використовуються для контролю якості і верифікації ЦМР. З відносно великомасштабної стереомоделі аерознімків, що вважається умовно істинною, беруться контрольні точки зі значеннями висотних відміток, точність яких є набагато вищою, ніж у моделі, що верифікується.

Дані дистанційного зондування в цілому і процедури їх оброблення, зокрема екстракції висот, також мають недоліки. В умовах щільної міської забудови або високої залісненості (при стовідсотковій зімкнутості крон деревостою) отримана цифрова модель значною мірою відображатиме геометрію будівель і споруд або запони лісу й потребуватиме втручання оператора в автоматизований процес її побудови.

У зарубіжній літературі, присвяченій цифровим фотограмметричним методам створення ЦМР, прийнято розрізняти власне «цифрову модель рельєфу» (Digital Terrain Model, DTM; Digital Elevation Model, DEM) і «цифрову модель поверхні» (Digital Surface Model, DSM), під якою розуміють «рельє-фон» – невідкоректований (нерафінований) набір висотних даних, що відображають зовнішню поверхню крон дерев або дахів будівель, а також будь-яких інших «надповерхневих» рельєфів.

Однак досі карта залишається безперечно основним джерелом даних для ЦМР, що потребує детальнішого її розгляду.

До картографічних джерел належать топографічні карти й плани, що використовуються для створення ЦМР суші, і морські навігаційні або топобатиметричні карти для ЦМР акваторій. Типова технологія генерації ЦМР ґрунтується на цифруванні горизонталей як основної її складової, а також висотних відміток та інших картографічних елементів, що використовуються для відображення рельєфу, із залученням даних щодо інших об'єктів карти (елементів мережі гідрографії). За наявності готової цифрової топографічної або аналогічної карти використовуються й відповідні шари.

На сучасних загальногеографічних картах суші рельєф зображується композицією трьох засобів картографічної виразності з різною просторовою локалізацією елементів: системою ізоліній (горизонталей, ізогіпс), безліччю відміток висот і сукупністю точкових позамасштабних,

лінійних і площадкових знаків, що доповнюють зображення рельєфу горизонталями (знаки ярів і промоїн, сухих ділянок річок, обривів брівок, обвалів, осипних ділянок, скель, курганів, льодовиків). Як джерело даних для ЦМР топографічна карта при всіх її перевагах має й недоліки. Один з них пов'язаний із зображенням рельєфу горизонталями.

По-перше, загальновідомо, що дві функції горизонталей – сполучати точки з однаковими висотами й бути засобом «правильного», «географічно достовірного» опису (передання) форм рельєфу на карті – перебувають у важко вирішуваній суперечності між собою. Використовуючи спосіб горизонталей, важливо бачити в горизонталях не тільки математичні лінії однакових висот, але й лінії, що відображають форми рельєфу. За зображенням горизонталей судять про тип рельєфу. М'яким формам рельєфу властиві округлі, плавні горизонталі, різким формам – звивисті, непропорційні. Кожен тип рельєфу має неповторний своєрідний рисунок горизонталей. Правила складання й редагування зображень рельєфу, оформлені в інструкціях і редакційних указівках, зазвичай рекомендують зберігати або навіть утрирувати ці їх властивості.

Баланс між «правильністю» і наочністю, метричністю і пластичністю, тобто точністю і достовірністю зображення рельєфу горизонталями є неоднаковим для карт топографічного масштабного ряду. Залежно від масштабу основні вимоги до зображення рельєфу різняться. Більш того, за межами топографічних масштабів помітнішу роль починає відігравати наочність відтворення рельєфу, його пластичність. Звідси основний принцип гіпсометричної школи: географічна правдоподібність, точність зображення і пластична виразність рисунка рельєфу.

Важливий практичний висновок, що випливає з аналізу дрібномасштабних загальногеографічних карт, полягає в такому.

По-перше, топографічні та інші карти суші масштабу 1:500 000 і дрібніше є практично непридатними для створення ЦМР.

По-друге, як і будь-який інший елемент картографічного зображення, горизонталі проведено на ньому з певною точністю, яка за інших рівних умов (масштабі, методах знімання або складання карти шляхом, що генералізує великомасштабні картографічні джерела) залежить від типу, морфології рельєфу. Принципово важливо, що в нормативних документах наперед визначено, що карта в частині зображення рельєфу є нерівноточною; не менш нерівноточною буде ЦМР, створена на її основі, з урахуванням похибок, що вносяться в процесі її аналого-цифрового перетворення, тобто цифрування горизонталей та оброблення отриманих записів при трансформації в один із зазначених вище типів моделей.

По-третє, окрім основних топографічні карти містять додаткові й допоміжні горизонталі. Перші з них проводяться на половині висоти перетину (їх також називають півгоризонталями) і з огляду на метричність є аналогічними основним, другі ж проводяться згідно з інструкціями на

довільній висоті і зазвичай мають бути надписані; інакше їх розрахувати під час побудови ЦМР буде неможливо.

По-четверте, на топографічних картах немає зображень рельєфу дна внутрішніх водоймищ, а також морських та океанічних акваторій. У більшості випадків формальний вихід з цієї ситуації полягає в тому, щоб присвоїти акваторії висотну відмітку урізання води, умовно вважаючи її «плоскою». З різних причин (різночасність створення окремих номенклатурних листів похибок топографічного знімання або грубі помилки укладачів) контур одного й того ж водоймища може супроводжуватися різними відмітками урізання води; у цьому випадку виникає завдання зведення дзеркала води до «горизонту».

Як і будь-який елемент картографічної графіки, горизонталі мають свої графічні межі: при встановленій інструкцією товщині ліній горизонталі 0,2 мм і відстані між ними 1 мм карта може містити не більше трьох горизонталей. Для усунення внутрішньо- і міжелементних графічних конфліктів в інструкціях допускається штучне злиття горизонталей на схилах з крутизною вище деякої межі, а також їх «укладання», тобто штучне збільшення відстані між сусідніми горизонталями для запобігання їх злиттю. Обидва прийоми, що допускаються щодо зображення рельєфу горизонталями на топографічних картах, з огляду на їх оцінювання як основи ЦМР, є однаково «шкідливими»: формально область злиття горизонталей в їх цифровому записі має сприйматися як вертикальна «стінка» (формалізми деяких конкретних типів моделей можуть кваліфікувати таку ситуацію як тополого-геометричну помилку запису), а штучно «розсунені» горизонталі спотворюють ухили й поздовжні форми схилів. Обидва типи картографічних артефактів в умовах середньо- і високогірря здатні ще більше знизити точність ЦМР порівняно з її інструктивно визначеними значеннями.

Звідси випливає загальна рекомендація щодо програмних засобів створення ЦМР: вони мають підтримувати контроль геометричної коректності цифрових зображень горизонталей, тобто мають дотримуватися дві умови:

1) однойменні й різнойменні горизонталі не повинні перетинатися (зливатися, торкатися);

2) кожна горизонталь має бути замкнута на саму себе або на межу картографічного зображення (зазвичай на рамку карти).

Дотримання першої з умов забезпечує відсутність складок (нахлестів) у запису горизонталі й злиття (торкання) різнойменних (сусідніх) горизонталей, другої – відсутність у них розривів.

Недоліки топокарт у частині зображення рельєфу горизонталями частково можуть бути компенсовані іншими графічними елементами, що використовуються для відображення елементів і форм рельєфу й не виражаються в горизонталях за суто графічними або змістовими мотивами. Наприклад, зведення умовних знаків топографічних карт

масштабу 1:10000 містить більше 50 лінійних і точкових знаків, частина з яких – висотні відмітки, відмітки урізань води, знаки ярів з указанням їх глибини, обривів, карстових воронок та інших природних утворень, а також багатьох штучних форм рельєфу, і дійсно може істотно поліпшити загальну метричну характеристику рельєфу й підвищити точність створюваної моделі шляхом її розрахунку в структурних ЦМР. Навпаки, украй схемний рисунок високогірних форм рельєфу, включаючи льодовики, снігові покрови і фірнові поля, знаки скель і скелястих обривів з фрагментами горизонталей, робить неможливим створення на ці ділянці кондиційної ЦМР і потребує наявності некартографічного першоджерела, наприклад аерознімка.

Точність як одна з важливих характеристик якості моделі може бути оцінена або її відповідністю умовно-дійсному «оригіналу», або релевантністю тим завданням, які вирішуватимуться в процесі використання моделі. Перший з підходів, як буде показано нижче на реальних прикладах, базується на контролі точності ЦМР за вибірковими оцінками їх средньоквадратичних похибок і відповідністю стандартам якості.

Обидва підходи є однаково корисними і в разі проєктування новостворюваної ЦМР, і при оцінюванні можливостей використання вже наявної моделі. Як і будь-яка модель, ЦМР не може бути оцінена в категоріях істинності, але до неї прикладено поняття «роботоздатність». Серед факторів, що обумовлюють інтегральну підсумкову точність ЦМР, можна назвати характер і точність джерела початкових даних, технологію аналого-цифрового перетворення даних, якщо використовується джерело аналогового типу (наприклад, карта) зі своїми похибками, точність відновлення функції висоти при перетворенні хаотично впорядкованої безлічі висотних відміток на їх регулярний набір (наприклад, точність процедур інтерполяції), тип і параметри моделі даних, що використовується при створенні ЦМР (наприклад, крок регулярної моделі висот, тобто її просторова роздільна здатність). Нижче будуть наведені оцінки точності деяких конкретних моделей. Точність ЦМР як функції амплітуди досліджена недостатньо, і в цьому полягає великий недолік усієї методології й індустрії створення і використання ЦМР у цілому.

6.2 Типи цифрових моделей рельєфу

Зазвичай первинні дані використовуються в операціях, які зводять до одного з двох найбільш поширених зображень поверхонь у ГІС:

- растрове зображення (моделі);
- моделі типу TIN.

Растрова модель просторових даних – розбиття простору зображення на далі неподільні елементи (пікселі) – відносно ЦМР позначає матрицю висот: регулярну (зазвичай квадратну) мережу

висотних відміток в її вузлах, відстань між якими (крок) визначає її просторову роздільну здатність. Саме такі ЦМР створюються національними картографічними службами багатьох країн (цей тип моделей проілюстрований на прикладі Національної ЦМР США у форматі DEM). Перевага такої моделі полягає в зручності її комп'ютерного оброблення. Регулярна мережа щодо зображення рельєфу іменується гридом, а операція з перерахунку нерегулярних даних в її вузли – гридингом.

До растрової (або, як її ще називають, матричної чи регулярної) моделі шляхом інтерполяції, апроксимації, згладжування та інших трансформацій можуть бути зведені ЦМР усіх інших типів, що найчастіше й робиться на практиці. Для відновлення поля висот у будь-якій його точці (наприклад, у вузлі регулярної мережі) за заданою множиною висотних відміток (наприклад, за цифровими записами горизонталей) зазвичай застосовуються різноманітні методи інтерполяції. Найбільш поширеними вважаються: метод кригінгу, середньозважена інтерполяція за методом Шепарда, поліноміальне й кусково-поліноміальне згладжування.

Суть **моделі TIN** в її найменуванні – «Нерегулярна трикутна мережа» (в англійському оригіналі – Triangulated Irregular Network). У своєму просторовому вираженні це мережа трикутників – зазвичай елементів тріангуляції Делоне – з висотними відмітками в її вузлах, що дає змогу подати поверхню як багатогранну (рисунок 6.2).

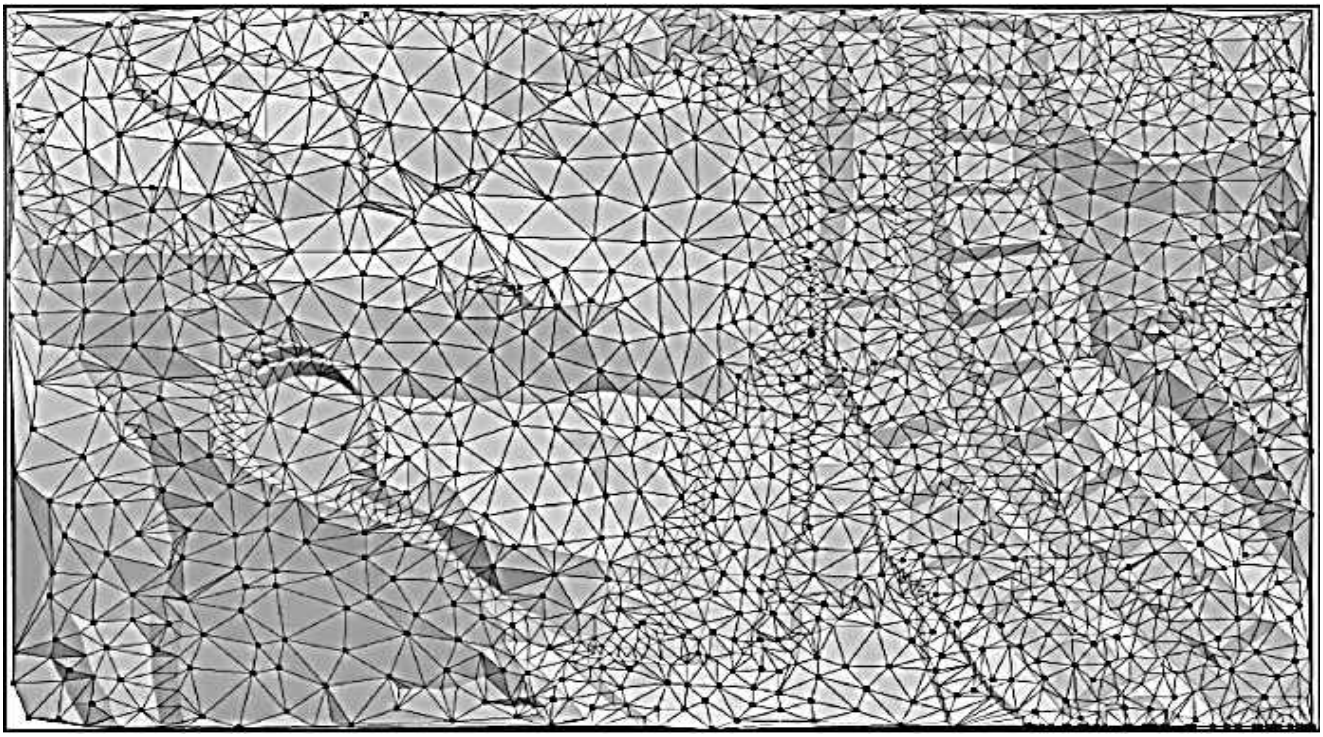

Рисунок 6.2 – Тріангуляція Делоне на множині висотних відміток, утворених проміжними точками цифрових записів горизонту

Модель TIN підтримується багатьма потужними універсальними програмними засобами ГІС, модулями оброблення і створення ЦМР в їх складі. Таким є, наприклад, модуль TIN у програмних засобах ГІС ArcInfo (ESRI Inc., США).

Проте її використання в технологіях створення ЦМР на основі шару відцифрованих горизонталей цифрових карт, масове виробництво яких налагоджено більшістю національних топографо-картографічних служб, розкрило її істотні недоліки. Основним із них є «ефект терас», що виражається в появі морфологічних артефактів, – плоских ділянок в наперед неможливій геоморфологічній ситуації (наприклад, по лінії днища V-подібних тальвегів). Одна з основних причин – малі відстані між точками цифрового запису горизонталей порівняно з відстанями між самими горизонталями, що є характерним для більшості типів рельєфу в їх картографічному відображенні. Поява таких морфологічних артефактів порушує морфографію і морфометрію модельованого рельєфу, що знижує точність і якість самої моделі та її похідних. Один зі способів значного поліпшення якості й морфологічної правдоподібності ЦМР полягає в розширенні моделі TIN шляхом її структуризації – уведення в неї мережі тальвегів, вододілів і ліній перегинів і розривів (брівок, уступів терас і т. ін.). В алгоритмічному сенсі це означає використання в справжніх моделях рельєфу ГІС-керованої тріангуляції Делоне замість класичної. Можливі й інші підходи, але суть їх одна – структуризація (точніше, оструктуровування) ЦМР.

У новому розумінні структурно-цифрова модель рельєфу (СЦМР) розглядається як сукупність двох точкових множин:

- базисної (що відповідає тальвегам);
- вершинної (що відповідає вододілам), тобто системи інваріантних ліній рельєфу різного порядку, його «скелета».

У такій моделі, що називається також структурно-лінгвістичною моделлю рельєфу, не допускається наявність висотних відміток поза мережами інваріантних ліній, цим вона відрізняється від інших СЦМР. У межах цієї моделі структура рельєфу визначається такими складовими:

- каркасом;
- вертикальною складовою;
- горизонтальною складовою.

Як каркас розглядаються три типи ліній: тальвеги, вододіли й перегини схилів. Можна припускати, що останній з типів ЦМР вичерпує можливості поліпшення достовірності і точності ЦМР на деякій множині початкових даних, забезпечуючи до того ж розширені можливості її аналізу. На основі такого підходу був створений кращий з відомих на період 1985–1995 рр. програмних продуктів для створення й оброблення ЦМР – «Рельєф-Процесор».

Подальший розвиток цифрового моделювання рельєфу пов'язується з новими тривимірними моделями просторових даних, відомими лише в

експериментах і небагатьох реалізаціях в комерційних програмних засобах ГІС. Ці моделі базуються на тривимірних розширеннях планіметричних двовимірних моделей. До таких належать два типи моделі: модель об'ємних пікселів – вокселів (тривимірна розширена растрова модель даних); тривимірне розширення моделі TIN – тетраедрична модель. Обидва типи істинно тривимірних моделей можуть описувати не тільки поверхні, але й тіла з використанням підходів та алгоритмів так званого твердотільного моделювання в комп'ютерній графіці. Відомі приклади їх використання в геології, геофізиці, маркшейдерії як інструменту геометризації надр.

6.3 Математичні алгоритми, що використовуються для ЦМР

Створення ЦМР і перерахунок їх з одного вигляду в іншій базується на використанні математичного апарату. Від правильного його застосування залежить не тільки адекватність побудованої моделі, але й оптимальність витрат ресурсів машинної пам'яті й часу обчислення.

Серед основних груп алгоритмів виокремлюють такі:

- обчислення відміток висот у довільних точках за початковою множиною нерегулярно розташованих точок;
- обчислення відміток висот у довільних точках за початковими точками, заданими тріангуляцією Делоне;
- обчислення відміток висот у довільних точках за початковими точками, заданими на матриці висот.

Слід зазначити, що в будь-якому випадку при обчисленні відмітки точки ми вимушені користуватися алгоритмами інтерполяції (значення, що отримуються в початкових точках, збігаються з істинними абсолютно точно) або апроксимації (значення, що отримуються в початкових точках, збігаються з істинними з деякою мірою точності).

Ще однією особливістю вибору методу наближення є ступінь його локалізації. Можна скористатися однією формулою наближення для всієї території (глобальний алгоритм), що вивчається, або змінювати формулу наближення у міру зміненням аргументів (кусково-локальний алгоритм).

Вибір цих параметрів алгоритму залежить від якості початкових даних (немає необхідності вирішувати складнішу задачу інтерполяції, якщо якість початкових даних є невисокою) і наших пізнань про рельєфоутворювальні процеси (якщо на території рельєфоутворення пов'язано з сукупністю декількох слабо зв'язаних процесів, то природно використовувати кусково-локальний алгоритм).

Отже, у загальному випадку відновлення значень функцій у проміжних точках виконується з використанням деяких допоміжних функцій $Z = F(x,y)$, які, своєю чергою, є сумами деякої сукупності базисних функцій:

$$F(x,y) = a_1 f_1(x,y) + a_2 f_2(x,y) + \ldots + a_к f_к(x,y).$$

6.4 Використання ЦМР

Готова цифрова модель рельєфу здатна забезпечити вирішення найрізноманітніших завдань завдяки розвиненим функціям цифрового моделювання рельєфу, які вбудовані в сучасні універсальні повнофункціональні інструментальні програмні засоби ГІС. Основна мета візуалізації рельєфу – це тривимірність зображення (рисунок 6.3). Цифрові 3D-моделі рельєфу дають змогу проводити такі операції:

• швидке отримання інформації про морфометричні показники (висоту, кут нахилу, експозицію схилу) у будь-якій точці моделі;

• аналіз крутизни й експозицій схилів, побудова «на льоту» відповідних карт;

• генерація горизонталей;

• побудова профілів поперечного перерізу рельєфу за напрямком прямої або ламаної лінії;

• аналіз поверхневого стоку;

• генерація мережі тальвегів і вододілів;

• розрахунок об'ємів;

• розрахунок площ поверхні;

• розрахунок рівнів і площ затоплення;

• побудова тривимірних моделей рельєфу з можливостями рендерингу і драпірування поверхні як векторними об'єктами (гідромережа, дороги, населені пункти, ландшафтні карти), так і растровими шарами (топокарти, дані дистанційного зондування);

• створення відеозображення «прольоту» над поверхнею моделі за заданим маршрутом (системи віртуальної реальності);

• аналіз зон видимості із заданої точки або точок огляду і побудова відповідних карт або 3D-моделей;

• трансформація початкової моделі шляхом додавання нових даних.

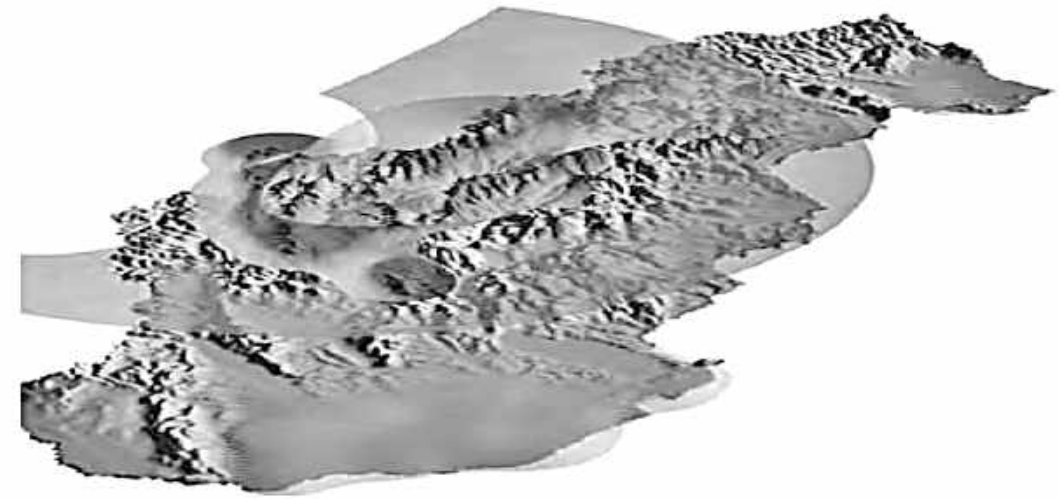

Рисунок 6.3 – Тривимірна модель у GRASS

7 ВІРТУАЛЬНІ МОДЕЛІ МІСЦЕВОСТІ

7.1 Аналіз програмного забезпечення для створення віртуальних моделей місцевості

З віртуально-реальними моделями сучасна людина стикається з раннього дитинства, наприклад, використовуючи багато комп'ютерних ігор або спостерігаючи за розвитком синоптичних процесів по телебаченню. Дійсно, вони є дуже різноманітними і набули широкого використання. Сьогодні можливе створення віртуальної моделі практично будь-якого об'єкта всесвіту, про який є інформація. Так, існують наочні віртуально-реальні моделі атомів, людського організму, об'єктів живої природи (наприклад, мурашників), віддалених або невидимих космічних об'єктів (наприклад, ядра комети Галлея), а також моделі інших об'єктів і систем, часто дуже далеких від геоінформатики. Розглянемо їх на прикладі найбільш важливого для геоінформатики різновиду – віртуальної моделі місцевості.

Віртуальна модель місцевості (ВММ) – математична модель місцевості, що містить інформацію про рельєф земної поверхні, її спектральні яскравості та об'єкти, розташовані на певній території, і призначена для інтерактивної візуалізації з ефектом присутності на місцевості.

Слід також зазначити, що сьогодні можливим є не тільки обліт поверхні, але й рух у середовищі (наприклад, занурення під воду з імітацією ефектів освітлення й динаміки руху). Проте візуалізація багатошарових поверхонь (наприклад, рух у ґрунті з візуалізацією шарів порід) утруднена через неефективність образотворчих засобів, тому зараз не застосовується.

Для створення й візуалізації віртуальної моделі місцевості з достатньо високим ступенем реалістичності потребується застосування програм, здатних обробляти тривимірні об'єкти, що драпіруються («обтягнуті») текстурою (растровими картами або знімками).

Усі наявні програми, що надають подібні можливості, можна розподілити на декілька типів:

1 CAD-пакети, призначені для креслення або проєктування (не для картографії), що містять вбудовані функції для візуалізації тривимірних об'єктів.

2 Програми для створення 3D-графіки й відеоефектів;

3 Картографічні програми.

CAD-пакети (наприклад, AUTOCAD, Microstation) не дають можливості створювати повноцінні моделі місцевості внаслідок того, що вони просто не призначені для цього, проте, якщо необхідно, у них можна створити тривимірну модель рельєфу, що драпірується текстурою, а також увести в модель додаткові об'єкти (будинки, споруди). Пакети дають змогу

візуалізувати модель з будь-якого ракурсу або обертати її перед спостерігачем.

Основним недоліком цих способів створення ВММ є надзвичайна трудомісткість процесу, складнощі із забезпеченням взаємозв'язку растрів, тривимірних об'єктів та ін. Крім того, подібні моделі дуже вимогливі до ресурсів комп'ютера, і навіть невелика модель місцевості (наприклад, така, що відповідає за розмірами й детальністю середньому листу карти масштабу 1:200 000) може бути занадто громіздкою для того, щоб розрахувати її на персональному комп'ютері. Крім того, усі ці програми обмежені в своїх можливостях і функціях, що надаються.

Програми для створення тривимірної графіки і відео (такі, як 3D-Studio MAX) не такі обмежені у функціях. Можна з упевненістю стверджувати, що в цих пакетах можна створити будь-яку, скільки завгодно близьку до дійсності модель місцевості, незважаючи на те, що програми цього типу не призначені для виконання картографічних функцій (не підтримуються прив'язка растрів, проєкції, пошарове подання даних, бази даних). До основних недоліків цих пакетів належить неможливість обльоту місцевості в реальному часі, оскільки розрахунок кожного кадру може тривати від декількох секунд до декількох годин. Також утрудненим є створення обширних детальних моделей місцевості (модель, що відповідає за розмірами й детальністю середньому листу карти масштабу 1:200 000, є дуже великою моделлю). Якість отриманої графіки – дуже висока.

До картографічних програм, що дають змогу створювати віртуальні моделі місцевості, можна віднести Virtual GIS (з комплекту Erdas Imagine), Multigen, ArcView 3D Analyst (таблиця 7.1).

Ці пакети, що дають змогу текстурувати поверхні, наносити додаткові об'єкти, проводити розрахунок сцени в реальному часі, підтримують картографічні системи координат і проєкції.

Усі ці програми (ArcGIS 3D-Analyst, Multigen, Virtual GIS) дають змогу створювати найбільш великі ВММ з високою роздільною здатністю, розрахувавши їх у реальному часі і з хорошою якістю.

TIN – нерегулярна трикутна сітка. Модель просторових даних, що використовується при конструюванні цифрової моделі рельєфу, подає рельєф набором висотних відміток у вузлах сітки нерівносторонніх трикутників, які відповідають тріангуляції Ділоне, і замінює його багатогранною поверхнею.

Тріангуляція Ділоне – трикутна полігональна сітка, що утворюється на безлічі точкових об'єктів після їх з'єднання неперетинними відрізками таким чином, що коло, описане навколо будь-якого трикутника сітки, не містить інших точкових об'єктів, окрім вершин описаного трикутника.

TIN-метод дає змогу будувати нерегулярну триангуляційну сітку на базі початкових точок. Далі для будь-якої точки з координатами *x, y* значення показника *T* може бути обчислене за значеннями показника у

вершинах того трикутника сітки, у який потрапляє ця точка, і за координатами цих вершин *(T1, x1, y1), (T2, x2, y2), (T3, x3, y3)* з використанням формули лінійної інтерполяції

$$T = (S1 \cdot T1 + S2 \cdot T2 + S3 \cdot T3) / S,$$

де S – площа трикутника з вершинами в точках (x1, y1) (x2, y2) (x3, y3);
S1 – площа трикутника з вершинами в точках (x, y) (x2, y2) (x3, y3);
S2 – площа трикутника з вершинами в точках (x, y) (x1, y1) (x3, y3);
S3 – площа трикутника з вершинами в точках (x, y) (x2, y2) (x1, y1).

GRID (Глобальна база даних природно-ресурсної інформації) – регулярна сітка осередків растра заданого розміру.

Таблиця 7.1 – Аналіз програм, які створюють віртуальні моделі місцевості

Характеристики	Arc View 3D-Analyst	MULTIGEN	Erdas Imagine Virtual CIS
Тип використовуваної ЦМР (у порядку переваги)	TIN, GRID	TIN, GRID	GRID
Згладжування граней	Немає	Так	Так
Можливості обтягування рельєфу растровими зображеннями	Так	»	»
Можливість нанесення підписів на модель	»	»	»
Можливість нанесення векторних даних	»	»	»
Статична візуалізація (3D-вигляд)	»	»	»
Запис обльоту за заданою траєкторією у відеофайл	»	»	»
Обліт сцени в реальному часі	Немає	»	»
Об'їзд сцени в реальному часі	»	»	»
Імпорт 3D-об'єктів	»	»	»
Анімація імпортованих об'єктів у реальному часі	»	»	Немає
Звукові ефекти	»	»	»
Розрахунок полів видимості	Так	»	Так
Моделювання освітлення відповідно до заданого часу доби	Немає	Немає	»
Можливість оптимізації моделі для прискорення розрахунку	»	Так	»
Критичний розмір, при якому робота з моделлю стає вкрай повільною (суб'єктивно може варіювати від моделі до моделі)	100000 граней (TIN), 5 млн осередків (GRID)	50000 граней (TIN), 2 млн осередків	Кількість осередків практично не обмежена
Якість візуалізації	Низька	Висока	Висока
Необхідність у використанні інших програм	Arc View 3.x	Немає	Erdas Imagine

7.2 Компоненти віртуальної моделі місцевості

Нині переважна кількість моделей будується в загальноземних прямокутних системах координат (наприклад, Гаусса – Крюгера), що полегшує додавання в модель нових даних. Проте побудова моделі в цьому випадку потребує зв'язування всіх даних, використаних у роботі. Для реалістичного зображення місцевості сучасна віртуальна модель має містити таку інформацію:

- дані про рельєф (цифрову модель рельєфу);
- растрові зображення земної поверхні (сканувальні карти або знімки);
- векторні дані;
- підписи;
- тривимірні об'єкти спеціального призначення (складні моделі, імпортовані з інших програм для створення тривимірної графіки);
- додаткові растрові зображення або анімації.

Цифрова модель рельєфу (ЦМР). Однією з найбільш важливих складових ВММ є ЦМР. Ступінь відповідності віртуальної моделі реальній місцевості в основному залежить від точності передавання рельєфу земної поверхні. Чим точнішою і детальнішою є модель рельєфу, тим більш реалістичною є модель. Проте під час візуалізації тривимірних сцен на обчислення ЦМР може витрачатися від 50 до 98 % обчислювальних потужностей комп'ютера, і тому зайва подробиця при передаванні земної поверхні є недоцільною.

Ступінь подробиці рельєфу залежить від мети і можливостей розробника ВММ. Проте слід зазначити, що місцевість стає упізнаною тільки при використанні даних масштабу 1:200 000 і більше. Моделі, побудовані за даними дрібнішого масштабу, добре передають структуру хребтів у гірських районах, проте впізнаються ці хребти тільки при огляді їх з великих висот – у кілька разів вище самих хребтів (таблиця 7.2).

Під час побудови ЦМР за вітчизняними топографічними картами якого-небудь масштабу роздільна здатність регулярної моделі рельєфу має становити 0,4…0,5 мм у масштабі карти. Більший крок сітки приводить до втрати упізнаваності, менший – до зайвої витрати машинних ресурсів без необхідності.

Растрові зображення. Сьогодні під час створення ВММ широко застосовується драпірування ЦМР растровими картами або космічними знімками. Покриття ЦМР растровими геозображеннями дає змогу вносити до ВММ колосальну кількість нових відомостей про місцевість і робить її дійсно реалістичною.

Драпірування моделі картами застосовується частіше, оскільки карти дешевші, їх простіше обробляти і вносити до моделі. Використання космічних знімків потребує великих витрат на їх закупівлю, оброблення, зшивання й різні види коригування. Проте реалістичність моделі, драпірованої аеро- або космічними знімками, є набагато вищою, ніж

моделі, у якій використовувалися топографічні карти. Зазвичай модель драпірується кількома растровими зображеннями. Для їх використання у ВММ кожне з них необхідно зв'язати з вибраною системою координат, після чого зазвичай зображення об'єднуються в одну або декілька мозаїк дрібніших знімків. Робиться це в основному з двох причин:

1) меншу кількість файлів простіше і швидше обробляти;

2) деякі програми не можуть використовувати в моделях растри (Virtual GIS), що нашаровуються один на одного, або роблять це некоректно. Під час побудови мозаїчних зображень і зараз застосовуються алгоритми автоматичного взаємного вирівнювання гістограм, що дає змогу зробити лінію стику зображень невидимою. Після побудови мозаїки її чарунки можуть бути скоректовані в будь-якому графічному редакторі (наприклад, Adobe Photoshop).

Таблиця 7.2 – Упізнаваність місцевості залежно від масштабу

Масштаб карти	Роздільна здатність регулярної ЦМР, оптимальна для конкретного масштабу, м	Упізнавання та огляд
1:5 000 000 і дрібніше	2000 і більше	Упізнаються планетарні форми рельєфу й великі гірські масиви (Гімалаї, Альпи та ін.). Огляд з великої висоти (50…200 км) з великим обхватом (дальність видимості 800…2000 км)
1:2 500 000 і DCW	700…1000	Упізнаються великі й середні гірські системи (Кавказ, Алтай, Саяни та ін.), можуть бути ідентифіковані окремі великі гори (Кіліманджаро, Ключевська сопка, Ельбрус). Огляд з висоти 30…80 км, дальність видимості 150…400 км
1:1 000 000	500	Є видимими й упізнаються окремі великі долини і багато гір, що окремо стоять. Рельєф низовин і межигір'я залишається виродженим. Висота обльоту 10…30 км, дальність видимості 100…150 км
1:500 000	250	Гірські хребти впізнавані, видно всі великі й середні долини в горах з альпійським рельєфом. Окремі характерні ділянки місцевості зображуються реалістично. Можливий обліт місцевості на висотах, нижчих за вершини хребтів. Рельєф низовин виражений, але неточний. Висота обльоту 1000…10 000 м. Рекомендована дальність видимості 100 км
1:200 000	70…100	Місцевість добре упізнається при обльоті, видно річкові долини. Гірський рельєф, показаний з великою точністю, має ефектний вигляд. Рекомендована висота польоту 100…10 000 м над поверхнею землі в гірських районах і не нижче 1500 м у низовинних районах
1:100 000	40…50	Ступінь подібності рельєфу гірських ділянок суші підвищується порівняно з рельєфом, побудованим за картою масштабу 1:200 000, проте принципово нових деталей не виникає. У рівнинних районах спостерігається якісно новий рівень передавання рельєфу річкових долин і дрібних форм (кургани, горби, яри). Висота обльоту й радіус видимості такі самі, що і в моделі 1:200 000.
1:50 000	20…25	Подальше підвищення правдоподібності моделі

Для того щоб карти, натягнуті на модель, мали чіткий і красивий вигляд, сканування паперових карт повинне вестися з роздільною здатністю, не меншою за 300 точок на дюйм.

Між роздільними здатностями цифрової моделі рельєфу і растрів оптимальним є співвідношення 1:4 – 1:8, тобто при роздільній здатності ЦМР 100 м растр повинен мати роздільну здатність 12…25 м на місцевості.

Векторні дані. Зазначимо відразу, що використання векторних даних у віртуальних моделях потребує значних витрат машинних ресурсів. У більшості випадків працює певна закономірність – за однаковий час будуть розраховані такі ВММ:

1) ЦМР моделі з місткістю пам'яті 100 Мб без растрів і додаткових даних;

2) ЦМР моделі з місткістю пам'яті 50 Мб і 200-мегабайтним растровим зображенням;

3) ЦМР моделі з місткістю пам'яті 20 Мб і 80-мегабайтним растровим зображенням і 3–4 Мб векторних даних;

4) ЦМР моделі з місткістю пам'яті 20 Мб і 3–4 Мб векторних даних і 3–4 Мб додаткових складних об'єктів (тривимірні будинки, складні будови й конструкції тощо).

Унесення векторних даних до моделі може відбуватися у двох основних формах:

- дані можуть бути «натягнуті» на поверхню рельєфу (як і растрові зображення);
- дані можуть бути «витягнуті» над поверхнею рельєфу пропорційно деякій характеристиці в таблиці атрибутів (наприклад, маємо план міста, де контури будівель задано у вигляді полігонів, а атрибутом кожного полігона є висота, у цьому випадку при нанесенні на ЦМР на місці будинків побачимо паралелепіпеди й призми, що мають висоту, близьку до реальної, а це дає змогу швидко «побудувати» місто або декілька населених пунктів на території, не наносячи кожний із будинків).

Після внесення векторних даних отримані об'єкти можуть бути відображені в моделі з використанням різних образотворчих засобів, наприклад кольору, заливок і штрихувань, що дає змогу одночасно показувати в моделі велику кількість даних про ці об'єкти. Найчастіше внесення векторних даних у ВММ використовується для показу населених пунктів, далі за частотою застосування – озер (їх подають як площадкові об'єкти), річок, трубопроводів, залізничних колій та автомобільних доріг.

Підписи. Для ВММ потребуються підписи так само, як і для карт. Проте внесення підписів у ВММ має свою специфіку:

- нефіксоване положення точки, з якої ведеться спостереження (політ по ВММ можливий у будь-якому напрямку);
- мала місткість ВММ щодо підписів – модель швидко

перевантажується топонімами, перестає читатися й адекватно сприйматися користувачем;

- перспективність зображення, коли далеко розташовані підписи можуть просто не читатися, тоді як близько розташовані можуть займати все поле огляду.

Класична карта призначається для розгляду тільки з однієї позиції, тоді як модель може бути візуалізована з будь-якого напрямку. Для усунення цього недоліку застосовується не горизонтальне, а вертикальне розташування підписів на моделі (підписи розташовуються подібно до дорожніх знаків), при цьому вони автоматично повертаються перпендикулярно до напрямку огляду під час руху по моделі.

Інші недоліки моделі – неусувні, їх слід просто знати і враховувати при її створенні. Як методи їх зменшення можна рекомендувати такі прийоми:

- використання компактніших і жирніших шрифтів (наприклад, MS Sans Serif Bold);
- написання підписів у декілька коротких рядків, а не в один довгий;
- використання яскравих кольорів (червоного, фіолетового, тепло-жовтого) для підвищення розрізнюваності підписів;
- збільшення роздільної здатності вікна візуалізації (при розмірі кадру 1600x1200 підписів може бути вчетверо більше, ніж при розмірі 800x600).

Крім того, для підвищення розрізнюваності підписів можна рекомендувати відображати їх різними кольорами залежно від класу йменованого об'єкта (гори підписувати червоно-коричневим кольором, міста – червоним, об'єкти гідрографії – синім і т. д.).

При побудові моделі в Erdas Imagine підписи готуються окремо. Для цього в базовому модулі Erdas Imagine створюється так званий файл анотацій (Annotation file), який складається з точок – центроїдів підписів до карти, атрибутами яких є сам підпис, його координати, тип, колір і розмір шрифту та інші допоміжні елементи. Подібний файл може бути внесений до моделі як у класичній орієнтації (плоскі підписи), так і у вертикальному вигляді.

7.3 Візуалізація віртуальної моделі місцевості

Існують такі способи візуалізації тривимірних моделей місцевості:

- тривимірна статична сцена (3D-вигляд);
- обліт у реальному часі;
- об'їзд у реальному часі;
- запис польоту по траєкторії з можливістю змінення напрямку польоту в будь-який момент;
- запис польоту у відеофайл без можливості змінення напрямку польоту.

Тривимірна статична сцена (3D-вигляд). Подібна візуалізація є найпоширенішою. ArcView 3D Analyst, AUTOCAD, 3D-Studio MAX, MULTIGEN та інші програми, що згадувалися вище, дають змогу візуалізувати моделі місцевості (рельєф з нанесеними на нього об'єктами). Цей вид візуалізації не потребує великої обчислювальної потужності комп'ютера й може відбуватися протягом декількох хвилин (3D-Studio MAX).

Обліт у реальному часі. Обліт місцевості здійснюється в Erdas Imagine Virtual GIS за аналогією з польотом на вертольоті, тобто можливими є зупинення, зависання й розворот на одному місці, проте напрямок польоту при цьому йде тільки вперед за напрямком огляду, таким чином, дивитися вперед і летіти вбік не можна. У MULTIGEN існує цілий набір моделей руху – аналогів ракети, літака, вертольота й літальної тарілки (рисунок 7.1).

Риунок 7.1 – Віртуальний обліт гори Худий, штат Орегон, США

Цей вид візуалізації є найбільш вимогливим до ресурсів комп'ютера, оскільки для його реалізації потребується розрахунок 15–25 кадрів за секунду. Написання програм для оброблення тривимірних сцен у реальному часі є значно складнішим, і тому реалізується тільки у двох із наведених програм – у Erdas Imagine Virtual US і MULTIGEN. Крім того, оскільки потужності сучасних комп'ютерів поки що є недостатніми для повноцінної візуалізації необмежених наборів даних, доводиться вдаватися до різного роду хитрощів, що дають змогу не розраховувати дані, що неістотно впливають на вигляд сцени. При недостатній потужності комп'ютера обліт стає «рваним», кількість кадрів, що відображаються на

екрані за 1 с, починає змінюватися – від 15–25 кадрів до одного кадру за секунду і менше.

Основні методи для збільшення швидкості оброблення моделей та їх візуалізації:

1) обмеження радіуса видимості;
2) зниження ступеня деталізації моделі;
3) зменшення розміру кадру;
4) сегментація;
5) застосування TIN-моделей.

Розглянемо їх детальніше.

Обмеження радіуса видимості дає змогу не аналізувати всі дані моделі, а обмежуватися частиною, збільшуючи швидкість розрахунку в декілька разів (на великих моделях).

Зниження ступеня деталізації моделі. У багатьох випадках ступінь деталізації моделі може бути занадто докладним. Така ситуація може виникнути при обльоті місцевості на великій висоті (коли окремі елементи рельєфу стають менше одного піксела кадру) або при роздільній здатності моделі, більшій за її дійсну наповненість даними. Така ситуація може виникнути, якщо за векторними даними про рельєф карти масштабу 1:200 000 побудовано регулярну модель рельєфу з розміром осередку 30 м (див. вище). У цьому випадку рівень деталізації може знизитися в 3,3 разу (до 100 м), що збільшує швидкість роботи в 10 разів.

Зменшення розміру кадру. Зменшення розміру кадра приводить до пропорційного зменшення часу, необхідного для обчислення. Так, збільшення розміру кадру з 800x600 до 1024x768 пікселів спричиняє уповільнення роботи в 1,63 разу. Для досягнення необхідного ефекту «великого екрана» можна також застосувати такий спосіб: знизити роздільну здатність самого монітора (тоді картинка залишиться великою, але злегка зменшиться детальність) або розраховувати «широкоформатні кадри» – кадри, у яких відношення ширини кадру до його висоти становить не 4:3, а 16:9.

Сегментація. Нині сегментація дає найбільший приріст швидкості. Суть методу полягає в розбитті ЦМР і накладених на неї растрів на фактично незалежні сегменти невеликого розміру (512x512, 1024x1024, 2048x2048 пікселів). Для кожного сегмента записуються початкові дані з початковою роздільною здатністю, а також копії цих даних з роздільною здатністю, що зменшується в 2, 4, 8, 16 і більше разів. При візуалізації сцени сегменти, що знаходяться близько від спостерігача, візуалізуються з повною роздільною здатністю, а сегменти, що знаходяться далі, – з детальністю, що все знижується. Проте через вплив перспективи зменшення роздільної здатності моделі зі збільшенням віддаленості від спостерігача залишається непомітним. Таким чином, початковий обсяг даних фактично зачіпається лише частково. Такий спосіб потребує

спеціальної підготовки даних, і сьогодні реалізується Erdas Imagine Virtual GIS, MULTIGEN.

Застосування TIN-моделей зазвичай дає неоднозначний результат, що залежить від типу місцевості, ступеня її регулярності й «розірваної» форми рельєфу. Суть методу полягає в тому, що початкова регулярна модель даних розбивається на безліч дрібних трикутників, після чого грані, кут між якими стає меншим від деякої величини, зливаються в одну площину. Такий метод дає змогу відображати тільки дійсно важливі форми рельєфу, економлячи пам'ять на великих однорідних поверхнях (схилах, плоских ділянках). Проте в багатьох випадках подібний підхід не дає істотної економії (украй нерегулярна місцевість) і спричиняє виродженість рельєфу. Алгоритми візуалізації нерегулярних моделей працюють у декілька разів повільніше за аналогічні алгоритми для візуалізації ЦМР регулярного типу. Крім того, слід зазначити, що ЦМР регулярного типу зазвичай має природний вигляд, тоді як TIN-модель залишає відчуття штучності. Усе це призводить до того, що TIN-моделі рідко застосовуються при візуалізації.

Сукупне використання перших чотирьох методів приводить до хороших результатів і дає змогу вже моделювати обліт місцевості на вертольоті з високою просторовою роздільною здатністю рельєфу і накладених на нього растрових карт або космічних знімків.

Об'їзд у реальному часі. Ця функція пропонується користувачам Erdas Imagine Virtual GIS і MULTIGEN. Режим об'їзду в реальному часі відрізняється від обльоту в реальному часі тільки висотою розташування спостерігача (при польоті вона може змінюватися, а при об'їзді залишається постійною і дуже малою – кілька метрів над землею). Цей режим дає змогу імітувати знаходження спостерігача на землі без ризику «врізатися» в неї при неакуратному маневрі. Методи прискорення розрахунку такі самі, що й згадувалися вище.

Запис польоту по траєкторії з можливістю змінення напрямку польоту в будь-який момент. Застосовується при демонстраційних показах для багаторазового повторення складної траси польоту. Для цього записується лінія траєкторії польоту (ламана), причому для кожного вузла ламаною задаються висота над рівнем моря, над землею, швидкість, кути розвороту, крену й тангажу (для огляду місцевості не перед собою, а під собою або навіть позаду себе), кут огляду, планові координати на місцевості. Оскільки під час інтерактивного польоту змінити кут огляду і мати постійний крен або тангаж не можна, використання цього режиму дає змогу дещо розширити можливості обльоту. Так, у режимі обльоту по траєкторії можна виконати «наїзд» камери на щось цікаве для користувача, задати постійний крен, тангаж, виконати «бочку», «дзвін», «кобру» за аналогією з відомими термінами з вищого пілотажу (у Virtual GIS ці фігури є нездійсненними в жодному іншому режимі). Методи прискорення такі самі, що й при інтерактивному обльоті в реальному часі.

Запис польоту у відеофайл без можливості змінення напрямку польоту. Такий спосіб візуалізації використовується, якщо:

- здійснюється огляд віртуальної моделі на машині, не оснащеній спеціальним програмним забезпеченням;
- модель є надмірно великою і всі способи прискорення роботи не дали бажаного ефекту.

Запис польоту проводиться в AVI-файл (відео для Windows) або в послідовність окремих кадрів (TIF, BMP). Для зменшення необхідного дискового простору можна застосовувати програми-кодувальники відео, що дають змогу стискати потік даних кодеками AVI або перетворювати його у формати даних типу MPEG 1, 2, 4.

Позитивними властивостями такого способу візуалізації є невимогливість до машинних ресурсів і практично необмежений час оброблення, негативними – неможливість змінити один раз записану траєкторію обльоту й побачити що-небудь ще.

Використання спеціальних об'єктів. Відомо, що при створенні віртуальної моделі місцевості виникає необхідність у відображенні спеціальних об'єктів, таких як конструкції й будови складної форми, дерева та інші дискретно розташовані предмети. Поза сумнівом, це сприяє підвищенню реалістичності.

Зазвичай до програм для роботи з віртуальними моделями місцевості додається набір типових моделей будинків, техніка та ін. Якщо необхідно, модель можна намалювати в іншій програмі (наприклад, в AUTOCAD, 3D-Studio MAX, Microstation), після чого її можна буде імпортувати в модель місцевості. Слід зазначити, що розрахунок спеціальних об'єктів також є дуже вимогливим до ресурсів комп'ютера й уповільнює розрахунок сцени.

Малювання дерев як тривимірних об'єктів (кожна гілка малюється у вигляді граней і вершин) є неефективним, оскільки навіть невеликий ліс з 30–40 такими деревами здатний привести машину в нероботоздатний стан. Малювання дерев краще здійснювати як установлення на місцевості двох взаємно перпендикулярних растрових зображень з деревом. Подібна модель здалеку має вигляд справжнього дерева й розраховується в кілька разів швидше.

7.4 Використання спеціальних ефектів у ВММ

До спеціальних належать такі ефекти:

1 Lens Flare (відблиски лінзи). У природі цей ефект можна спостерігати при потраплянні сонця в об'єктив камери, коли відбувається багаторазове відбиття світла в призмах і лінзах. Може бути застосований в Erdas Imagine Virtual GIS і MULTIGEN, 3D-Studio MAX.

2 Fog (туман) – ефект сильного туману або повітряного серпанку. Може бути використаний як для підвищення реалістичності сцени, так і для приховання ефекту «обриву» горизонту при малому радіусі видимості. Застосовується в Erdas Imagine Virtual GIS, MULTIGEN, 3D-Studio MAX.

3 Background (фон). Як фон можна використовувати рівномірний колір, градієнтну колірну заливку або зображення, що задається користувачем.

4 Heads-Up-Display (покажчики тангажу і курсу) використовується для імітації навігаційних приладів літака. Може бути застосований в Erdas Imagine Virtual GIS, MULTIGEN.

5 Sun Positioning (положення сонця) окрім інтерактивного знання положення й сили джерела освітлення дає змогу точно задати освітлення для точки із заданою широтою й довготою на певний рік, місяць, день, годину й хвилину (наприклад, на 12 год 48 хв 20 лютого 2004 р., м. Київ). Може бути застосований в Erdas Imagine Virtual GIS.

6 Headlight (потрібний ліхтар) установлює джерело світла в точці, у якій знаходиться користувач.

7 Water layer (затоплення сцени) дає змогу затоплювати водою всі ділянки сцени, що знаходяться нижче заданої висоти. Можливим є плавання під водою. Поверхня води може бути або прозорою, або драпірованою текстурою. Регулюється прозорість води. Крім того, під водою можуть бути розставлені й додаткові об'єкти, натягнуті векторні шари (Erdas Imagine Virtual GIS, MULTIGEN).

8 Blend (прозорість текстури) дає змогу регулювати прозорість накладених растрових шарів в інтерактивному режимі. З використанням цього ефекту можна інтерактивно провести «перетікання» текстури моделі, наприклад, від топографічної карти до композитного зображення «карта – знімок» і далі до знімка. Реалізується в Erdas Imagine Virtual GIS.

Використання векторних об'єктів (Erdas Imagine Virtual GIS). Для використання векторних даних у віртуальній моделі місцевості передбачено кілька функцій. Як зазначалося вище, векторні дані можуть «притягатися» до поверхні землі, а можуть стояти на ній, причому їх висота буде пропорційною величині характеристики, записаної в одному з полів таблиці атрибутів кожного з векторних шарів.

До векторних даних після їх додавання в модель можуть бути застосовані стандартні запити з використанням математичних, логічних та інших функції. Колір виділених об'єктів змінюється і при обльоті місцевості вони виділяються серед інших об'єктів. Також можливим є інтерактивне

виділення об'єкта прямо на місцевості (за допомогою курсора). Якщо при цьому відкрита таблиця атрибутів, то для виділеного у вікні візуалізації об'єкта з'явиться запис з його атрибутами.

Орієнтування на моделі. Оскільки віртуальна модель місцевості й карта мають різний вигляд, користувач, який звик орієнтуватися по карті, може ледве орієнтуватися в тривимірному віртуальному просторі. Для полегшення цього завдання практично у всіх програмах положення спостерігача на моделі показується координатами *X, Y, Z,* а також указується азимут і вертикальний кут огляду. Проте подібна інформація є малопридатною, оскільки користувач не сприймає цифрові значення координат і, отже, не може оцінити їх змінення.

Для орієнтації на місцевості в Erdas Imagine існує можливість провести «скріплення» вікон візуалізації ВММ і звичайного вікна зі звичними картами тієї ж місцевості. Після «скріплення» положення спостерігача й напрямок його погляду відображаються у вікні на фоні двовимірної карти, що дає змогу легко орієнтуватися в просторі. Тут також існує можливість відобразити й область моделі, видиму у вікні візуалізації на двовимірній карті, завдяки чому відразу можна визначити, які моделі видно на карті, а які ні.

7.5 Сфери використання тривимірних моделей місцевості

Останніми роками комп'ютерна техніка розвивається надзвичайно стрімкими темпами, потужність персональних комп'ютерів зростає дуже швидко і кількісні змінення у швидкості оброблення даних починають переходити в якісні. Уже зараз персональний комп'ютер з відповідною конфігурацією здатний справитися з обробленням моделі території розміром з пів Європи при детальності рельєфу, що відповідає точності топографічної карти масштабу 1:100 000, драпірованої космічними знімками з роздільною здатністю 10…15 м.

Подальше підвищення продуктивності комп'ютерів дасть можливість переходити до все більш обширних і детальних моделей місцевості, наповнених величезною кількістю тривимірних об'єктів, додаткових зображень і забезпечених колосальними базами даних. Ступінь реалістичності моделей зростатиме.

Проте подальше збільшення охоплення, детальності й реалізму моделей, мабуть, може бути стримано їх вартістю, оскільки велика кількість даних високої роздільної здатності (знімки, карти, ЦМР, бази даних, об'єкти) і значні трудовитрати на їх оброблення спричинять лавиноподібне зростання вартості цих моделей.

Поза сумнівом, використання ВММ у навчальному процесі є виправданим і доречним, проте подальше зростання деталізації і

реалістичності тут не є необхідним. У більшості випадків ВММ відіграє роль наочної допомоги.

Застосування ВММ для демонстрації і презентації є надзвичайно ефектним, і тут ступінь реалізму моделі залежить від ступеня зацікавленості виробника моделі в ефекті, який вона має справити на потенційних клієнтів. Проте за своєю суттю вона також недалека від інших демонстраційних матеріалів, що використовуються на подібних заходах.

Загальні риси розвитку сучасної тривимірної картографії

Протягом минулих років відбулися зміни, які встановили інші принципи створення, поширення й використання геопросторової інформації. Стан картографії сьогодні можна охарактеризувати таким чином.

1 Масове проникнення інформаційних технологій в усі сектори збору, оброблення й використання геопросторових даних. Комп'ютерні знання стали такими ж важливими, як і базова спеціальність. На виробництві вони використовуються одночасно.

2 Інтеграція картографічних і некартографічних засобів. Нова парадигма розвитку картографії – її інтеграція з геоінформатикою і дистанційним зондуванням. Причина цього полягає не стільки у близькості методів, науково-технічних засобів і концепцій, скільки у їх відмінності: різні методи доповнюють один одного. Також картографія використовує досягнення інших наук – телекомунікації та інформатики.

3 Автоматизація й оптимізація виробничих процесів. Можна виокремити два види автоматизації на виробництві – операційну й потокову. Операційна автоматизація означає об'єднання кількох дій в одній. Наприклад, завантаження даних в ГІС містить автоматичне визначення проєкції за метаданими й перерахунок координат у систему карти. Потокова автоматизація – це виконання певного переліку операцій з дискретними, але однотипними даними: комп'ютерна система за заздалегідь визначеним алгоритмом послідовно обробляє всі файли, наприклад покращує контрастність цифрових фотознімків. Оптимізація виробничих процесів означає виключення тих операцій, які стали зайвими у зв'язку з переходом на нову технологію робіт.

Проте повної автоматизації картографічних робіт ще не досягнуто. Сьогодні існує чимало досліджень в області машинного виділення картографічних образів. Однак їх результати ще не набули такого рівня надійності й точності, щоб повністю замінити дорогий і трудомісткий процес дешифрування аерознімків і ручної векторизації сканованих карт.

4 Розширення асортименту продукції. Проте найбільший попит має невеликий її перелік. До певної міри наслідком упровадження новітніх технологій є інші сторони картографічного виробництва.

5 Висока вартість картографічних робіт. Збільшення ціни на основні фонди, їх номенклатури і часу на освоєння, а також витрат на утримання фахівців та ускладнення технології виготовлення продукції – усе це призводить до зростання вартості картографічних робіт. Своєю чергою, це зумовлює зменшення обсягу замовлень і простій виробничих фондів, що стає новим фактором менш гнучкої цінової політики підприємств. Також до цього додається наявність категорії таємних даних і даних для службового користування, що не дає можливості всім організаціям брати участь у тендерах на виконання картографічних робіт, особливо в області великомасштабного картографування.

6 Наслідком цього є така риса вітчизняної картографії – збільшення кількості робіт, що виконуються нефахівцями. Дійсно, доступність цифрових засобів та їх порівняно низька вартість, наявність безкоштовних даних зумовлюють можливість виконання картографічних робіт людьми без професійної підготовки. Можна зазначити, що ця риса є характерною для більшості галузей господарства, де основним ресурсом є інформація.

7 Зниження якості виконання робіт і продуктивності праці. Перше відбувається через ускладнення технологій виготовлення продукції, зменшення часу на їх освоєння й низьку підготовку виробничих кадрів. Унаслідок цього виконавці витрачають багато зусиль на уточнення технології робіт, що є основою зменшення продуктивності праці. Нефахівці не мають належних знань з теорії картографії та ігнорують багато академічних дисциплін, у тому числі географію й математику. Додатковим фактором зниження якості робіт є низька якість їх організації.

8 Використання великої кількості неліцензійного програмного забезпечення через відсутність контролю за його використанням, підвищення доступності й наочності даних для цих програм, а також збільшення кількості організацій, для яких виконання картографічних робіт не є основним профілем діяльності.

9 Паралельне використання на виробництві застарілих і новітніх технологій. Це зумовлено наявністю людей двох поколінь і старих фондів у задовільному стані та високою вартістю новітніх технологій і програмного забезпечення. Для тривимірних моделей це виявляється, наприклад, як використання растрових моделей ЦМР замість регулярних і тріангуляційних сіток, зображення будівель у вигляді паралелепіпедів,

відсутність важливих елементів змісту. Наприклад, для районування територій застосовували цифрову модель рельєфу. Але такі тривимірні моделі відображають лише окремі компоненти території, тому з їх допомогою не можна прийняти точне рішення, тобто це неправильно з огляду на географію. Часто тривимірні моделі територій містять тільки текстурований космічним знімком рельєф. Звичайно, він має важливе значення, але й інші компоненти ландшафту мають бути наявними. Тільки повнозмістову модель можна застосовувати для фізико-географічного й сільськогосподарського районування.

Можна зробити висновок, що будь-яка риса сучасного картографічного виробництва тісно пов'язана з іншими. Їх усі потрібно враховувати під час розроблення технології створення тривимірних моделей. Ця технологія має бути відносно простою й орієнтованою на виготовлення типових тривимірних моделей місцевості (що забезпечить максимальний попит), а також має передбачатися якнайбільша автоматизація, розподіл праці та використання фахівців різного профілю й рівня підготовки.

Нині областями практичного застосування віртуального моделювання є:

- створення культурно-історичних моделей, що реалістично відновлюють історичні епохи, події, ландшафти (для музеїв, шкіл, ВНЗ);
- навчання пілотів різних літальних апаратів керування й орієнтації на незнайомій місцевості; особливо це важливо для пілотів «малої авіації», що літають у гірській місцевості;
- стратегічне планування великих господарських проєктів і військових операцій (люди, що приймають у подібній ситуації рішення, часто не мають навичок роботи з класичними картографічними матеріалами);
- рекламно-пропагандистська діяльність.

На жаль, сьогодні ці області застосування ВММ залишаються практично єдиними.

Віртуальні зображення й технології тривимірного моделювання використовуються в різних областях науки, виробництва й навчання (рисунок 7.2).

Тривимірні реалістичні моделі використовуються в кіно, на телебаченні, у рекламі, художньому дизайні й презентаціях, комп'ютерних іграх, тобто там, де якість зображення відіграє ключову роль. Проте відомі вони не як продукти картографії, а як результат графічного дизайну, комп'ютерної анімації, розвитку кіномистецтва. Унаслідок загальних світових тенденцій і розвитку цифрових технологій відбувається стирання меж і проникнення одних сфер в інші. Це стосується навіть неперетинних сфер.

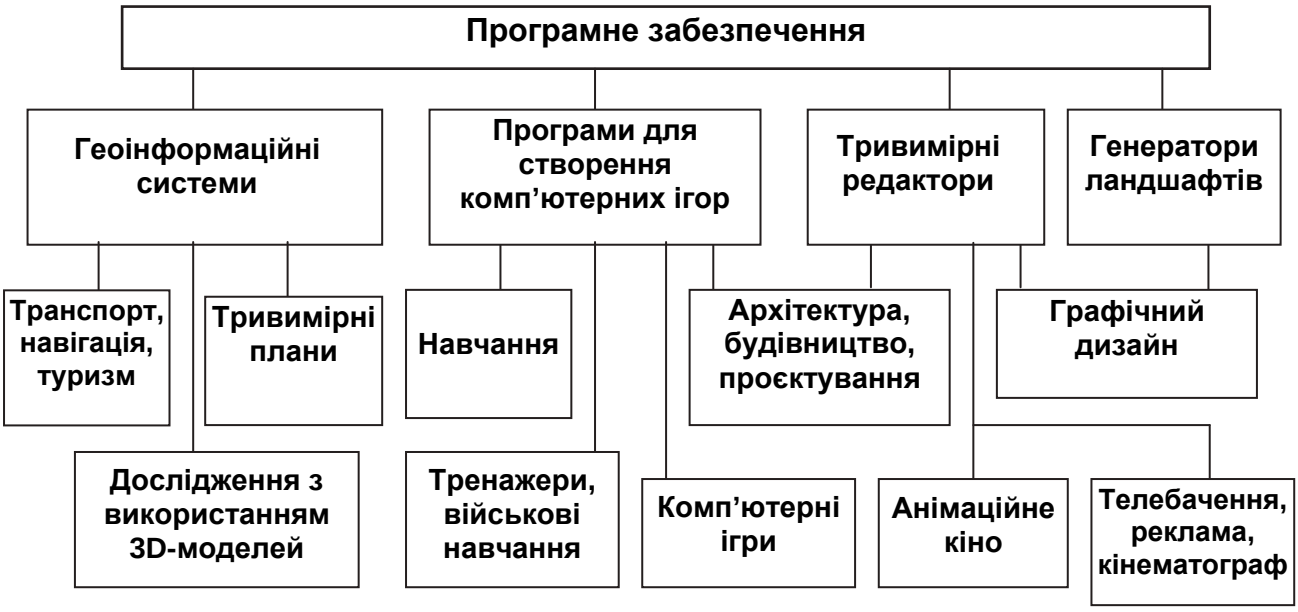

Рисунок 7.2 – Сфери використання тривимірних моделей

Тривимірне подання даних і складність у написанні алгоритмів візуалізації не дають можливості проводити достатньо серйозний ГІС-аналіз на тривимірному зображенні.

Саме картографія має переваги у створенні тривимірних реалістичних моделей. Картографічні підприємства зосередили у своїх фондах усі картографічні матеріали й мають фахівців, здатних використовувати їх. Використання тривимірних реалістичних моделей має стати новим етапом у розвитку картографії. Відбувається тісна взаємодія картографії з геоінформатикою й телекомунікаційними мережами.

8 МЕТОДИ СТВОРЕННЯ 3D-МОДЕЛЕЙ МІСТ

Технології тривимірного моделювання міст, незважаючи на відносно коротку історію, набули бурхливого розвитку. Стрімкий розвиток цього напряму пов'язаний насамперед з появою й початком широкого використання цифрових аерофотокамер і лазерних сканерів повітря.

За ступенем автоматизації основних процесів усі методи створення 3D-моделей міст можна поділити на такі:

- ручне створення моделей міст з використанням 3D-моделювання;
- повністю автоматична генерація 3D-моделей міст;
- напівавтоматичне створення 3D-моделей міст.

8.1 Ручне створення моделей міст з використанням 3D-моделювання

Це найбільш трудомісткий спосіб. Моделі будівель створюються в таких програмах, як AUTOCAD, ARCHICAD, ArcGIS+3DAnalyst, 3ds Max, Google SketchUp. Моделювання геометрії й текстурування моделей проводиться вручну. Для спрощення процесу в міській забудові виділяються набори типових будов. Моделі створюються для кожного типу будов і потім множаться потрібну кількість разів при розміщенні на карті. Для прискорення процесу тривимірні об'єкти часто отримують методом видавлювання будівель за їх відбитками на плані міста. Висоту, на яку видавлюється кожна будівля, отримують з атрибуту, що містить кількість поверхів. Приклад будівель з бібліотечними текстурами показано на рисунку 8.1.

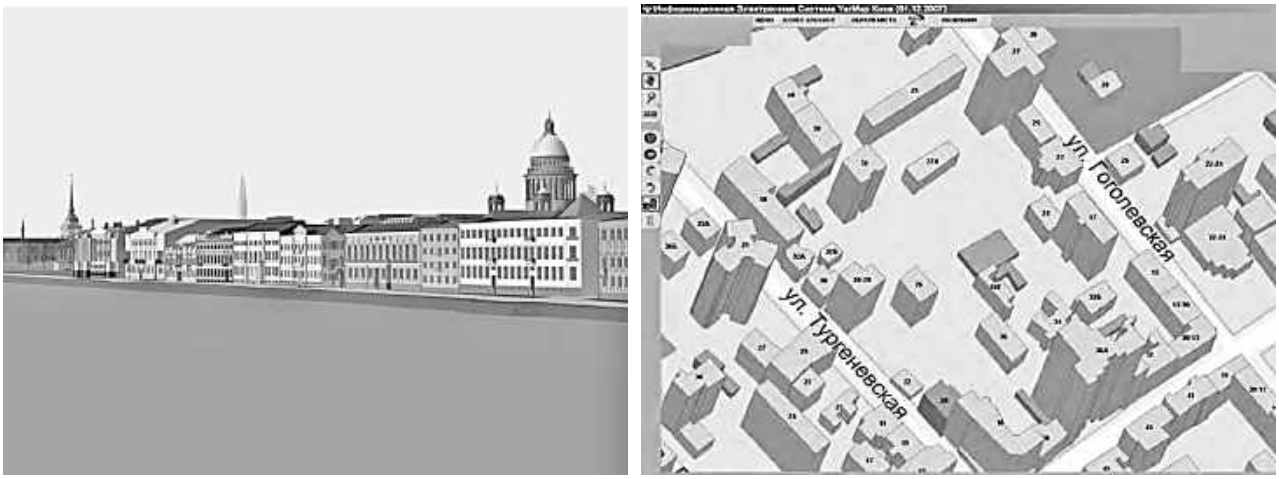

Рисунок 8.1 – Приклад будівель з бібліотечними текстурами

Для текстурування зазвичай застосовуються наземні фотознімки й зображення з бібліотек текстур. Цей метод створення 3D-моделей міст є найдавнішим і добре вивченим.

Основні переваги:

1 Можливість створення моделей з дуже високою геометричною деталізацією.

2 Для кожного типу будов створюється тільки одна модель. Ця модель одноразово завантажується під час візуалізації й використовується для всіх будівель заданого типу. Це сприяє значній економії пам'яті й зменшенню розміру тривимірної моделі міста на диску.

3 Текстури не містять зображень сторонніх об'єктів, спроєктованих на стіни будівель. Оскільки текстурування проводиться вручну, усі зображення перед текстуруванням обробляються оператором. Оброблення полягає в усуненні зайвих об'єктів на фотографіях, таких як дерева або автомобілі, вирівнюванні зображень за яскравістю й тоном і, часто, у видаленні тіней.

4 Тривимірні будівлі є окремими об'єктами, з якими може бути асоційована будь-яка атрибутивна інформація.

Основні недоліки:

1 Дуже висока трудомісткість. Незважаючи на те, що сучасні 3D-редактори дають змогу прискорити деякі етапи моделювання, все одно всі вони виконуються вручну.

2 Потенційно низька метрична точність. Джерелом розмірів для моделі будівлі зазвичай є фотографії фасадів, план за поверхами або відображення будівлі на плані міста. Фотограмметричні вимірювання за наземними фотографіями не проводяться, оскільки це дуже витратно і не передбачено в 3D-редакторах. Плоский план не несе всієї необхідної інформації про форму будівлі. Розміри, яких бракує, розраховуються приблизно, часто «на око». Це звичайно не стосується випадку, коли початковими даними для проєктування є архітектурна модель будівлі, використана при її спорудженні, або дані наземного лазерного сканування. Проте такий випадок – велика рідкість.

3 Типізація будов окрім переваг має й недоліки. Неможливість створити набір типів, що описує всі варіанти будівель міста, приводить до узагальнення і спрощення моделі міста. Унікальні будівлі замінюються

типовою моделлю. Особливо це стосується приватної забудови, де все різноманіття архітектурних форм часто замінюється одним простим прототипом, наприклад сірою коробкою з дахом.

4 Недостатня фотореалістичність. Як текстура в цьому методі зазвичай використовуються наземні фотографії. Це якісні фотографії високої роздільної здатності. Проте сфотографувати кожну будівлю міста, та ще й з усіх боків, неможливо. Фотографії, яких бракує, замінюються типовими текстурами з бібліотек. Синтезовані таким чином текстури мають штучний вигляд через поєднання фотографії і бібліотечної мальованої текстури. Крім того, усі текстури вирівнюються за яскравістю й тоном, з фотографій прагнуть прибрати тіні. Відсутність тіней на стінах будівель і поверхні землі також створює відчуття штучності. Через складність процесу отримання фотографій і текстурування відмовляються від фотореалістичних текстур для багатьох типів будівель. Такі будівлі розфарбовуються одним або декількома кольорами або повністю покриваються зображеннями з бібліотек текстур.

Описаний метод застосовується для наповнення шару 3D-будівель у Google Earth. Тривимірні моделі будівель тут створюються переважно силами користувачів у розробленій для цієї мети програмі Google SketchUp. Опубліковані на спеціальному сайті 3D Warehouse моделі проходять модерацію і потім з'являються в Google Earth.

Описаний метод застосовується і при створенні моделей міст із застосуванням ARCGIS і модуля 3D Analyst. В основному ці моделі містять лише декілька кварталів міста через величезну трудомісткість процесу й детально описують лише центральну частину міста. Решта будівель зображується сірими коробками без текстур і точного відтворення форми.

8.2 Повністю автоматична генерація 3D-моделей міст

Це наймолодша й перспективна технологія. Використовуються алгоритми відновлення геометричної форми об'єктів за їх стереозображеннями. Стереозображення отримують з літака, для цього застосовуються цифрові камери типу Pictometry або Geosystem 3-OC-1 .

Ці ж зображення використовуються як джерело текстур фасадів будівель. Для уточнення геометрії будівель та отримання моделі рельєфу може застосовуватися лазерний сканер повітря. Яскравим прикладом цієї технології є моделі, що створюються шведською компанією C3 Technologies (рисунок 8.2). За твердженням представників компанії, тривимірні моделі міст створюються тільки за похилими й вертикальними знімками без використання даних лазерного сканування.

Рисунок 8.2 – Приклад моделі C3 Technologies

Весь процес повністю автоматизовано. Пошук одних і тих же точок на знімках, що перекриваються, формує хмару точок, що описує земну поверхню й об'єкти, підвищені над нею. Потім хмара точок тріангулюється з метою отримання поверхні. В отриманій поверхні виконується пошук площин для кращого зображення стін і дахів будівель. Кінцевим продуктом є тривимірна модель місцевості, подана з різним ступенем деталізації й доступна для вебперегляду.

Також існує технологія автоматичного створення тривимірних моделей фасадів будівель, розроблена в університеті Берклі, США. Дані аерознімання й лазерного сканування повітря доповнюються фотознімками і хмарою точок з наземного лазерного сканера. Лазерний сканер і фотокамера встановлюються на автомобіль, що переміщається по вулицях і виконує знімання будівель. Лазерний сканер допомагає відновити форму фасадів будівель і відсікти перешкоди, що знаходяться перед будівлями: дерева, автомобілі, пішоходи. Також хмара точок лазерного сканера допомагає відновити траєкторію руху автомобіля, що є необхідним для точного визначення положення будівель і геоприв'язки фотографій для подальшого автоматичного текстурування.

Переваги:

1 Висока швидкість створення моделей міст. Завдяки повністю автоматичному процесу тривимірні моделі навіть великих міст створюються за дні, а не за роки, як при використанні повністю ручного моделювання.

2 Висока фотореалістичність. Текстурування виконується автоматично за аерознімками або геоприв'язаними знімками наземної камери. Повна відсутність типових текстур з бібліотек. Усі фасади будівель мають такий вигляд, як це було на момент знімання.

3 Низька вартість створення моделі завдяки виключенню ручної праці операторів.

Недоліки:

1 Недостатня геометрична точність моделі. Алгоритми автоматичного відновлення форми об'єктів за їх фотознімками або даними лазерного сканування, незважаючи на значні успіхи в цій області, усе ще є нездійсненими. Унаслідок цього фігури будівель відновлюються з помилками, інколи досить грубими. Вертикальні стіни можуть виявитися сильно нахиленими, розміри будівель значно спотворюються. Цей факт виключає можливість проведення точних вимірювань (точність яких є порівнянною з точністю початкових даних) за моделями, що автоматично згенерували.

2 Неможливість відокремити об'єкти будов від поверхні рельєфу або один від одного. Автоматичне розпізнавання нині є неспроможним надійно класифікувати об'єкти й визначати їх межі. Унаслідок цього моделі міст, які автоматично згенерувалися, являють собою одну суцільну поверхню, що містить будівлі, дерева і рельєф (технологія C3 Technologies), або складаються з поверхні рельєфу й міських кварталів (технологія університету Берклі). Оскільки будівлі в таких моделях не подані окремими об'єктами, їм неможливо призначити атрибути. Це ускладнює створення адресної бази даних та обмежує застосування моделі. Наприклад, для розрахунку зашумленості потрібна класифікація об'єктів за типом їх матеріалу, що неможливо зробити за відсутності окремих об'єктів. Простий розрахунок кількості будівель у місті також є неможливим.

3 Низька якість текстур. При автоматичному текстуруванні сторонні об'єкти, спроєктовані на фасади будівель, залишаються на текстурах. На стіни потрапляють дерева й автомобілі. Якщо знімання проводилося в літній період, то густі крони дерев можуть закривати велику частину

будівлі. Крім того, точність положення текстур є низькою. На боках будівлі, знятих під гострим кутом, текстури виявляються змазаними.

8.3 Напівавтоматичне створення 3D-моделей міст

Напівавтоматичне створення 3D-моделей міст не має слабких сторін повністю автоматичного процесу генерації моделей міст. Геометричні моделі будівель тут створюються операторами за аерознімками. Цей підхід застосовується в Delta/Digitals і CyberCity-Modeler.

Створення тривимірної моделі будівлі полягає у вимірюванні оператором характерних точок контуру даху. Вимірювання проводяться стереоскопічним методом. Для прискорення процесу застосовуються шаблони, розроблені для основних типів дахів. Складні форми утворюються шляхом комбінації простих геометричних фігур. Висота стін будівель не вимірюється. Стіни утворюються проєктуванням точок основи даху на поверхню рельєфу.

Тривимірну модель Вінниці (Україна) (рисунок 8.3), доступну за адресою http://www.vin3d.net, створено з використанням напівавтоматичних технологій у програмному забезпеченні НВП «Геосистема».

Риунок 8.3 – 3D-модель міста Винниця

Описана методика дає змогу створювати моделі будівель швидко і якісно. На одну будівлю досвідчений оператор (наприклад, у Delta/Digitals) витрачає від 10 с до однієї хвилини залежно від будівлі. Точність

вимірювань є порівнянною з геометричною точністю початкових аерознімків.

Як початкові дані моделі міста використовуються аерознімки з камери 3-DAS-1. Час, витрачений на створення, – один місяць. Одна з небагатьох тривимірних моделей, що повністю покриває всі райони міста.

Створення моделей будівель – єдиний ручний процес при генерації тривимірної моделі міста. Подальше оброблення створених моделей відбувається повністю автоматично. Текстури фасадів і дахів витягуються з тих же знімків, що використовувалися для створення геометрії. На цьому етапі дуже важливо, щоб усі боки будівлі було видно на знімках. Щоб досягти цього, використовують бічні похилі камери або спеціально спроєктовані обльоти.

За відсутності бічних похилих камер обліт повинен має бути з більш ніж 50%-вим міжмаршрутним перекриттям або з додатковими маршрутами, напрямленими перпендикулярно до основних.

Переваги:

1 Висока продуктивність. При створенні будівель використовуються типові шаблони. Завдяки цьому на одну будівлю оператор витрачає в середньому декілька десятків секунд, що значно менше від часу моделювання будівлі в 3D-редакторі.

2 Висока геометрична точність. Положення точок контуру будівлі вимірюється за стереознімками. Помилка визначення координат точок є порівнянною з геометричною точністю знімків. Ступінь деталізації моделей будівель задається технічним завданням, яке регламентує, наскільки дрібні архітектурні елементи мають бути відтворені.

3 Будівлі є окремими об'єктами, яким можуть бути призначені будь-які атрибути: адреса, рік спорудження, тип будівлі, матеріал стін. Модель міста з будівлями у вигляді окремих об'єктів має широке застосування. Її можна використовувати для міського планування, розрахунку зашумленості, побудови карти поширення радіохвиль, прогнозування затоплення.

4 Висока фотореалістичність. Текстурування, як і в технології повністю автоматичного моделювання, проводиться автоматично. Текстури витягуються з аерознімків і мають природний вигляд. Тіні з текстур не прибираються, що створює ілюзію якісного освітлення тривимірної сцени.

Недоліки:

1 Порівняно з повністю автоматичною генерацією моделей у цьому методі використовується ручна праця операторів, що підвищує вартість усієї моделі і збільшує час роботи над нею.

2 Низька якість текстур. Текстури витягуються з аерознімків і мають низьку роздільну здатність порівняно з наземним фотографуванням. При недостатній кількості зайвих зображень може статися, що деякі боки будівель будуть зовсім без текстур.

Протягом останніх років ми стали свідками появи комерційних реалізацій і зміцнення позицій повністю автоматизованих методів генерації тривимірних моделей. Очевидно, що за цими методами – велике майбутнє. Технологію, розроблену в університеті Берклі, викупила компанія Google. Microsoft також має подібною технологією.

Сервіси цих двох найбільших провайдерів географічної інформації поступово наповнюються тривимірними моделями міст. Проте розробки подібних технологій і моделей на їх основі не обов'язково належать великим корпораціям.

9 ЗАСТОСУВАННЯ ДАНИХ АЕРОФОТОЗНІМАННЯ З БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ 3D-МОДЕЛЕЙ МІСЦЕВОСТІ

Останніми роками в багатьох галузях потреба у відомостях про місцевість уже не задовольняється використанням тільки топографічних карт в аналоговій і цифровій формах. Для вирішення багатьох інженерних завдань потребується детальна інформація про просторове положення й висоту об'єктів.

Джерелами для моделювання цифрових моделей є картографічні матеріали, аерофото- і космознімки, а також дані польового знімання. При цьому аерофотознімання з БПЛА має безліч переваг порівняно з отриманням даних за допомогою космічних супутників і пілотованих атмосферних літальних апаратів.

Основні передумови цих переваг – оперативність отримання фотознімків, можливість знімання з невеликих висот, а також у зонах надзвичайних ситуацій без ризику для життя і здоров'я пілотів. Звичайно, під час аерофотознімання з БПЛА слід ураховувати багато параметрів, що впливають на подальше фотограмметричне оброблення (висоту знімання, швидкість польоту, кутові еволюції, використання неметричних побутових камер тощо). Проте запропонована тут методика оброблення даних, отриманих з БПЛА, дає змогу фахівцям різних галузей створювати моделі, що задовольняють їх потребам щодо точності відтворення геопростору. Такі моделі є цифровим тривимірним відображенням території, адже тривимірне моделювання є однією з основних сучасних функцій ГІС.

Узагалі, у геоінформатиці тривимірне моделювання є різновидом геоінформаційного моделювання і, на відміну від класичного подання об'єктів території за допомогою пласких карт, дає змогу відобразити специфіку об'єкта досліджень і більш наочно і змістовно співвіднести його з навколишніми об'єктами та місцевістю. Завдяки тривимірному моделюванню об'єкт можна розглядати в реальному взаємозв'язку з навколишнім середовищем та оперативно приймати безпомилкові рішення.

Таким чином, удосконалення тривимірного просторового моделювання територій із застосуванням даних аерофотознімання з БПЛА є актуальним завданням сучасного розвитку технологій ГІС.

Істотним кроком у розширенні сфери використання 3D-моделей стала можливість створення вимірювальних 3D-моделей, тобто можливість подання просторової інформації в заданій системі координат і вимірювання координат окремих точок цієї моделі. Швидко розвивається новий напрям – 3D-ГІС, що дає принципово нові можливості для роботи з

інформацією про навколишнє середовище. Для формування 3D-ГІС насамперед необхідно створити реалістичні фотограмметричні 3D-моделі місцевості.

Просторову інформацію про об'єкти місцевості можна отримати за геодезичними вимірами, на основі використання топографічних карт і результатів лазерного сканування. Однак найбільш повну й оперативну інформацію для створення 3D-моделей місцевості можна одержати шляхом фотограмметричного оброблення аерофотознімків.

Це сприяє підвищенню інформативності й актуальності геоданих за допомогою методики створення фотограмметричних 3D-моделей місцевості на основі інформації, отриманої за знімками з БПЛА, а також відеоматеріалів обльотів місцевості.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– аналіз сучасних засобів отримання й оброблення аерофотоінформації з огляду на можливість їх застосування для 3D-моделювання ситуації на місцевості;

– визначення основних фотограмметричних параметрів для побудови вимірювальних 3D-моделей місцевості;

– розроблення технологічних схем побудови фотограмметричних 3D-моделей місцевості на основі комплексного використання просторових даних;

– розроблення методики побудови 3D-моделі місцевості на базі даних, отриманих за допомогою БПЛА.

9.1 Аналіз програмного забезпечення для фотограмметричного оброблення даних з БПЛА

Паралельно з підвищенням інтересу до знімання за допомогою БПЛА збільшується і кількість розробників сучасних цифрових фотограмметричних систем (ЦФС) з різними алгоритмами й наборами функцій для роботи з геоданими.

Серед широковідомих та ефективних ЦФС є такі програмні продукти:

- ENVI OneButton;
- Trimble INPHO;
- Agisoft PhotoScan.

Аналіз переваг кожного із зазначених програмних продуктів наведено в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1 – Основні переваги програмного забезпечення, що дає змогу виконувати фотограмметричне оброблення

ENVI OneButton	Trimble INPHO	Agisoft PhotoScan
Підтримка сенсорів будь-яких форматів	Локалізований російськомовний інтерфейс	Висока точність і виняткова деталізація результату
Підтримка мультиспектральних зображень	Строге математичне моделювання	Швидке оброблення великих наборів даних
Унікальний алгоритм блокового вирівнювання для точного геопозиціонування зображень із креном і зображень у надир	Чітко організований робочий процес	Створення звітів, що показують властивості проєкту, результати оброблення, статистику, аналіз покриття зображеннями, карту кореляції зображень і результати калібрування камер
Підтримка даних з будь-яких камер (від аматорських до професійних)		Повністю автоматичне зшивання зображень в єдину мозаїку, вирівнювання за кольором
		Створення високоточних ортофотопланів і цифрових моделей місцевості

9.2 Методика побудови 3D-моделі місцевості за даними фото- та відеознімання з БПЛА

Розглянемо можливості для виконання завдань фотограмметричного оброблення даних з БПЛА з використанням програмного забезпечення Agisoft PhotoScan. PhotoScan може обробляти геодані, зняті будь-якою цифровою фотокамерою.

Аналіз проведених досліджень показав, що для отримання більш якісних результатів при зніманні необхідно дотримуватись таких вимог:

– фотографії повинні мати досить високу роздільну здатність (5 Мпікс і більше);

– ширококутні об'єктиви дають більше інформації, ніж телеоб'єктиви; отримані з їх допомогою фотографії краще підходять для знаходження відповідностей між об'єктами на різних кадрах;

– недопустимі пласкі й нетекстуровані об'єкти і сцени;

– недопустимі прозорі й дзеркальні об'єкти;

– блискучі об'єкти необхідно знімати в хмарну погоду;

– знімання треба виконувати з великим перекриттям;

– найбільш важливі деталі необхідно знімати з трьох і більше ракурсів;

– для побудови відносної системи координат з метою відтворення тривимірної моделі необхідно використовувати наземні маркери, за якими й буде побудовано відносну систему координат і відтворено масштаб;

– PhotoScan використовує тільки вихідні зображення, тому неприпустимо попередньо змінювати розмір або геометрію кадрів, тобто перетворювати або інакше змінювати розмір зображення;

– для отримання якісної моделі місцевості під час фотографування різних об'єктів місцевості необхідно дотримуватись таких сценаріїв, які зображено на рисунку 9.1.

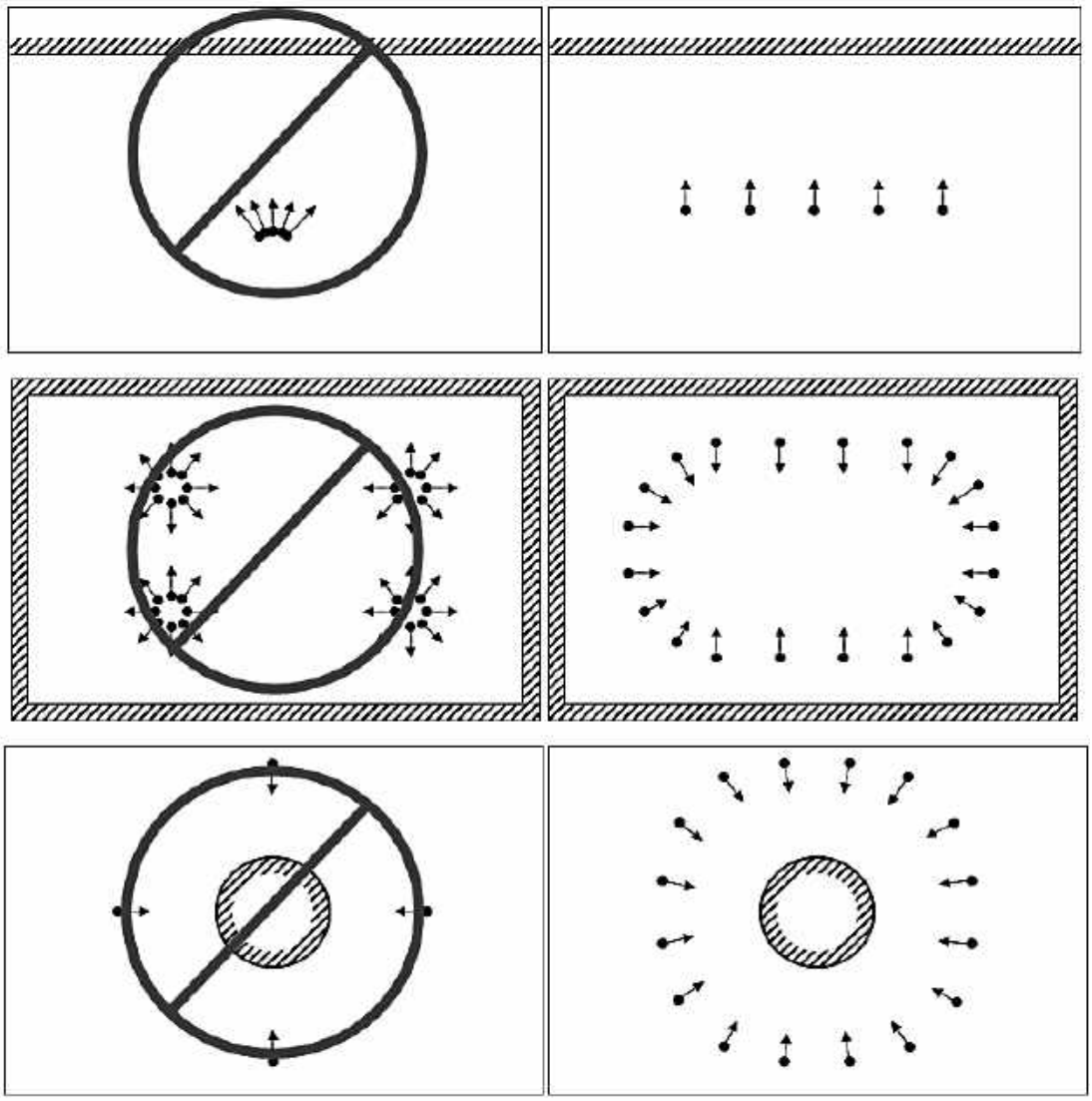

Рисунок 9.1 – Сценарії знімання об'єктів місцевості

Таким чином, основними фотограмметричними факторами, що визначають точність відтворення 3D-моделі місцевості є:

- сценарій знімання для різних об'єктів;
- висока роздільна здатність;
- тип об'єктива;
- калібрування фотокамери.

Програма Agisoft PhotoScan – універсальний інструмент для генерації тривимірних моделей поверхонь об'єктів знімання за фотозображеннями

цих об'єктів. PhotoScan з успіхом застосовується як для побудови моделей предметів та об'єктів різних масштабів (від мініатюрних археологічних артефактів до великих будівель і споруд), так і для побудови моделей місцевості за даними аерофотознімання й генерації матриць висот та ортофотопланів, побудованих на основі цих моделей. Оброблення даних у PhotoScan є повністю автоматизованим – на оператора покладено лише функції контролю й керування режимами роботи програми.

На рисунку 9.2 показано узагальнену методику побудови 3D-моделі місцевості за даними фото- та відеознімання з БПЛА.

Етапи побудови та прив'язки моделі місцевості за даними з БПЛА:

1 Побудова грубої моделі. На цьому етапі проводяться: автоматичне визначення спільних точок на знімках, що перекриваються; відтворення променів, що утворюють проєкцію; визначення координат центрів фотографування та елементів взаємного орієнтування знімків; розрахунок параметрів, що описують оптичну систему (дисторсія, коефіцієнт асиметрії, положення центральної точки). Усі ці розрахунки виконуються в програмі за одну операцію.

2 Прив'язка отриманої моделі до зовнішньої (геодезичної, географічної) системи координат і вирівнювання всіх параметрів системи (координат центрів фотографування й наземних опорних точок, кутів орієнтування знімків, параметрів оптичної системи) з використанням параметричного методу вирівнювання. Ваговими коефіцієнтами для вирівнювання є похибки визначення координат точок знімання (центрів фотографування), похибки визначення координат точок наземної опорної мережі, а також похибки дешифрування й маркування опорних точок на знімках.

3 Побудова полігональної моделі поверхні місцевості на основі параметрів, визначених на попередньому етапі. У програмі реалізовано експрес-спосіб, що полягає в тріангуляції тільки спільних точок, отриманих на першому етапі, і більш точні способи оброблення, які полягають у визначенні просторового положення для кожного піксела зображення (залежно від заданого ступеня деталізації обробляється кожен перший, кожен четвертий, кожен шістнадцятий, – усього п'ять можливих рівнів).

З точки зору оператора, процес роботи з програмою має такий вигляд:

1 Завантаження фотознімків. PhotoScan підтримує такі формати фотографій: JPEG, TIFF, PNG, BMP, PPM, OpenEXR, JPEG Multi-Picture Format (MPO).

2 Вибір системи координат і завантаження даних п рив'язки центрів фотографування. Прив'язка моделі в необхідній системі координат може виконуватися за координатами центрів фотографування (КЦФ).

3 Формування точкової моделі поверхні Землі. На цьому етапі виконуються повторний пошук спільних точок і визначення їх положення. Оскільки параметри взаємного орієнтування знімків уже відомі з достатньою точністю, можна звузити область пошуку спільних точок і підвищити достовірність визначення їх відповідності. Щільність результівної хмари точок при цьому є досить високою – у найбільш детальному режимі побудови щільної хмари аналізується буквально кожен піксел вихідних фотографій, і для всіх пікселів визначається положення точок на місцевості, що їм відповідають.

4 Установлення відміток опорних точок на фотознімках і завантаження координат точок опорної мережі (за наявності наземної опорної мережі). Дані для прив'язки можуть бути завантажені як до вирівнювання, так і після. Зазвичай КЦФ завантажуються разом зі знімками й використовуються на етапі вирівнювання, а координати наземних точок завантажуються після формування первинної моделі, і за ними проводиться точна прив'язка.

5 Оптимізація моделі (вирівнювання параметрів прив'язки). По суті цей етап є строгим вирівнюванням параметрів орієнтування знімків. Виконується на основі даних про положення центрів фотографування й наземних опорних знаків. Може виконуватися як з фіксованими параметрами калібрування камери, так і з вільними. У другому випадку є аналогом вирівнювання з самокалібруванням.

6 Генерація полігональної моделі поверхні Землі. Побудова цифрової моделі місцевості (матриці висот) та ортофотоплану в PhotoScan проводиться з використанням полігональної моделі місцевості. Модель формується на основі щільної хмари точок тріангуляції за точками. Певна частина точок при цьому фільтрується.

7 Експорт даних (ортофотоплан, матриця висот) і формування полігональної моделі місцевості. На основі побудованої полігональної моделі місцевості виконуються вибір ділянок вихідних знімків (що відповідають окремим полігонам моделі) і проєктування їх на задану поверхню. Під час експортування можна вибрати тип проєктування, систему координат, задати роздільну здатність ортофотоплану і межі області експорту.

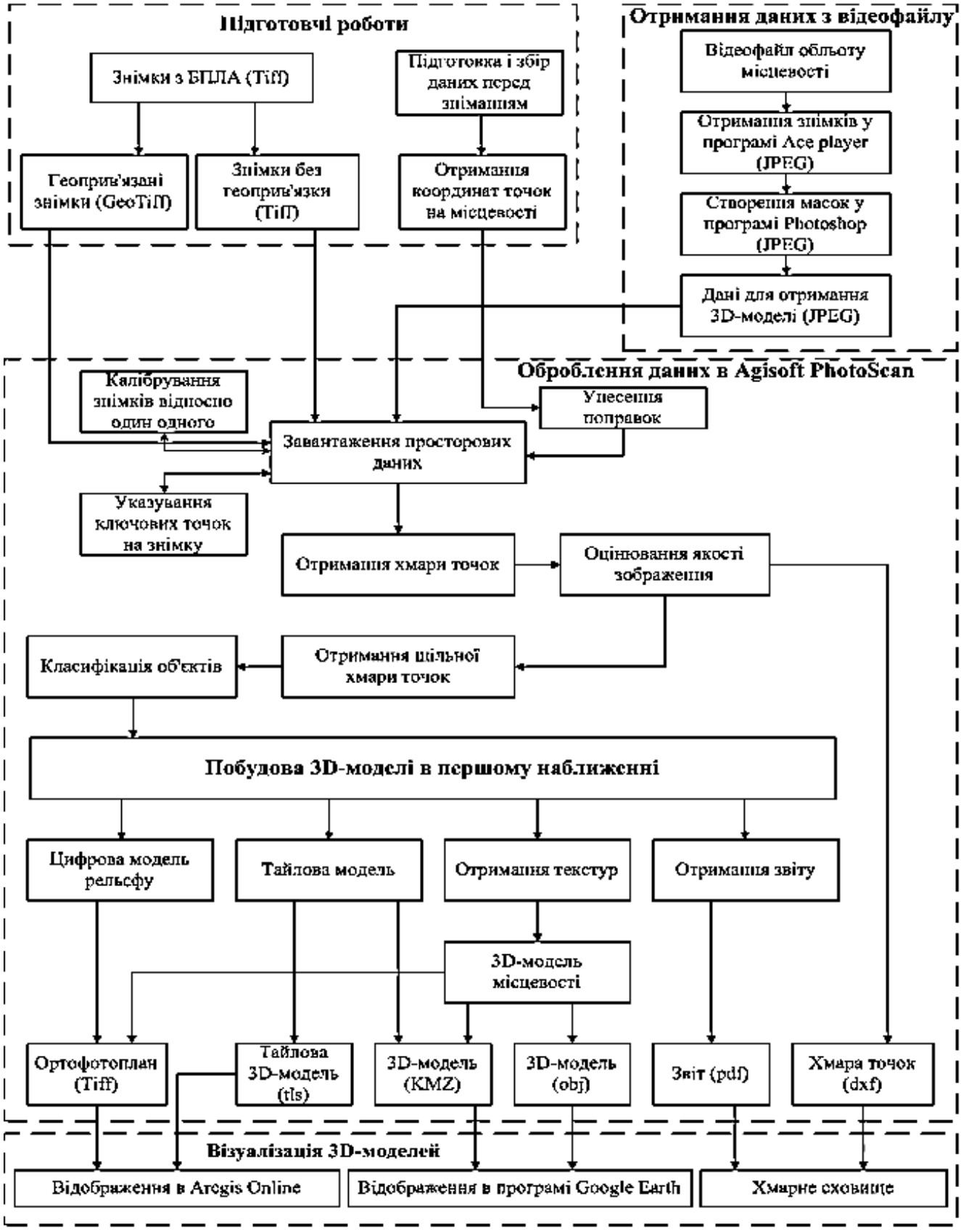

Рисунок 9.2 – Структурна схема методики побудови 3D-моделі місцевості за даними фото- та відеознімання з БПЛА

Що стосується експорту матриці висот, зараз у програмі PhotoScan реалізовано експорт моделі поверхні тільки у вигляді регулярної сітки. Разом із цим, крім ортофотоплану і матриці висот, які зазвичай становлять найбільший інтерес у контексті картографічної діяльності, програма дає можливість експортувати такі результати оброблення:

– координати центрів фотографування, параметри орієнтування знімків і координати маркерів (марок опорних, тобто контрольних точок);

– параметри калібрування камер, розраховані під час оброблення;

– 3D-модель в одному з таких форматів: Wavefront OBJ (.obj), 3DS models (.3ds), VRML (.wrl), COLLADA (.dae), Stanford PLY (.ply). Autodesk DXF (.df), U3D models (.u3d), Adobe PDF (.pdf);

– хмара точок (як розріджена, так і щільна) у таких форматах: Wavefront OBJ (.obj). Stanford PLY (.ply), XYZ point cloud (.txt), ASPRS LAS (.las);

– елементи орієнтування камер у таких форматах: PhotoScan XML (.xml). Bundler (.out), CHAN files (.chan), Bonjou (.txt), Omega Phi Kappa (.txt).

Окремо слід зазначити про можливість експортування створеної картографічної моделі для оброблення в сторонніх програмах і зворотного імпортування її в PhotoScan. Врешті отримана модель може бути використана для генерації ортофотопланів і матриць висот.

Унаслідок оброблення знімків у програмі PhotoScan можна отримати текстуровану поверхню (рисунок 9.3), матрицю висот (рисунок 9.4), 3D-модель місцевості з накладеною текстурою (рисунок 9.5), ортофотоплан (рисунок 9.6), хмару точок (рисунок 9.7).

Рисунок 9.3 – Текстурована поверхня (Mesh)

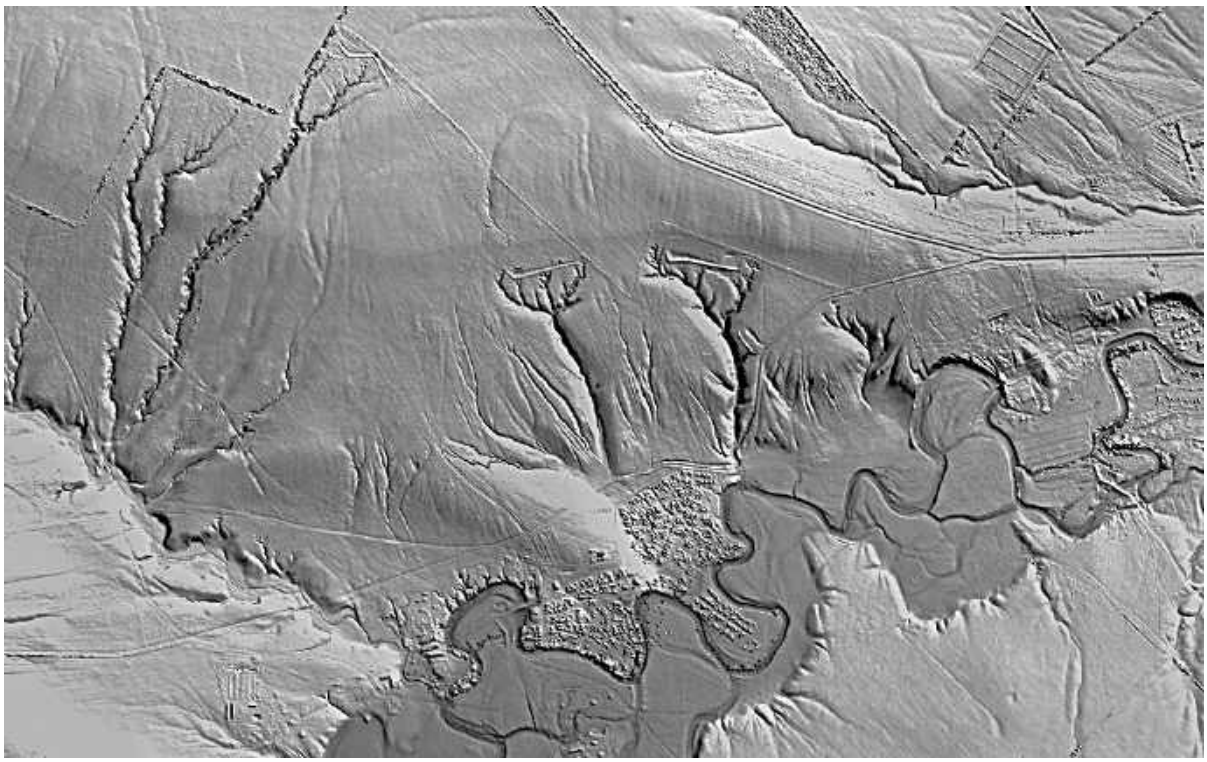

Рисунок 9.4 – Матриця висот з відмиванням рельєфу (Grid)

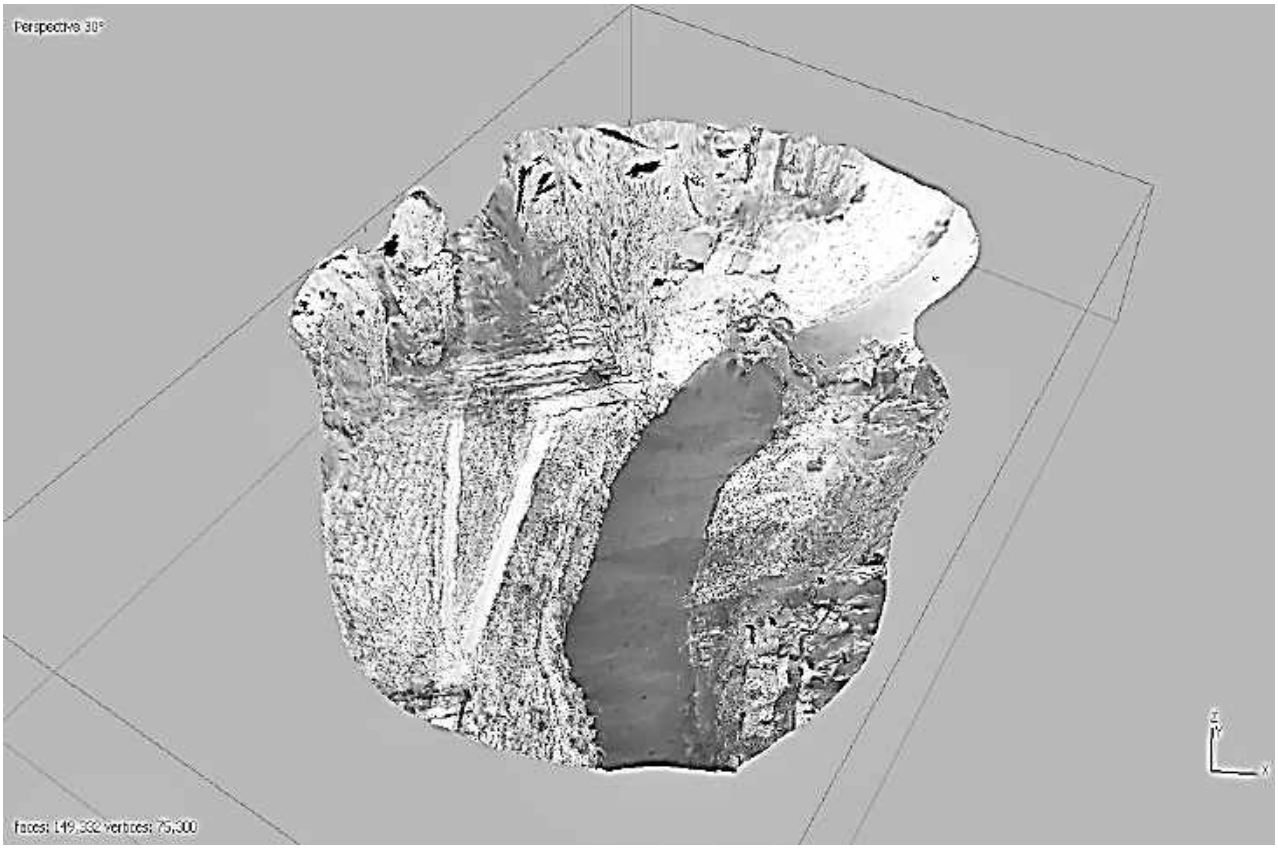

Рисунок 9.5 – 3D-модель місцевості з накладеною текстурою (Obj)

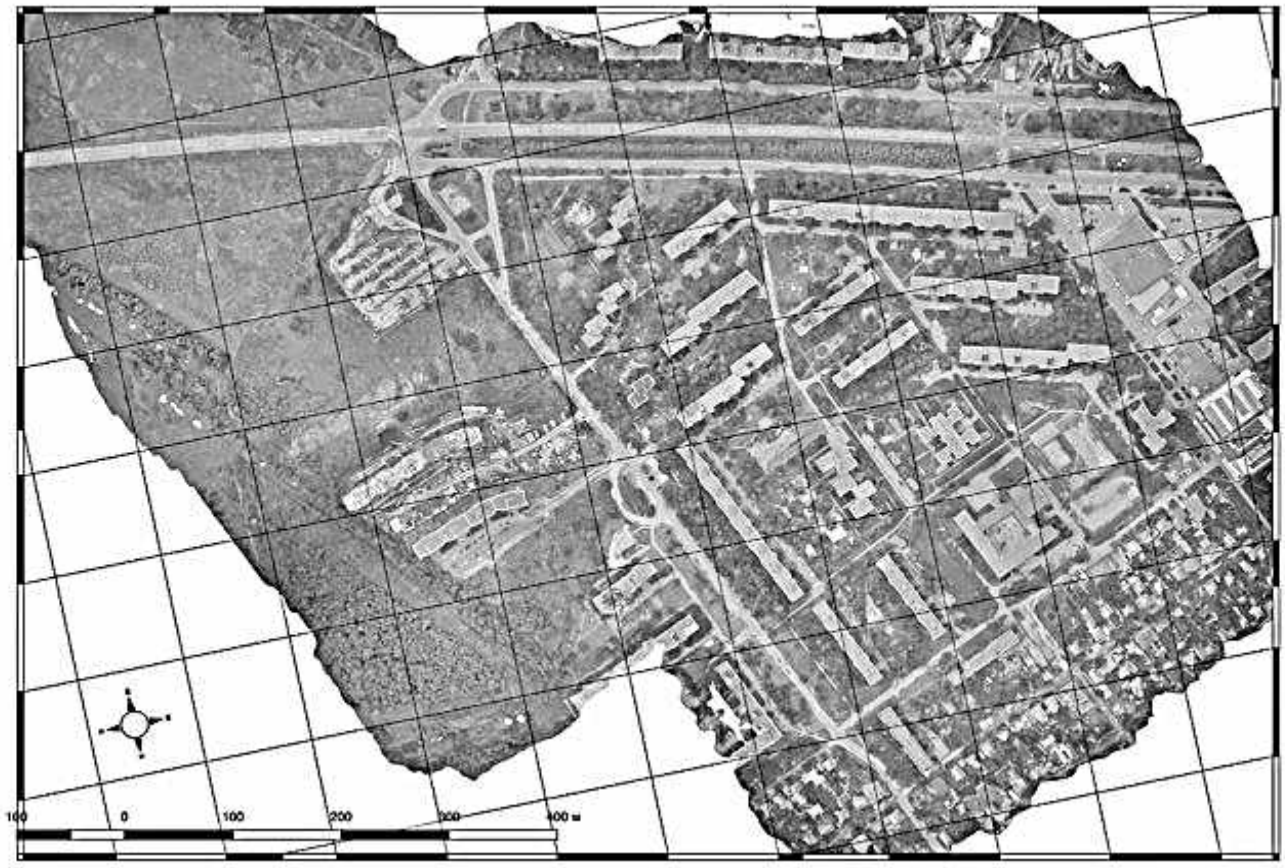

Рисунок 9.6 – Ортофотоплан (Tiff)

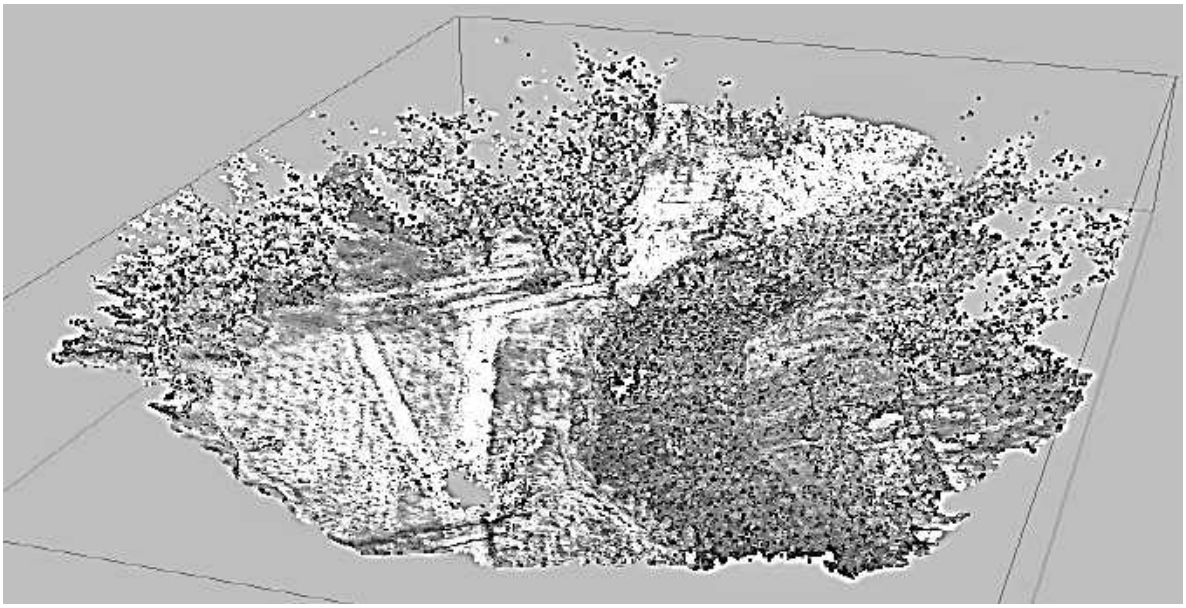

Рисунок 9.7 – Щільна хмара точок (Las)

Результат побудови 3D-моделі місцевості за даними знімання з БПЛА зображено на рисунку 9.8.

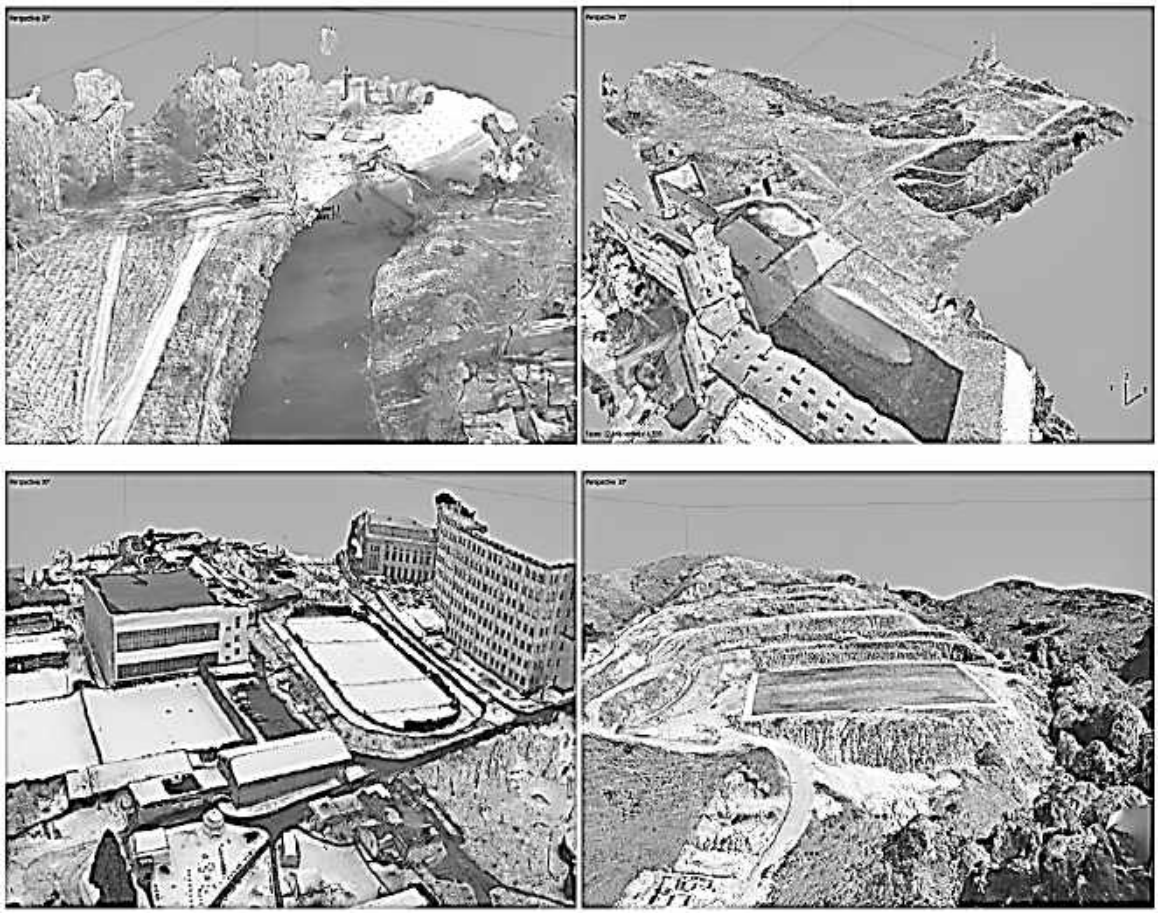

Рисунок 9.8 – 3D-модель місцевості за даними знімання з БПЛА

Отримані моделі місцевості можна використовувати в інших сумісних програмних продуктах, а також завантажувати на вебресурси.

PhotoScan підтримує можливість експорту результатів у різних поданнях: розріджені або щільні хмари точок, дані калібрування камер, полігональні моделі. Залежно від вимог користувача можуть бути згенеровані ортофотоплани й карти висот (ЦММ і ЦМР).

Хмара точок і розраховані значення калібрування камер можуть бути експортовані відразу ж після завершення вирівнювання аерофотографій. Усі інші можливості експорту стають доступними після реконструкції геометрії моделі. Формати й тип експортованих даних наведено в таблиці 9.2.

Слід зазначити, що PhotoScan підтримує створення автоматичних звітів (у форматі PDF), що містять основні параметри проєкту, результати оброблення і дані щодо точності.

Отримані 3D-моделі місцевості можна завантажувати у хмарні сховища та (після експорту у формат KMZ) у Google Earth. Крім того, ЦМР, отриману на основі відтвореної ЦММ, можна завантажувати в онлайн-сервіс Arcgis Online.

Таблиця 9.2 – Формати даних експорту

Експорт	Формат
Хмара точок	Wavefront OBJ, Stanford PLY, текстовий формат XYZ, U3D, ASPRS LAS, PDF
Калібрування й орієнтація камер	Bundler OUT, CHAN, Boujou, Omega Phi Kappa, PATB, BINGO, AeroSys, Inpho
3D-модель	Wavefront OBJ, 3DS, VRML, Stanford PLY, COLLADA, Autodesk FBX, Autodesk DXF, Google Earth KMZ, U3D, Adobe PDF
Ортофотоплан	JPEG, PNG, TIFF, GeoTIFF
ЦМР, ЦММ	GeoTIFF, Arc/Info ASCII Grid (ASC), Band interlieved (BIL)

Сервіс Arcgis Online дає змогу будь-якому користувачу отримати доступ до ЦМР, ЦММ та ортофотопланам, отриманим за допомогою знімків з БПЛА.

Таким чином, розроблено методику побудови 3D-моделей місцевості на базі даних, отриманих за допомогою БПЛА. Методика дає змогу створювати 3D-моделі місцевості, цифрові моделі рельєфу, ортофотоплани, звіти з параметрами реконструкції й параметрами камери.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

Андрєєв, С. М. ГІС-аналіз [Текст] : навч. посіб. Ч. 1 / С. М. Андрєєв, В. А. Жилін, А. С. Нечаусов. – Харків : ХАІ, 2021. – 72 с.

Андрєєв, С. М. Застосування даних аерофотозйомки з безпілотних літальних апаратів для побудови 3D-моделей місцевості [Текст] / С. М. Андрєєв, В. А. Жилін // Системи управління, навігації та зв'язку : зб. наук. пр. – Полтава : ПНТУ, 2019. – Т. 1 (53). – С. 3–16. – doi:https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.2.105.

Андрєєв, С. М. Алгоритм автоматизованого визначення класу стабільності атмосфери для поточних метеоумов [Текст] / С. М. Андрєєв, А. С. Нечаусов // Системи управління, навігації та зв'язку : зб. наук. пр. – Полтава : ПНТУ, 2018. – Т. 2 (48). – С. 105–110. – doi:https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.2.105.

Андрєєв, С. М. Методика побудови анаморфозних картографічних моделей для аналізу геоданих [Текст] / С. М. Андрєєв, В. А. Жилін, А. П. Мельник // Сучасні інформаційні системи. – Харків : НТУ "ХПІ", 2019. – Т. 3, № 3. – С. 5–16.

Андрєєв, С. М. Методика побудови гіпсометричних картографічних моделей рельєфу за даними дистанційного зондування Землі [Текст] / С. М. Андрєєв, В. А. Жилін // Сучасні інформаційні системи. – Харків : НТУ "ХПІ", 2020. – Т. 4, № 4. – С. 11–22.

Геоинформатика [Текст] : учебник / под ред. В. С. Тикунова. – М. : Академия, 2005. – 279 с.

ГІС-аналіз [Текст] : навч.-метод. посіб. до практ. занять / С. М. Андрєєв, В. А. Жилін, А. С. Нечаусов, О. Є. Лазарєва. – Харків : ХАІ, 2021. – 64 с.

Danshyna, S. Yu. Solution of the problem of placing medical facilities in city development projects [Text] / S. Yu. Danshyna, A. S. Nechausov // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2020. – № 3 (54). – С. 138–149. – doi:https 10.15588/1607-3274-2020-3-12.

ДеМерс, Майкл Н. Географические информационные системы. Основы [Текст] : пер. с англ. / Майкл Н. ДеМерс. – М. : Дата +, 1999. – 490 с.

Джонстон, Кевин. ArcGIS Geostatistical Analyst [Текст] : руководство пользователя / Кевин Джонстон. – М. : Дата +, 2001. – 279 с.

Світличний, О. О. Основи геоінформатики [Текст] : навч. посіб. / О. О. Світличний, С. В. Плотницький. – Суми : ВТД "Університетська книга", 2006. – 295 с.

Шипулін, В. Д. Основні принципи геоінформаційних систем [Текст] : навч. посіб. / В. Д. Шипулін. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 313 с.

Навчальне видання

Андрєєв Сергій Михайлович
Жилін Володимир Анатолійович
Нечаусов Артем Сергійович

АНІМАЦІЙНІ ГЕОЗОБРАЖЕННЯ ТА 3D-МОДЕЛІ МІСЦЕВОСТІ

Редактор Т. О. Іващенко

Зв. план, 2022
Підписано до друку 03.04.2023
Формат 60×84 1/16. Папір офс. Офс. друк
Ум. друк. арк. 5,3. Обл.-вид. арк. 6. Наклад 75 пр.
Замовлення 128. Ціна вільна

Видавець і виготовлювач
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
http://www.khai.edu
Видавничий центр «ХАІ»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
Izdat@khai.edu

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2002