

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ, ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АЕРОКОСМІЧНОЇ ГЕОДЕЗІЇ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач випускової кафедри

д. ф. - м. н., проф..

Железняк О.О.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**  
ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ “МАГІСТР”  
ЗА ОПП «ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ»

**Тема: «Особливості застосування безпілотних апаратів для здійснення картографування урбанізованого ландшафту»**

Виконавець: студент групи ГС – 208М Кримчак Андрій Володимирович \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник: к.ф.-м.н., доцент кафедри  
Беленок Вадим Юрійович

\_\_\_\_\_ (підпис)

Нормоконтролер: к.ф.-м.н., доцент Великодський Ю.І.

\_\_\_\_\_ (підпис)

Київ 2020

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Екологічної безпеки інженерії та технологій

Кафедра аерокосмічної геодезії

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Освітньо-професійна програма «Геоінформаційні системи і технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д. ф.-м.н., проф

Железняк. О. О.

\_\_\_\_\_ 2020 р.

## ЗАВДАННЯ







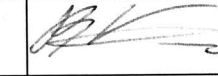
**на виконання дипломної роботи**

**Кримчак Андрій Володимирович**

1. Тема дипломної роботи: **Особливості застосування безпілотних апаратів для здійснення картографування урбанізованого ландшафту, затверджена наказом ректора від 25 жовтня 2019р. №2499/ст**
2. Термін виконання роботи : з 12.11.2019 по 05.02.2020
3. Вихідні дані до роботи : дані із БПЛА, літературні дані.
4. Зміст пояснювальної записки: визначення найкоротшої відстані та мінімізація транспортної роботи, використовуючи данні фотознімків отримавши з БПЛА, що в подальшому допоможе знизити транспортні витрати в місті.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: карта оптимального транспортного маршруту

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Опрацювання спеціальної літератури за тематикою роботи.	12-18.11 2019	Виконано 
2.	Підготовка матеріалів першого розділу дипломної роботи	18-20.11 2019	Виконано 
3.	Підготовка матеріалів другого розділу дипломної роботи	20-24.11 2019	Виконано 
4.	Підготовка матеріалів третього розділу дипломної роботи	24-27.11 2019	Виконано 
5.	Оформлення висновків дипломної роботи	27-29.11 2019	Виконано 
6.	Підготовка до захисту дипломної роботи	29.11.2019- 05.02. 2020	Виконано 
7.	Захист дипломної роботи	06.02.2020	

## 7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата підпису	
		Завдання видав	Завдання прийняв

Керівник дипломної роботи к.ф.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_ Беленок В.Ю.  
(підпис керівника)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Кримчак А.В.  
(підпис випускника)



## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ**

**БПЛА** – безпілотний літальний апарат

**ДЗЗ** – дистанційне зондування землі

**БАС** – безпілотна авіаційна система

**ІЧ** – інфрачервоний

**ГІС** – геоінформаційні системи

**GPS** – система глобального позиціонування

**УФ** – ультрафіолетовий

## Реферат

В даний час на ринку транспортних послуг конкуренція набуває якісно нових рис: на тлі підвищення витрат на перевезення і важливості економії часу, потрібна наявність ефективної системи оптимізації маршруту транспортної мережі.

Геомаркетинг дозволяє мінімізувати товарні запаси, скоротити час доставки товарів, прискорити процес отримання інформації та підвищити рівень сервісу.

Об'єкт дослідження - транспортна логістика покликана забезпечити оптимізацію транспортних систем.

Предмет дослідження – види і типи транспортних засобів; визначення різно-канальних маршрутів доставки і їх оптимізацію; технологічну єдність транспортно-складового процесу.

Метою роботи – є вивчення методів створення цифрових карт за матеріалами аерофотозйомки, та створення мережевої моделі для аналізу маршруту транспортної мережі міста Черкаси використовуючи аерофотозйомки БПЛА.

Основними завданнями роботи є:

- збір вихідних даних;
- створення мережевого набору даних на базі шейп-файлу;
- створення файлової бази геоданих з набором мережевих даних;
- створення мультимодального набору мережевих даних.

Визначення найкоротших відстаней між пунктами транспортної мережі є важливим практичним завданням, так як дає можливість знизити транспортні витрати.

Щоб створити моделі транспорту було необхідно:

- використовувати програмне забезпечення ArcGIS 10.2 і додатковий модуль Network Analyst;
- нанести на карту торговельну мережу "АТБ" міста Черкаси.

## Зміст

<b>Вступ.....</b>	<b>8</b>
<b>Розділ 1. Аналіз літературних джерел .....</b>	<b>11</b>
<b>Розділ 2. Теоретичні засади, експлуатації БПЛА .....</b>	<b>17</b>
2.1 Загальні поняття про БПЛА.....	17
2.1.1 Основні поняття .....	17
2.1.2 Управління БПЛА.....	18
2.1.3 Безпілотна авіаційна система (БАС).....	19
2.1.4 Передумови застосування БПЛА для аерознімання.....	20
2.1.5 Чинники, стримуючі розвиток ринку .....	22
2.1.6 Огляд моделей БПЛА, розроблених в цілях аерознімання .....	23
2.1.6.1 Вітчизняні моделі БПЛА .....	23
2.1.6.2 Зарубіжні розробки БПЛА.....	26
2.2 Застосування БПЛА в цілях аерознімання.....	29
2.2.1 Особливості даних аерознімання з БПЛА .....	29
2.2.2 Специфіка фотограмметричної обробки даних аерознімання з БПЛА ..	32
<b>Розділ 3. Технологічні схеми виконання аерознімальних робіт .....</b>	<b>36</b>
3.1 Попередня підготовка до аерознімального польоту .....	36
3.2 Літальні і робочі карти і їх підготування .....	38
3.3 Аерознімальний розрахунок.....	39
3.4 Підготовка та проведення аерознімального польоту.....	42
3.5 Аналіз аерознімального польоту.....	43
3.6 Принципи обробки матеріалів аерознімання.....	44
3.6.1 Попередня обробка матеріалів аерознімання .....	46
3.6.2 Фотограмметрична обробка матеріалів аерознімання.....	47
3.6.3 Дешифрування матеріалів аерознімання .....	50
3.6.4 Документування матеріалів аерознімання.....	52

<b>Розділ 4. Маршрутизація пересування транспорту по точкам торгової мережі магазинів «АТБ» в м.Черкаси з використанням фотознімків БПЛА.....</b>	<b>54</b>
4.1 Актуальність дослідження.....	54
4.2 Використання ArcGIS в обробці даних БПЛА. ....	55
4.3 Оптимізація маршрутів мережі магазинів «АТБ» м.Черкаси.....	63
<b>Висновки.....</b>	<b>76</b>
<b>Література .....</b>	<b>78</b>
<b>Додатки .....</b>	<b>80</b>

## Вступ

Реформування земельних відносин в Україні здійснюється вже понад 20 років (з 1991 року) [1]. З нещодавнім прийняттям закону про “Земельний кадастр” та майбутнім прийняттям закону про “Ринок землі” виникнуть нові вимоги до геодезичної складової земельного кадастру, оскільки недостовірна кадастрова інформація, яка обумовлена неточністю визначення координат точок поворотів меж земельної ділянки та її площі, приведе до недопустимих похибок у створенні податкової бази, що, в одному випадку, ущемляє інтереси землекористувачів, а в іншому – інтереси держави. Як показує практика, використання традиційних методів геодезичних вимірювань та результатів їх опрацювання під час виконання несучільної інвентаризації земель населених пунктів не дозволяє дати відповідь на запитання щодо точності визначення координат знімальної основи, межових знаків та точок поворотів меж, оскільки роботи із землеустрою переважно проводяться несистемно і без надійного контролю. Все це приводить до того, що значно частіше стали виникати проблеми із суміщенням меж сусідніх ділянок внаслідок формування неякісної кадастрової інформації (геометричні параметри ділянок та їх розміщення) в базах даних, які створювались впродовж багатьох років регіональними центрами державного земельного кадастру. Хоча відомо, що основою для геодезичного встановлення меж земельних ділянок (характеристики земельних ділянок найчастіше визначаються за їх фактичним станом), а також реєстрації їх просторових та правових характеристик, виступає документація із землеустрою, дані якої носять офіційний характер і набувають юридичного значення внаслідок затвердження за встановленою законодавством процедурою. В той же час, виявляється «невідповідність» фактичних меж ділянок тим, що раніше зазначались у документації із землеустрою. Тому, безперечно, необхідна кропітка і системна робота над помилками у державному земельному кадастрі. Найбільш ефективно таку роботу можна здійснити, проводячи

суцільну інвентаризація земель, включно із земельними ділянками, які перебувають у приватній власності або користуванні, за умов застосування інформації, одержаної засобами дистанційного зондування Землі. Економічно привабливим для цих цілей є використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА), оснащених відповідними засобами для проведення автоматизованого аерофотознімання. Результати аерознімальних робіт можуть розглядатися як інформаційна основа для перевірки (валідації) наявних даних державного земельного кадастру у процесі інвентаризації земель та визначення сучасного стану їх використання з веденням чергових кадастрових планів (карт) із відображенням усіх об'єктів кадастрового обліку. Застосування БПЛА дозволять оперативно, при невеликих витратах коштів, виконати аерофотознімання невеликих за площею земельних ділянок (садівничого товариства, дачного селища, сільських населених пунктів та ін.), з метою складання кадастрових планів та ортофотопланів різного масштабного ряду для вирішення різних завдань моніторингу земель.

З другої сторони створення таких площ наземними методами доволі складний процес який може розтягнутися на декілька років. Ще один нюанс полягає у тому, що відобразити всі будови та ускладнену конфігурацію ділянки досить проблематично, з декількох точок зору. По-перше, не завжди можливо це зробити з однієї, а навіть і з кількох станцій при тахеометричному зніманні, по-друге, як це не парадоксально виглядає де коли просто немає доступу на територію цієї ділянки. Це пояснюється відсутністю, або не погодженням з власником ділянки.

Створення великомасштабних планів для землевпорядкувальних робіт є на теперішній день досить актуальною задачею в галузі кадастру. В першу чергу це стосується сільських населених пунктів, оскільки ще далеко не на всі ділянки в Україні створені кадастрові плани під розпаювання земель. З другої сторони створення таких площ наземними методами доволі складний процес який може розтягнутися на декілька років. Ще один нюанс полягає у тому, що відобразити всі будови та ускладнену конфігурацію ділянки досить

проблематично, з декількох точок зору. По-перше, не завжди можливо це зробити з однієї, а навіть і з кількох станцій при тахеометричному зніманні, по-друге, як це не парадоксально виглядає де коли просто немає доступу на територію цієї ділянки. Це пояснюється відсутністю, або не погодженням з власником ділянки.

Аерознімання території і в подальшому застосування стереофотограмметричного методу створення великомасштабних планів дає унікальну можливість усунення вищеперерахованих вад. В той же час використання для аерознімання пілотованих носіїв вимагає великих фінансових витрат та вирішення багатьох організаційних питань, що знижує оперативність методу. З цієї точки зору для усунення цих проблем пропонується застосування БПЛА.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є створення великомасштабних планів сільських населених пунктів при застосуванні БПЛА з метою створення кадастрових планів. Визначення недоліків при застосуванні БПЛА для топографічного знімання в процесі його реальної апробації. Аналіз цифрового стереофотограмметричного методу при обробці отриманих цифрових матеріалів.

У першому розділі розглядається аналіз літературних джерел. Другий розділ описує загальні поняття про БПЛА, моделі вітчизняних та зарубіжних безпілотних літальних апаратів. У третьому розділі вказано підготовку до аерознімального польоту, формули для розрахунку аерознімання і принципи обробки матеріалів аерознімання.



## Розділ 1. Аналіз літературних джерел

Необхідно відзначити, що в останній час зацікавленість БПЛА значно зросла, причому застосування пропонується у різних галузях науки і техніки: в архітектурі, кадастру, археології, у різноманітних геоінформаційних системах тощо. Окремою ланкою виступають у цьому напрямку прив'язні аеростати, застосування яких поки що обмежується локальними об'єктами, тобто знімання виконується фактично або з одного базису, або з двох, для подальшої обробки поодиноких знімків так і стереопар [2,3]. Необхідно відзначити, що прив'язні аеростати мають свої позитивні та негативні риси. З першого погляду їх можна застосувати для маршрутного, а навіть і для блочного аерознімання пересуваючи засіб за проектною лінією назначеною на місцевості. Однак на практиці це ускладнюється тим, що балон надто хиткий, а відтак гойдання камери виходить за межі допустимих кутів нахилу, що у свою чергу приводить до неможливості подальшого прецизійного опрацювання зображень.

У наступній публікації [4] приводяться технічні характеристики сучасних БПЛА, які можуть бути задіяні в аерознімальних процесах для складання кадастрових та топографічних планів. Необхідно підкреслити, що і на сьогоднішній момент ці моделі ще далекі від штатних показників, тобто мають вади які необхідно усунути, щоб у притул підійти до вимог щодо проведення класичного аерознімання.

Отже проведення, хоча і короткого, аналізу сучасного стану застосування БПЛА дає змогу констатувати, що це впровадження стрімко розвивається і через декілька років БПЛА займуть гідне місце у аеротопографічному виробництві.

Ця публікація [5] включає в собі огляд трубопроводу, нагляд греблі, фотограмметричний огляд, підтримку інфраструктури, огляд затоплених областей, пожежогасіння, моніторинг місцевості, спостереження вулкану, і т. д. Політ вражаючих можливостей, що надають БПЛА вимагає добре



навчених пілотів у повній мірі і ефективному використанні, причому дальність польоту пілотованого вертольота обмежена прямою видимістю або майстерністю пілота виявляти і стежити за орієнтацією вертольота. Такі питання спонукали наукові дослідження і розробки автономною системою наведення, які змогли стабілізуватися, а також направляти вертоліт точно уздовж довідкового шляху. Постійне зростання науково-дослідних програм і технологічного прогресу у сфері навігаційних систем, як позначено виробництво все більш і більш досконалих GPS / INS інтегрованих одиниць, дозволило велике зниження і мініатюризацію корисного навантаження. Маленькі автономні вертольоти продемонстрували, щоб бути корисними для ряду бортово-заснованих застосувань як наприклад повітряна картографія і фотограмметрія, спостереження як у військових, так і цивільних справах, перевірки та моніторингу. У цій статті є результати системи моделювання польоту, розробленої для початкової установки сервомоторів, на яких ця система буде ґрунтована. Створенні штучного середовища, що дозволяє по суті, оцінити заздалегідь, як основні питання комплексної системи управління, уникаючи пошкодити тендітні і дорогі інструменти, як і ті що встановлені на моделі вертольота.

У наступній публікації [6] представлено безпілотні авіаційні транспортні засоби на основі фотограмметричної системи картографування. Ця робота є частиною проекту, моніторинг ґрунтових умов дороги з використанням дистанційного зондування та інших технологій, авторами якого є Міністерство транспорту США. Система базується на зразковому вертольоті з обладнанням GPS/IMU і геомагнітного датчика, щоб виявити позицію положення в просторі і швидкістю вертольота. Автономний контроллер був використаний для управління вертольотом, щоб летіти уздовж зумовленого шляху польоту і досягати бажаних позицій. На наземній станції, комп'ютер був використаний для зв'язку з вертольотом у режимі реального часу щоб контролювати параметри польоту та відправляти команди управління. Вся система обробки включає в себе калібрування

камери, інтегрований датчик орієнтації, цифрову 3D модель поверхні дороги і зображення покоління, автоматизоване вилучення функцій і вимірів для оцінки стану дороги.

У цій публікації [7] описується про послідовності зображень що мають переваги високого перекриття, візуального відображення і дуже високу роздільну здатність. Ці зображення можуть бути використані в різних застосуваннях, які вимагають високої точності або покращення текстур. Ця публікація в основному зосереджена на фотограмметричній обробці послідовностей зображень, придбаних безпілотним дирижаблем, який автоматично летить у відповідності із визначеним маршрутом польоту по контролю системи автопілота. Перекриття та відносні параметри обертання між двома сусідніми зображеннями оцінюються шляхом зіставлення двох зображень в цілому, а потім точно визначено по піраміді зіставлення на основі зображень та взаємної орієнтації. Експериментальні результати показують, що розроблено систему дистанційного зондування, що кваліфікується для перекриття і стереознімання.

Ця публікація [8] описує ефективне поєднання технологій топографічних, фотограмметричних знімків і лазерного сканування для побудови тривимірної моделі історичної місцевості. На цьому тлі, було вирішено оцифрувати всі наявні матеріали історичної пам'ятки. У цей же час, дослідження було розпочато співпрацю по просуванню і, зокрема зібрані наукові елементи, за різними археологічним розкопкам. У статті описуються різні етапи що перетворюють в цифрову форму віртуальної тривимірної моделі історичної пам'ятки.

У публікації [9] розглядаються компоненти калібрування наземних лазерних сканерів Faro LS880 HE80. Діапазон вимірювання 1-30 метрів був розділений на дві частини залежно від використовуваного інтервалу дискретизації та спостереження у порівнянні з результатами, отриманими з роботом тахеометром. Відмінності були проаналізовані за допомогою перетворення методами Фур'є. Довжини хвилі, які приводили великі

амплітуди в частотному просторі не спостерігалися. Ряди Фур'є дали функцію помилки для відносного вимірювання відстаней з лазерним сканером. Результати показали, що відносні вимірювання відстані були налаштовані як постійні так і періодичні нелінійні помилки, які були виправлені використанням Фур'є-аналізу. Було відомо, що довжини хвилі виявлені періодичними помилками що часто корелює з довжиною хвилі модуляції частоти приладу.

У публікації [10] представлено якості моніторингу у польоті, які дозволяють оцінку якості записаних даних на льоту, показуючи в режимі реального часу обробки GPS / INS даних і подальшої прив'язки лазер повертається. Інструмент здатний відображати процес сканування в режимі реального часу і виявлення прогалин в даних безпосередньо після завершення смуги. Тут прийнята стратегія для обробки даних і зв'язку з метою забезпечення масштабованого розподілу по мережі комп'ютерів.

У цій публікації [11] розглядається технологія обробки матеріалів знімання у ПЗ Agisoft PhotoScan надана ТОВ "Плаз". Застосування безпілотних літальних апаратів дозволяє знизити витрати на виробництво аерофотознімальних робіт. З точки зору традиційної фотограмметрії якість подібного знімання найімовірніше буде оцінено, як неприйнятне, оскільки на БПЛА, як правило, встановлюються камери побутового сегмента, не використовується гіростабілізуюча апаратура, при знімання нерідкі відхилення оптичних осей від вертикалі в кілька градусів, що значно ускладнює процес первинної обробки знімків. Однак для сучасного фотограмметричного програмного забезпечення ці недоліки не представляють значних проблем. Більш того, розвиток цифрових методів фотограмметричної обробки вже призвело до появи програм і програмних комплексів, здатних обробляти навіть такі неякісні дані аерофотознімання в високоавтоматизованому режимі, при мінімальній участі оператора.

У цій публікації [12] розглядається аналіз методів та моделей калібрування наземних лазерних сканерів з метою розроблення єдиного

методичного підходу до використання методик калібрування наземних лазерних сканерів.

У цій публікації [13] проведено аналітичний огляд існуючих космічних систем дистанційного зондування землі, пілотованих літальних апаратів, а також альтернативних систем на основі безпілотних літальних апаратів. Зроблена порівняльна характеристика основних параметрів існуючих засобів збору інформації. Визначення основних параметрів БПЛА для актуалізації й уточнення оперативної геопросторової інформації на основі проведення аналітичного огляду існуючих космічних систем дистанційного зондування земної поверхні та пілотованих літальних апаратів.

У публікації [14] розглянута нова технологія виміру стенда для калібрування цифрових камер які застосовуються у аерознімання з БПЛА, заснована на використанні безвідбивного електронного тахеометра. Виконано оцінку точності вимірів. Використання камери для одержання метричної інформації неможливе без її попереднього калібрування. Існуючі методи калібрування можна розділити на три класи: лабораторне калібрування з використанням гоніометра або коліматора, калібрування на підставі тестового полігона та самокалібрування. Перший метод застосовується для дослідження оптичної системи камери, її стабільності в часі, зміні параметрів у різних кліматичних умовах та ін. Інші два методи застосовуються для дослідження отриманого камерою зображення. Метод самокалібрування викликаний

У наступній публікації [15] розглянуто основні напрями застосування безпілотних авіаційних систем у цивільній сфері, концепції створення й організації безпілотних авіаційних комплексів залежно від орієнтованості на завдання. Показано можливості використання авіаконструкторського й авіапромислового потенціалу для проектування, виробництва та експлуатації безпілотних авіаційних систем із подальшою інтеграцією в повітряний простір.

У цій публікації [16] проведено аналіз технічних характеристик існуючих типів БПЛА для виконання авіаційних робіт з патрулювання, а саме двох надлегких літаків та двох гелікоптерів, а також альтернативних систем на основі безпілотних літальних апаратів. Крім цього розглянуті особливості функціонування даних систем, було визначено їх висотні та рейсові продуктивності та побудовані порівняльні діаграми, що відображають переваги БЛА над іншими ПС при виконанні авіаційних робіт з патрулювання.

## Розділ 2. Теоретичні засади, експлуатації БПЛА

### 2.1. Загальні поняття про БПЛА

#### 2.1.1 Основні поняття БПЛА

Безпілотний літальний апарат (БПЛА або БЛА) - в загальному випадку це літальний апарат без екіпажа на борту [17].

Поняття літальний апарат включає велике число типів, у кожного з яких є свій безпілотний аналог. У пресі, коли йдеться про різкий сплеск інтересу до безпілотників і в цьому матеріалі під визначення БПЛА потрапляє вужче поняття. А саме: літальний апарат без екіпажа на борту, що використовує аеродинамічний принцип створення підйімальної сили за допомогою фіксованого або крила (Таблиця № 2.1) БПЛА літакового і вертолітного типу, що обертається, оснащений двигуном і такий, що має корисне навантаження і тривалість польоту, достатні для виконання спеціальних завдань.

Таблиця № 2.1. Типи безпілотних літальних апаратів.

		Аеродинамічні			Реактивні
		Гнучке крило	Фіксоване крило	Крутяшчийся крило	
безмоторні	Аеростати	Повітряні змії і аналоги безмоторних апаратів надлегкої авіації (параплани, дельтаплани і ін.)	Планери		
моторні	Дирижаблі	Аналоги моторних апаратів надлегкої авіації (параплани дельтаплани та ін.)	БПЛА літакового типу	БПЛА вертолітного типу	Космічні реактивні апарати

Пріоритет БПЛА літакового і вертолітного типів над іншими можна проілюструвати наступною діаграмою:

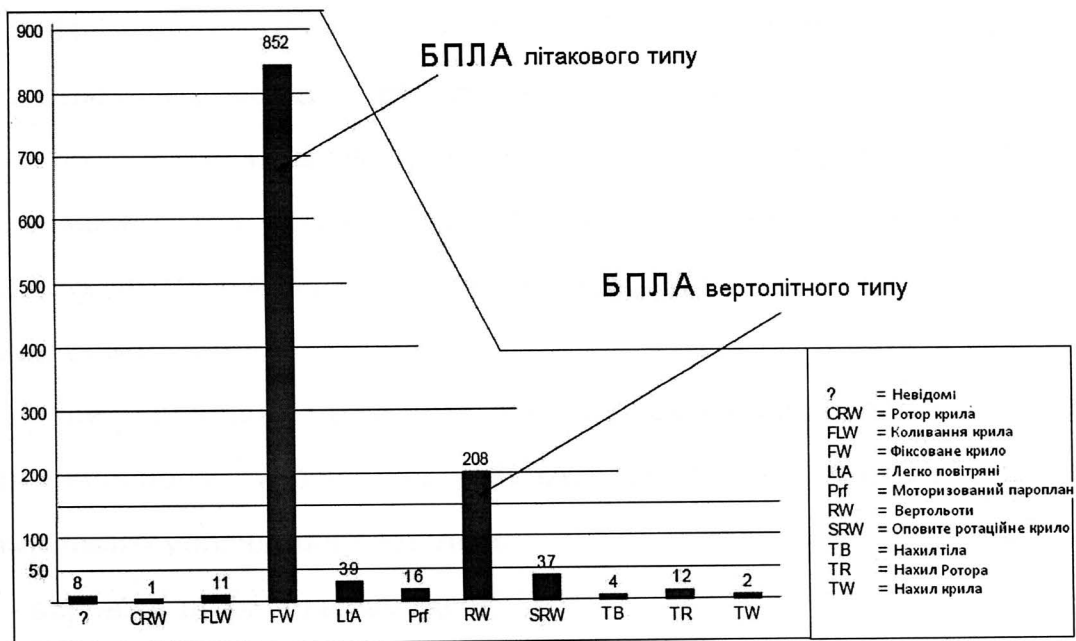


Рис. 2.1. Діаграма співвідношення числа БПЛА літакового і вертолітного типів до усіх інших (за даними UVS International).

## 2.1.2 Управління БПЛА

Для ще точнішого визначення цих БПЛА, які розглядатимуться нижче, необхідно детальніше зупинитися на такій важливій характеристиці як спосіб управління БПЛА.

Існують наступні способи:

1) Ручне управління оператором (чи дистанційне пілотування) з дистанційного пульта управління в межах оптичного спостереження або за видовою інформацією, що поступає з відеокамери переднього огляду. При такому управлінні оператор передусім вирішує задачу пілотування: підтримка потрібного курсу, висоти і так далі.

2) Автоматичне управління забезпечує можливість повністю автономного польоту БЛА по заданій траєкторії на заданій висоті із заданою швидкістю і стабілізацією кутів орієнтації. Автоматичне управління здійснюється за допомогою бортових програмних пристроїв.



3) Напівавтоматичне управління (чи дистанційне керування) - політ здійснюється автоматично без втручання людини за допомогою автопілота по спочатку заданих параметрам, але при цьому оператор може вносити зміни в маршрут в інтерактивному режимі. Таким чином, оператор має можливість впливати на результат функціонування, не відволікаючись на завдання пілотування.

Ручне управління може бути одним з режимів для БПЛА, а може бути єдиним способом управління. БПЛА, позбавлені яких-небудь засобів автоматичного управління польотом:

- керовані по радіо авіамоделі;
- не можуть розглядатися в якості платформи для виконання серйозних цільових завдань.

Останні два способи нині є найбільш затребуваними з боку експлуатантів безпілотних систем, оскільки пред'являють найменші вимоги до підготовки персоналу і забезпечують безпечну і ефективну експлуатацію систем безпілотних літальних апаратів. Повністю автоматичне управління може бути оптимальним рішенням для завдань аерофотознімання заданої ділянки, коли треба знімати на великому видаленні від місця базування поза контактом з наземною станцією.

В той же час, оскільки за політ відповідає особа, що здійснює запуск, можливість впливати на політ з наземної станції може допомогти уникнути позаштатних ситуацій.

### **2.1.3 Безпілотна авіаційна система (БАС)**

Для виконання спеціальних завдань, зокрема для аерознімання, БПЛА повинен розглядатися в сукупності з його приладовим оснащенням і корисним навантаженням, для чого введений термін безпілотна авіаційна система.



БАС, окрім БПЛА, складається з бортового комплексу управління, корисного навантаження і наземної станції управління.

1. Бортовий комплекс:

1) Інтегрована навігаційна система;

2) Приймач супутникової навігаційної системи;

3) Автопілот. Завдання автопілота:

- пілотування:

- автоматичний політ по заданому маршруту,

- автоматичний зліт і захід на посадку,

- підтримка заданої висоти і швидкості польоту, стабілізація

- кутів орієнтації,

- примусова посадка у разі відмови двигуна або інших серйозних

неполадок,

- програмне управління бортовими системами і корисним

- навантаженням, наприклад стабілізація відеокамери і синхронізація

- за часом і координатам спрацьовування затвора фотоапарата,

- випуск парашута.

4) Накопичувач польотної інформації.

2. До корисного навантаження для завдань аерофотознімання відноситься цифрова камера, як доповнення можуть використовуватися відеокамера, тепловізор, ІК-камера.

3. Функції наземного пункту управління:

1) стеження за польотом;

2) прийом даних;

3) передача команд управління.

#### **2.1.4 Передумови застосування БПЛА для аерознімання**

Передумовами застосування БПЛА в якості нового фотограмметричного інструменту являються недоліки двох традиційних

способів отримання даних ДЗЗ з допомогою космічних супутників (космічне знімання) і повітряних пілотованих апаратів (аерознімання).

Дані супутникового знімання дозволяють отримати знімки з максимальним загально доступним дозволом 0,6 м, що недостатньо для великомасштабного картування. Крім того, не завжди вдається підібрати безхмарні знімки з архіву. У разі знімання під замовлення втрачається оперативність отримання даних. Відносно компактних ділянок оператори і дистриб'ютори часто не проявляють гнучкої цінової політики.

Традиційне аерознімання, яке проводиться за допомогою літаків (Ту-134, Ан-2, Ан-30, Іл-18, Cessna, L-410) або вертольотів (Ми-8Т, Ка-26, AS-350) вимагає високих економічних витрат на обслуговування і заправку, що призводить до підвищення вартості кінцевої продукції.

Застосування стандартних авіаційних комплексів нерентабельне в наступних випадках:

- знімання невеликих об'єктів і малих по площі територій. В цьому випадку економічні і тимчасові витрати на організацію робіт, що доводяться на одиницю знятої площі істотно перевершують аналогічні показники при зніманні великих площ (тим більше для об'єктів, значно віддалених від аеродрому);

- При необхідності проведення регулярного знімання в цілях моніторингу протяжних об'єктів: трубопроводи, транспортні магістралі.

Отже, плюсами застосування БПЛА є:

1. Рентабельність

2. Можливість знімання з невеликих висот і поблизу об'єктів.

Отримання знімків високого дозволу.

3. Оперативність отримання знімків.

4. Можливість застосування в зонах надзвичайних ситуацій без ризику для життя і здоров'я пілотів.

Варто відмітити, що технологія аерознімання з БПЛА значною мірою відпрацьована. У теперішній час велика частина існуючих і експлуатованих

БПЛА призначені для повітряної розвідки і спостереження, які здійснюються за допомогою фото - і відеознімання.

### **2.1.5 Фактори, що стримують розвиток ринку**

1. На сьогодні розвиток ринку цивільних БПЛА, у тому числі і для потреб аерознімання, гальмується відсутністю нормативно-правової бази для інтеграції БПЛА в єдиний повітряний простір. Ця проблема не розв'язана повністю ні в одній країні світу. У Росії доки зроблені тільки перші кроки в цьому напрямі. З 1 листопада 2010 року набули чинності нові Федеральні правила використання повітряного простору Російській Федерації. Уперше в цей документ включено визначення безпілотного літального апарату, а також введені положення відносно порядку використання безпілотного літального апарату в повітряному просторі. Проте цей документ має бути доповнений поруч супутніх документів, що містять детальні правила і інструкції. Поки що, не чекаючи створення нормативно-правової бази, безпілотні системи, закупаються структури, що мають особливі повноваження (прикордонники, поліція, МНС). Нині легальні запуски БПЛА в комерційних цілях здійснюються на основі дозволу, технологія отримання якого відпрацьована компаніями-постачальниками БПЛА. При цьому відповідальність за політ лежить на операторові, який здійснює запуск.

2. Підвищена аварійність БПЛА. На сьогодні БПЛА не забезпечені системою розпізнавання перешкод і відходу від зіткнень, крім того, багато моделей оснащені не цілком досконалими автопілотами (для здешевлення вартості і зменшення ваги бортового устаткування). Ризик втрати апарату і устаткування призводить до того, що багато компанії можуть вважати за краще купувати не БПЛА, а льотний годинник у організацій, які б спеціалізувалися на безпілотних запусках.

3. Не врегульовані до кінця питання сертифікації, страхування, реєстрації.

### 2.1.6 Огляд моделей БПЛА, розроблених в цілях аерознімання

Виходячи з наведеного вище, можна сформулювати ряд ознак для визначення аерознімачів БПЛА.

1. Тип конструкції: БПЛА літакового або вертолітного типу.

2. Спосіб управління: автоматичний або напівавтоматичний.

3. БПЛА для аерознімання в цілях картографування повинен мати на своєму борту повноцінний автопілот, здатний витримувати параметри знімання (маршрут, кути нахилу фотоапарата, відсоток подовжнього і поперечного перекриття, висоту і так далі) навіть при малій масі апарату в широкому діапазоні метеоумов.

2. Корисне навантаження: відкалібрована цифрова автоматична фотокамера (можливо в якості доповнення відеокамера, тепловізор і ІК-камера), відсутність зайвого цільового навантаження, необхідного для військових безпілотників.

3. На сьогодні це мають бути моделі, що літають на малих висотах (у класі повітряного простору G з висотою до 4,5 км в ненаселених територіях, в межах якого планується ввести повідомний порядок польотів для малої і безпілотної авіації). Отримання дозволу на польоти в класах A і Z доки можливо тільки військовими.

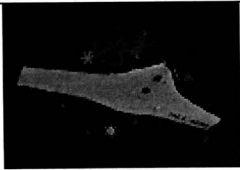


4. Комерційно доступні - експериментальні польоти, що витримали, і що поступили в серійне виробництво.

5. За допомогою моделі виконані фотограмметричні проекти, на які є посилання на сайті виробника, або по матеріалах проектів випущені статті. На сайті компанії є вказівка, що головним або одним з призначень є аерофотознімання.

#### 2.1.6.1 Вітчизняні моделі БПЛА

У таблиці 2.2 детально розглянуті три моделі БПЛА вітчизняного виробництва розроблені спеціально для аерознімання: ZALA 421-Ф, Птеро-Е4 і Дозор-50. Ці моделі задовільняють вище переліченим ознакам і активно застосовуються на практиці. Російські експлуатанти БПЛА вважають за краще закуповувати вітчизняні моделі, оскільки ця техніка вимагає високого рівня підтримки (тестування перед купівлею, навчання роботі з БПЛА персоналу) і оперативного сервісу (ремонт, зап. частини). Крім того, ввезення імпортованих БПЛА зв'язаний з митним клопотом і отриманням дозволів (техніка потенційно може бути використана у військових цілях).

Таблиця 2.2. Вітчизняні БПЛА, розроблені спеціально для аерофотознімання

ZALA 421-Ф	Птеро-Е4	Дозор-50
		
"Безпілотні системи ЗАЛУ АЕРО"(на міжнародному ринку A - LevelAerosystems) Росія, Іжевськ <a href="http://zala.aero">http://zala.aero</a>	"АФМ-Серверс", Росія, Москва <a href="http://www.ptero.ru">www.ptero.ru</a>	ЗАТ "Транзас", Росія, Санкт-Петербург <a href="http://avia.transas.com">http://avia.transas.com</a>
Відповідаючи на потреби ринку аерофотознімання інженери компанії розробили спеціальний комплекс ZALA 421-04Ф. Комплекс розроблений на базі серійного безпілотного літака ZALA 421-04 спеціально для вирішення завдань аерофотознімання.	Комплекс Птеро на базі БЛА Птеро Е призначений для проведення аерофотознімання вдень і вночі в повністю автоматичному режимі, має як аварійне, так і про-профілактичного застосування. Призначений для рішення завдань: <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Оперативною і систематичною дистанційної діагностики протяжних і площадкових об'єктів;</li> <li><input type="checkbox"/> Картографування, паспортизації.</li> </ul>	БЛА "Дозор-50"(раніше відомий як проект "Дозор-2") є компактною безпілотною авіаційною платформою для проведення різних видів авіаційного моніторингу як із стандартним цільовим навантаженням, так і з апаратурою замовника. БЛА "Дозор-50" з цифровою фотокамерою є ідеальне рішення для виконання робіт аерофотознімань в якості постачальника первинною фотографічною інформації.

4,1	9,5	32
4,5	20	50
1,6	3,03	4
Електричний двигун	Вентильний електродвигун	Бензиновий двигун ДВС 3W - 106

### 2.1.6.2 Зарубіжні розробки БПЛА

У таблиці 2.3 приведені деякі зарубіжні моделі БПЛА, призначені для аерофотознімання. Моделі були відібрані зі списку UVS International і задовольняють вище переліченим ознакам.

На сьогодні БПЛА для аерознімання - це в основному легкі апарати з класів "мікро" до 5 кг і "міні" до 30 кг.

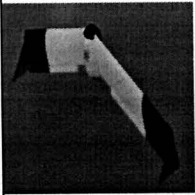



Результати аерознімання з БПЛА можуть застосовуватися в різних областях, таких як рекламному зніманні об'єктів нерухомості, різний моніторинг (екологічний, сільськогосподарський) і т.д.

Виконання аерознімання з метою професійного картографування пред'являє підвищені вимоги до вихідних даних, а саме до витримки геометричних параметрів знімання. Невеликі БПЛА економічні в експлуатації і портативні, проте менш стабільні з цієї точки зору. Як наслідок, блоки знімків, отримані з БПЛА, що володіють відмінною детальністю, яскравістю і контрастом можуть мати низьку фотограмметричну якість з точки зору традиційних фотограмметричних пакетів.



Широке застосування безпілотників для професійного картографічного аерознімання можливо при консолідації зусиль як виробників БПЛА (у тому числі виробників повноцінного бортового устаткування), так і розробників професійного фотограмметричного програмного забезпечення. З одного боку повинно підвищуватися якість знімання, з іншого боку програмні пакети мають бути допрацьовані у бік зниження вимог до вхідних даних у разі роботи зі знімками, отриманими з БПЛА.



Таблиця 2.3. Зарубіжні розробки БПЛА

Виробник	Назва моделі	Фото	Розмах Крил	Маса, кг	Робоча висота, м	Тип двигуна	Інформація
SmartPlanes AB, Швеція <a href="http://www.smartplanes.se">www.smartplanes.se</a>	SmartOne— Personal Aerial Mapping System Літак, побудований для аерофотознімання великих територій.		1,2	1,1 (МВМ)	200	Елек	<a href="http://www.smartplanes.se/cate-gory/proje-cts/">http://www.smartplanes.se/cate-gory/proje-cts/</a>
GatewingNV, Бельгія <a href="http://www.gatewing.com">www.gatewing.com</a>	Gatewing X100 Модел ь розроблена саме для аерофотознімання і презентована на Інтергео в Кельні, 2010.		1	1,9	150	Елек	<a href="http://www.giminternational.com/news/id5349-accessful_Photography_Trial_with_Unmanned_Aerial_Vehicle.html">http://www.giminternational.com/news/id5349-accessful_Photography_Trial_with_Unmanned_Aerial_Vehicle.html</a>
СторСам, Канада <a href="http://storcam.com/">http://storcam.com/</a>	СторСам Призначений для проведення аерофотознімання високого розділення і моніторингу лінійних і площадкових територій.		25	3 (МВМ)	200-600	Елек	<a href="http://www.netstyle.kz/index.php?p=data&amp;lang_id=1&amp;id=24&amp;lv=2">http://www.netstyle.kz/index.php?p=data&amp;lang_id=1&amp;id=24&amp;lv=2</a>
С-ASTRAL d.o.o., Словенія <a href="http://c-astral.com">http://c-astral.com</a>	Врапог Призначений для аерофотознімання і моніторингу		2,3	3,6	300	Елек	



<p>Norut (North Research Institute), Норвегія  <a href="http://uas.norut.no">http://uas.norut.no</a></p>	<p>СуюWing          Модель спеціально розроблена для застосування в умовах крайньої півночі з низькими температурами і вітрами з метою моніторингу і картирования снігових покривів і берегової лінії Норвегії.</p>		<p>3,8</p>	<p>30</p>	<p>250</p>	<p>Бенз</p>	<p><a href="http://uas.norut.no/UAV_Remote_Sensing/Projects.html">http://uas.norut.no/UAV_Remote_Sensing/Projects.html</a></p>
<p>Geosopter B.V., Нідерланди  <a href="http://www.geosopter.nl">www.geosopter.nl</a></p>	<p>Geosopter          БАС вертолітного типу для цивільного застосування в цілях моніторингу надзвичайних ситуацій, а також для застосування в цілях фотограмметрії.</p>		<p>2,8</p>	<p>3,5</p>	<p>900</p>	<p>Бенз</p>	<p><a href="http://www.geosopter.nl/docu/ments/120_Geosopter.pdf">http://www.geosopter.nl/docu/ments/120_Geosopter.pdf</a></p>

Детальний аналіз проблем, що виникають при фотограмметричній обробці даних з БПЛА рекомендації по використуваних камерах і засобах позиціонування, особливостях фотограмметричної обробки цих даних, приклади отримання кінцевих продуктів картографічної якості в ЦФС.

## **2.2 Застосування БПЛА в цілях аерофотознімання**

### **2.2.1 Особливості даних знімання з з БПЛА**

Аерознімання з БПЛА принципово не відрізняється від знімання з великих літаків але має певні особливості, які ми далі розглянемо [18]. Політ БПЛА, як правило, здійснюється з крейсерською швидкістю 70-110 км/год(20-30 м/с) в діапазоні висот 300-1500 м. Для знімання зазвичай використовуються неметричні побутові камери з розміром матриці 10-20 мегапікселів. Фокусна відстань камер зазвичай складає близько 50 мм (у 35 мм еквіваленті) що відповідає розміру пікселя на місцевості (GSD) від 7 до 35 см.

Часто знімки з БПЛА обробляються простими нестрогими методами (афінне перетворення знімків на площину). В результаті, користувач отримує накидні монтажні, які окрім низької точності можуть утримувати розриви контурів на стиках сусідніх знімків.

При розгляді особливостей знімання з БПЛА і складанні рекомендацій по її проведенню із строгої фотограмметричної обробки даних, в результаті якої можна чекати точність отримуваних результатів (як правило, ортофото-мозайки) порядку одного GSD. При значеннях параметрів знімання вказаних вище, результати відповідають по точності орто-планам масштабів від 1: 500 до 1: 2000 залежно від висоти знімання.

Для строгої фотограмметричної обробки даних аерознімання і отримання максимально точних результатів необхідно, щоб знімки в одному маршруті мали потрібне перекриття, а перекриття між знімками сусідніх

маршрутів при площадковому зніманні складало не менше 20%. На практиці, при зніманні з БПЛА ці параметри витримуються далеко не завжди. Політ БПЛА не стійкий, на нього впливають пориви вітру, турбулентність і політ БПЛА не стійкий, на нього впливають пориви вітру, турбулентність і інші обурюючі чинники. Якщо знімання із звичайних літаків планують з перекриттям уздовж маршруту 60%, а між маршрутами 20-30%, то проектувати знімання БПЛА слід з перекриттям уздовж маршрутів 80%, а між маршрутами - 40%, щоб, по можливості, виключити розриви у фото-тріангуляційному блоці.

На БПЛА, як правило, встановлюються цифрові камери Canon. Це пов'язано з легкістю електронного управління камерами цієї фірми. Використання побутових камер має як переваги (невисока вартість, легкість заміни при "жорсткій посадці"), так і недоліки.

Основним недоліком є те, що побутові камери спочатку не відкалібровані - невідомі їх точні фокусні відстані, головна точка, дисторсія. При цьому нелінійні спотворення оптики (дисторсія), допустимі при побутовому зніманні, можуть складати до декількох десятків пікселів, що на порядок знижує точність результатів обробки. Проте, такі камери можуть бути відкалібровані у лабораторних умовах що дозволяє отримувати точність обробки, практично такі ж, як і для професійних малоформатних фотограмметричних камер.

Прийнятніше встановлювати на такі камери об'єктиви з фіксованим фокусним відстанню. При зніманні слід виставляти фокусування н нескінченність і відключати функцію "автофокусу".

Другий недолік використовуваних на БПЛА камер відноситься конкретно до камер Canon— в них, на відміну від професійних фотограмметричних камер, використовується щілинний затвор, внаслідок чого експозиція різних частин зображення робиться в різні моменти часу і відповідає різним положенням носія. Так, якщо витримка при зніманні складає 1/250 с, то при швидкості БПЛА в 20 м/с зміщення камери при

зніманні кадру складає 8 см, що порівнянно з дозволом зніманні на малих висотах і викликає додаткову систематичну помилку в знімку. Такі помилки можуть накопичуватися в процесі фотограмметричного згущування (зрівнюванні) при зніманні протяжних територій. Для того, щоб зменшити вплив цього ефекту і для ліквідації "смаза" знімків, слід здійснювати знімання з БПЛА з найменшими можливими витримками (не довше 1/250 с, максимальна витримка залежить від висоти). Частково проблему щілинного затвора могли б вирішити камери з центральним затвором, що мають порівнянне з камерами Canon якість об'єктиву і матриць. Проте, щоб уникнути "смаза" витримки все одно слід обмежувати.

Знімки цифрових камер, як любительських, так і професійних, мають прямокутну форму. Вигідніше розташовувати камеру так, щоб довга сторона знімка розташовувалася уперек польоту - це дозволяє знімати велику площу при тій же довжині маршруту. Знімання слід робити з максимальною якістю - з найменшим jpeg стискуванням або в RAW, якщо останнє можливо.

Сучасний рівень розвитку навігаційних засобів дозволяє робити виміри елементів зовнішнього орієнтування (ЭВО) безпосередньо в процесі знімання. Типові точність таких вимірів досягає одиниць сантиметрів по просторових координатах X, Y і Z і 0.005 градуса по кутах крену, тангажа і рискання для найточніших систем Applanix POS AV, що встановлюються на великі літаки. Часто цього вистачає щоб здійснювати обробку без використання опорних точок. У будь-якому разі, наявність таких даних значно спрощує обробку і дозволяє виконувати деякі етапи обробки повністю в автоматичному режимі. Сучасні досягнення мікроелектроніки дозволяють зібрати механічний (точніше MEMS - електронно-механічний) гіроскоп в корпусі розміром в декілька мм, вартістю від 250 \$. Такі гіроскопи не дають точність професійних, мають значний відхід (порядку одного градуса за годину) при експлуатації, але істотно спрощують подальшу обробку даних. При типових постачаннях Птеро Е4, Дозор 50 на борт можуть бути встановлені такі малогабаритні інерціальні системи – IMU (на Дозор- 50

ставиться IMU розробки ТОВ "Транзас Телематика") і високоточні дводіапазонні GPS (TOPCON euro 160 на Птеро-Е4, вбудований ГЛОНАСС/GPS приймач на Дозор- 50). Паспортна точність цих GPS приладів складає  $10 \text{ мм} + 1,5 \text{ мм} \times B$  ( $B$  - видалення до базової станції в км) в плані і  $20 \text{ мм} + 1,5 \text{ мм} \times B$  по висоті. На жаль, зазвичай на борт БПЛА встановлюють більше дешеві GPS приймачі і не встановлюють IMU датчики. Дані про центри проекції знімків в телеметричній інформації знімаються через протокол NMEA і мають в такому випадку точність до 20-30 м, а кути тангажа, крену і рискання обчислюються через вектор швидкості GPS вимірів. Точність кута рискання в такій телеметричній інформації невисока і може перевищувати 10 градусів, а самі значення містять систематичні помилки, що ускладнює подальшу обробку даних. Якщо при зніманні використовувався дводіапазонний GPS приймач в диференціальному режимі (чи PPP обробка даних GPS), то потрібно мінімальне число опорних точок для отримання найбільш точних результатів обробки, зазвичай достатня 1-2 точки на 100 знімків, у ряді випадків обробку можна проводити без опорних точок. У разі, коли неточних центрів проекції, вимоги до планово-висотного обґрунтування стандартні: однапланово-висотна точка на 6-10 базисів знімання.

### **2.2.2 Специфіка фотограмметричної обробки даних аерознімання з БПЛА**

Обробка аерознімання з БПЛА в цифрових фотограмметричних системах (ЦФС) в цілому аналогічна обробці аерофотознімання з великих літаків. Проте особливості даних з борту БПЛА часто не дозволяють використати автоматичні процедури стандартних пакетів - частина операцій (наприклад, розставляння зв'язуючих точок) доводиться робити в ручному режимі. Нижче розглядаються особливості обробки аерознімання з БПЛА в ЦФС PHOTOMOD 5.2. Саме у цій версії PHOTOMOD введені спеціальні

функції для обробки таких даних, що істотно спрощують і що автоматизують отримання кінцевої продукції.

Як і при обробці інших даних, спочатку в ЦФС створюється проект, в нього вводяться знімки і телеметрична інформація. На підставі даних про центри проєкції і кути робиться створення накидного монтажу, розбиття по маршрутах. Знімки, що потрапили на розвороти БПЛА, віддаляються в ручному режимі.

Автоматичний пошук зв'язуючих точок в таких випадках ускладнений або вимагає значного часу роботи комп'ютера. Для уточнення накидного монтажу в таких випадках в ЦФС PHOTOMOD використовується автоматичний накидний монтаж, який уточнює взаємне розташування знімків.

Знімання з борту БПЛА здійснюється зі збільшеними перекриттями. Нестабільність польоту літального апарату іноді може привести до дуже великим перекриттям між сусідніми знінками, що викликає складнощі в стандартних фотограмметричних пакетах.

Різні кути і висоти знімання сусідніх кадрів призводять до збільшення зони пошуку єднальних точок і збільшенню числа грубих помилок в порівнянні із стандартними аеропольотами. Після створення уточненого накидного монтажу виконується процедура автоматичного виміру єднальних точок. На перших проходах накидний монтаж знову уточнюється:

На наступних проходах робиться вимір зв'язуючих точок. Декілька проходів потрібні у разі, коли телеметрична інформація не містить усіх кутів орієнтування, або кути відомі з точністю 10-30 градусів. Якщо ж телеметрична інформація містить кутові елементи орієнтування з точністю в декілька одиниць градуса, то досить і одного проходу - надійність автоматичних вимірів в цьому випадку підвищується. Для боротьби з можливими грубими помилками при автоматичних вимірах в PHOTOMOD 5.2 введено поняття довірчої групи зв'язуючих точок, коли програма шукає найбільше число зв'язуючих точок для стереопар з найменшим поперечним



паралаксом, інші зв'язуючі точки, що не потрапили в групу вважаються помилковими.

Після виміру зв'язуючих і опорних точок робиться процедура зрівнювання. У ЦФС PHOTOMOD можна використати початкове наближення для алгоритму зрівнювання як за уточненою схемою блоку, так і побудоване іншими методами. Починаючи з версії 5.2 для зрівнювання аерознімання з БПЛА рекомендується використати новий режим – зрівнювання 3D. При зрівнюванні в PHOTOMOD і достатньому числі опорних точок можна використати самокалібрування. Це дає можливість використання тих, що не калібрують ся камер. Очікувана точність вихідних результатів при строгій фотограмметричній обробці складає приблизно 1-2 GSD в плані і 2-4 GSD по висоті. Після фотограмметричного зрівнювання, результати якого і визначають точність вихідних продуктів, робиться побудова рельєфу (ЦМР) в автоматичному режимі. При необхідності, після зрівнювання може бути зроблена стереовекторізація - малювання вручному режимі будівель, споруд, мостів, гребель і інших об'єктів. Побудований рельєф використовується для ортотрансформування знімків. На останньому етапі з ортотрансформованих знімків створюється безшовна мозаїка - робиться розрахунок ліній порізів, вирівнювання яркостей, стикування контурних об'єктів. Самокалібрування можна включати і за відсутності опорних точок, правда, в цьому випадку можна розрахувати тільки коефіцієнти  $k_1$ ,  $k_2$  радіальною дисторсій. При використанні камер з щілинним затвором можна додатково включити розрахунок афінних спотворень. У випадку стабільності кутів орієнтування при зніманні таке самокалібрування може підвищити точність зрівнювання.

Якщо використовується камера, що не калібрується, і відсутні опорні точки, то можна говорити про точність в декілька десятків метрів, яка визначатиметься точністю GPS центрів проєкцій і дисторсій об'єктиву (до декількох десятків пікселів). У таких випадках можна застосовувати спрощену автоматизовану послідовність обробки. Безшовний накидний

монтаж вказаної точності при цьому виходить за рахунок трансформації початкових знімків в модулі PHOTOMOD GeoMosaic. В цьому випадку використовуються прості методи трансформації, що не враховують рельєф місцевості а стикування контурів здійснюється за рахунок автоматично єднальних, що розраховуються точок уподовж автоматично побудованих ліній порізів.



## **Розділ 3. Розробка технологічної схеми виконання аерознімальних робіт**

### **3.1 Попередня підготовка до аерознімального польоту**

З отриманням завдання на аерознімання, аерознімальник разом з командою екіпажу готуються до польотів у відповідності з діючими настановами. Крім того, проводиться спеціальна підготовка до аерознімального польоту, яка підрозділяється на попередню і передполітну. [19]

У попередню підготовку входить: вивчення завдання і виконання необхідних розрахунків; забезпечення польоту та робочих карт та інших матеріалів у відповідності з завданням та розрахунками; перевірка стану аерознімального обладнання та спеціальних приладів після перельоту до місця базування і підготовки їх до майбутньої роботи; пробно-тренувальних польотів, вивчення завдання і виконання необхідних аерознімальних розрахунків.

При вивченні завдання необхідно детально ознайомитися:

- 1) з географічними умовами району аерознімання, характером рельєфу, коливаннями його в межах об'єкту знімання і окремих ділянок аерознімання, з максимальними і мінімальними висотами;
- 2) з гідрографією району аерознімання, періодом розливу річок і спаду води, з наявністю штучних гідротехнічних споруд, із станом заболоченості;
- 3) з кліматичними і метеорологічними умовами району.

Після вивчення перерахованих умов району робіт необхідно ретельно ознайомитись з технічними умовами і особливими потребами до аерознімання по кожній ділянці аерознімання, вказаного у завданні, часом виконання і послідовність робіт. В технічних умовах необхідно виконати перерахунок головних аерознімальних елементів.

Крім того, на кожну декаду розраховується час початку і кінця аерознімання. В звичайних умовах повітряне знімання виконується при висоті Сонця над горизонтом не менше  $20^\circ$ . Час початку і кінця повітряного знімання розраховується за емпіричною формулою [19]

$$t_{\text{всх}} = \left( \frac{\varphi^\circ}{20} + 4 \right)^2. \quad (3.1)$$

де  $t_{\text{всх}}$  - час у хвилинах від сходу Сонця до висоти над горизонтом, рівне,

$\varphi^\circ$  - широта місцевості,

$T_{H_C}$  - початок аерознімання; визначається як час сходу Сонця  $T_{\text{всх}}$  плюс інтервал часу  $t_{\text{всх}}$ .

$$T_{H_C} = T_{\text{всх}} + t_{\text{всх}}. \quad (3.2)$$

Де: час злету  $T_{\text{чз}}$  визначається як час початку аерознімання різниці часу, витрачений на політ від аеродрома до ділянки аерознімка,  $t_{\text{л}}$  і різниця часу  $t_{\text{в}}$ , необхідно для вимірів.

$$T_{\text{чз}} = T_{H_C} - t_{\text{л}} - t_{\text{в}} = T_{\text{всх}} + t_{\text{всх}} - t_{\text{л}} - t_{\text{в}} \quad (3.3)$$

При розрахунку часу  $t_{\text{всх}}$  необхідно мати на увазі, що в рівнинній місцевості, (тундри, степів, пустинь), відсутність падаючих тіней дозволяється починати повітряне знімання Сонця над горизонтом під кутом не менше  $10^\circ$ . Особливо це важливо при аерознімання в північних районах, де кількість знімальних днів дуже мало.

### 3.2 Лігальні і робочі карти та їх підготування

Для аерознімання аерознімальник повинен мати наступні топографічні карти:

1. Політну карту масштабу 1: 10 000, яка використовується для загального орієнтування при долітанні до ділянок аерознімання.
2. Робочі карти, масштаб яких повинен бути в 5-7 разів дрібніший масштабу аерознімання, виконується під час роботи на ділянках аерознімання для визначення границь і прокладання аерознімальних маршрутів.

Найбільш зручніше для аерознімання використовувати карту такого масштабу, на яких відстань між аерознімальними маршрутами не менше 1 і не більше 2 см.

Відповідно з встановленими діючими нормами на загальній польотній карті наносять мінімум спеціальних умов позначень. Обов'язково повинні бути прокладені маршрути на ділянки аерознімань.

Робоча карта використовується у процесі аерознімання для детального орієнтування, точного визначенні границь ділянки аерознімання, контроль за прокладаючими аерознімальними маршрутами і для створення самого прокладання [19].

Не дивлячись на умови завдання, на робочу карту у всіх випадках накладають різними кольорами: границі ділянок аерознімка, лінії вісі аерознімальних маршрутів на розраховану відстань між ними, лінії включення і виключення аерокамери з урахуванням позарамкового забезпечення двох базисів знімання  $B_x$ .

Крім того, на робочу карту для кожної ділянки аерознімання необхідно записати головні розрахункові дані.

$$H_{\phi}, B_x, B_y, \Delta B_y, \lambda_{x,y}, \Delta \lambda_{\text{пред}}, \Delta_m, t_{\text{фти}}. \quad (3.4)$$

Ці розрахункові дані записуються на полях або у зручному місці карти, але краще на окремому аркуші паперу прикріпити до карти.

### 3.3 Аерознімальний розрахунок

В завданні на аерознімання вказують:  $m_c, P_x, P_y$  тип АЗК і його  $f_k$  також тип літака.

Знаючи ці дані, можна попередньо розрахувати всі основні елементи аерознімання, не залежними від атмосферних умов польоту, від швидкості і напрямку вітру, температури і тиску на висоті  $H_{\phi}$  (від  $U_s, H_B, t_H, P_H$ ). Ці розрахунки зручно виконуються по окремих елементах вказаній послідовності за відомими формулами.

Спочатку визначають висоту знімання відносно середньої горизонтальної площини участку аерознімання

$$H_{\phi} = m_c \cdot f_k \quad (3.5)$$

після того визначають середню горизонтальну площину цього участка відносно рівня моря

$$h_{\phi} = \frac{h_{\max} + h_{\min}}{2} \quad (3.6)$$

Для гірської місцевості середню горизонтальну площину ділянки аерознімання розраховують по середнім висотам аерознімальних трапецій  $h_T$

, вхідних у даній ділянці,  $h_{\phi} = \frac{\sum h_i}{n_i}$ , після цього розраховують висоту польоту відповідно аеродрому (поправка за рельєфом).

$$H_o = H_{\phi} + h_{\phi} - h_A = H_{\phi} + (\pm \Delta h_{\phi}) \quad (3.7)$$

Де  $\Delta h_{\phi} = h_{\phi} - h_A$  - висота ділянки щодо аеродрому (поправка за рельєфом).

При аерозніманні у великих масштабах і на швидкісних літаках вираховують найменшу допустиму висоту повітряного знімання за формулами

$$H_{\min} = \frac{W_{\max} \cdot t \cdot f_K}{S_{\max}} + \Delta h \quad (3.8)$$

$$\text{де } \Delta h = h_{\max} - h_{\phi} \quad (3.9)$$

Крім відносної висоти польоту  $H_o$ , визначають і абсолютну висоту повітряного знімання  $H_{\text{абс}} = H_{\phi} + h_{\phi}$

Абсолютна висота повітряного знімання вказується у заявці на аерознімальний політ.

Розрахунок поздовжнього перекриття 80 і 90% може бути заданою при виконанні аерознімання у масштабі не більше 1:25 000.

Після визначення розрахункових  $P_x$  і  $P_y$  визначають базис аерознімків: поздовжній  $b_x$  і поперечний  $b_y$  за формулами

$$b_x = \frac{l_x(100 - P_x)}{100} \text{ см}, \quad b_y = \frac{l_y(100 - P_y)}{100} \text{ см.} \quad (3.10)$$

Базис повітряного знімання на місцевості визначають за формулою

$$B_{x,y} = b_{x,y} \cdot m_c \quad (3.11)$$

Вертикальні кути візування для цих базисів визначаються за формулами

$$\operatorname{tg} \lambda_x = \frac{B_x}{H_\phi}; \quad \operatorname{tg} \lambda_y = \frac{B_y}{H_\phi}. \quad (3.12)$$

Кількість аерознімків в одному аерознімальному маршруті визначаються за формулою

$$n_{cn} = \frac{L_x}{B_x} + 3. \quad (3.13)$$

де  $n_{cn}$  – кількість знімків,

$L_x$  – довжина аерознімального маршрута (вимірюється масштабом лінійкою на робочій карті),

3 – позарамкове забезпечення півтори знімка на початку кожного маршруту і в кінці.

Кількість аерознімальних маршрутів в одній ділянці аерознімання визначаються за формулою

$$n_m = \frac{L_y}{B_y} + 1, \quad (3.14)$$

де  $L_y$  – ширина ділянки аерознімку, 1 – забезпечення північної і південної границі ділянки по 0,5 маршруту.

Кількість аерознімків у ділянці визначаються за формулою

$$N_{з,уч} = K_c \cdot n_{сн} \cdot n_m \quad (3.15)$$

де  $K_c$  – коефіцієнт збільшення кількості аерознімків за рахунок різних похибок: неточне літакоуправління і управління аерообладнання;

$K_c$  приймається для рівнинної місцевості 1,1, а для гірських місцевостей 1,15. Загальна кількість аерознімків в заданій  $N_z$  визначене сумування аерознімків всіх ділянок аерознімання.

$$N_z = \sum N_{уч} \quad (3.16)$$

### 3.4 Підготовка та проведення аерознімального польоту

Підготовка проводиться в день польоту і розподіляється на два види:

- 1) загальну передполітну підготовку для любого польоту у відповідному з потребою діючих наставань;
- 2) спеціальну підготовку до аерознімального польоту, яка зводиться до наступної роботи: на основі отриманих даних погоди на ділянках аерознімання і прогнозування погоди метеорологічних станцій приймається рішення на політ;. Штурман-аерознімальник відбирає робочі карти на вибрані ділянки аерознімка, перевіряє необхідні попередні розрахунки і вивчає дану ділянку; відбирає поблизу початку першого аерознімального маршруту місця для аеронавігаційних вимірів. Докладне вивчення ділянки аерознімання, безсумнівно, полегшує штурману-аерознімальнику ведення детального орієнтування при прокладанні аерознімальних маршрутів. Оскільки проміри аеронавігаційних елементів виробляються на двох протилежних коротких маршрутах, то ці маршрути по можливості потрібно



вибирати на рівні, близьким до середньої горизонтальної площини ділянки аерознімання.

Далі потрібно виконати розрахунок визначення сходу Сонця, спочатку аерознімання і зльоту, після чого перевіряють стан всього комплексу аерознімального обладнання і готують його до роботи.

При перевірці потрібно бути забезпеченим: чистотою об'єктива і аерокамери з зовнішньою і внутрішньою сторін камери, справність затвора; підключення живлення, вимкнення аерокамери, і вироблено 2-3 цикла спрацьовування, щоб впевнитись у правильності роботи цього обладнання. Тільки після ретельної передполітної підготовкою, переконавшись в наявності необхідних картографічних і розрахункових матеріалів, пов'язаних з виконанням майбутнього завдання, а також у справності всього комплексу аерознімального обладнання, можна вважати екіпаж готовий до експлуатації БПЛА.

### **3.5 Аналіз аерознімального польоту**

Після закінчення польової фотограмметричної обробки матеріалів аерознімання керівник польотів проводять аналіз аерознімального польоту.

Мета аналізу - докладно виявити недоліки в організації та виконанні польоту, встановити дійсні причини, що викликали той або інший дефект в роботі, щоб попередити повторення завдання та якість роботи членів екіпажу. До проведення аналізу пілот, штурман - аерознімальник повинні уважно вивчити зауваження знімання і виявити дійсні причини виявлених дефектів.

Якщо з якихось причин польова фотограмметрична обробка матеріалів аерознімання затримується і екіпаж БПЛА позбавлений можливості чергового виконання аерознімання, штурман - аерознімальник зобов'язаний до початку польоту отримати висновок про якість аерознімання за всіма

елементами, ознайомитися з якістю матеріалу, з тим щоб попередити політ на аерознімання з несправним обладнанням або недоброякісними матеріалами.

Не рекомендується також при перших польотах на аерознімання виробляти черговий політ, якщо невідомі результати повітряного знімання попереднього польоту. Всі виявлені дефекти аерознімання повинні, як правило, виправлятися в наступному черговому польоті.

### **3.6 Принципи обробки матеріалів аерознімання**

Задачею обробки матеріалів аерознімання являється сучасного надання повної та достовірної інформації авторизованим споживачам [20]. Тракт проходження даних аерознімання включає збір, прийом або доставку, обробку, дешифрування, документування та розподілення видової інформації. Сучасні системи обробки матеріалів аерознімання створюються виключно на основі цифрових технологій. Впровадження цифрових технологій в обробку матеріалів аерознімання забезпечує підвищення її ефективності, гнучкості і оперативності, істотне збільшення інформативності вихідних документів.

Процес обробки матеріалів аерознімання прийнято ділити на шість основних ступенів:

- 1) відновлення
- 2) попередня обробка
- 3) дешифрування
- 4) фотограмметрична обробка
- 5) аналіз та узагальнення
- 6) документування

Оскільки дані аерознімання надходять від БПЛА в цифровому вигляді, то для них обробки можна безпосередньо використовувати сучасні комп'ютерні технології. Обробка цифрових аерознімання базується на матричних діях з растровими масивами.

Сучасні системи цифрової обробки матеріалів аерознімання являють собою результат розвитку програмних засобів цифрової обробки зображень загального призначення (графічний редактор). Вони працюють з растровою моделлю даних, використовують схожі методи обробки зображень. Однак, слід відзначити і ряд суттєвих відмінностей, пов'язаних зі специфікою цифрових аерознімків:

- це файли дуже великого розміру, для ефективної роботи з якими необхідні спеціальні засоби управління пам'яті обчислювальної системи і особливі формати даних;
- це багатовимірні дані, число і параметри спектральних зон знімання яких не дозволяють трактувати їх як РГБ зображення; крім того, можуть використовуватися ще й інші додаткові виміри;
- цифрові аерознімки потребують попередньої радіометричної корекції, калібруванню й геометричній корекції;
- цифрові аерознімків припускають можливість швидкого переходу від попередньої обробки і тематичного дешифрування до виконання операцій моделювання та просторового аналізу засобами геоінформаційних систем (ГІС).

Основною задачею є відновлення цифрових аерозображень є виправлення одержуваних сирих даних для досягнення об'єктивно правильного зображення земної поверхні. Сирі дані цифрового аерознімання містять цілий ряд випадкових і систематичних спотворень, пов'язаних з фізичними характеристиками датчиків і каналів зв'язку, впливом атмосфери, рухом носія і т.д. Для усунення цих спотворень виконується радіометрична корекція, калібрування та геометрична корекція даних.

Радіометрична корекція усуває систематичні спотворення, внесені датчиками і пристроїв передачі і прийому даних. Крім того, коректується спектральне розподілення електромагнітних сигналів з урахуванням спектрального пропускання атмосфери, оптичної системи і світлофільтрів.

Калібрування полягає в перетворенні реєстрованих безрозмірних цифрових даних в достовірні значення вимірюваної фізичної величини.

Геометрична корекція призначена для виправлення викривлень, спричинених еволюціями носія, рельєфом місцевості і т.д. Цей вид корекції краще інших піддається автоматизації завдяки використанню прецизійного навігаційної інформації. Більш точне трансформування та прив'язка цифрових аерознімків виконується на етапі фотограмметричної обробки по системі опорних точок місцевості.

### **3.6.1 Попередня обробка матеріалів аерознімання**

Основне завдання попередньої обробки - модифікація цифрових аерознімання з метою поліпшення зорового сприйняття або перетворення його у форму, більш зручну для подальшого візуального або комп'ютерного дешифрування.

У відповідності з особливостями організації обробки даних операції цієї групи можна розбити на кілька типів. До першого типу відносяться модифікації значень кожного окремого пікселя, що виконуються, як правило з використанням табличного способу представлення перетворюючої функції. Різні види лінійного і нелінійного контрастування, призначені для поліпшення візуального сприйняття зображень, являються характерними представниками даних перетворень. Наступний тип - це локальні операції, особливістю якого є модифікація значення кожного елемента зображення з використанням значень сусідніх пікселів в деякому обмеженому оточенні. Типовими перетвореннями цієї групи є операції фільтрації зображень. Згладжують або низькочастотні фільтри дозволяють усунути шум, отримати більш однорідні ділянки зображення, придатні для подальшої обробки з метою виявлення тих чи інших об'єктів. Високочастотні фільтри використовуються для виявлення або підкреслення перепадів на зображенні при пошуку меж об'єктів і виявленні різних структур, що характеризуються

зрушеннями або стрибками яскравості. Часто використовуються у гістограмні операції, базуються на статистичних характеристиках всього зображення. Ще один тип операцій попередньої обробки призначений для створення колірних композицій цифрових зображень оптимальних для візуального сприйняття. Ця група перетворень дозволяє формувати кольорові зображення в натуральних і умовних кольорах, що є одним із способів обробки багатозональних цифрових аерознімків.

### **3.6.2 Фотограмметрична обробка матеріалів аерознімання**

Для матеріалів цифрової аерознімання використовуються цифрова фотограмметрична обробка при допомозі спеціальних фотограмметричних програм. Основними завданнями цифрової фотограмметричної обробки є перетворення геометричних характеристик знімків, побудова фото-триангуляції, генерація цифрових моделей рельєфу місцевості, виробництво ротофото-планів, створення топографічної основи різних карт, проективне моделювання. Перетворення геометричних характеристик цифрових зображень включають монтаж зображень з окремих знімків або їх фрагментів, вирізування потрібних фрагментів, масштабування зображень, трансформування знімків до якої-небудь картографічної проекції. У процесі трансформування відбувається перерахунок значень пікселів на нову сітку растра, при цьому форми об'єктів на зображенні в більшій чи меншій мірі змінюються, а рамка знімка із зазвичай прямокутної перетворюється в паралелограмну, трапецієподібну або більш складної форми з криволінійними границями. Найчастіше для спільної обробки матеріалів різних видів аерознімання, а також різночасних знімків однієї і тієї ж території використовується спеціальна проекція, звана цифровим ортопланом і застосовувана у світовій практиці в якості обмінного стандарту.

Фотограмметрична обробка використовує наступні основні операції:

- топографічну прив'язку знімків по навігаційним даними з можливістю нанесення сітки;
- топографічну прив'язку знімків по опорним точкам місцевості з абсолютною точністю до 1-2 проєкцій пікселя;
- трансформування цифрових аерознімків в одну з основних картографічних проєкцій, таких як рівно-кутова проєкція Гауса-Крюгера, пряма рівно-кутова циліндрична проєкція Меркатора, рівно-кутова азимутальна проєкція, рівно-кутова конічна проєкція Ламберта, універсальна поперечна проєкція Меркатора;
- широкоформатний друк трансформованих зображень на принтері в заданому масштабі;
- створення мозаїк знімків, що покривають задану територію, з перетворенням в задану картографічну проєкцію.

Найбільш суворим підходом до фотограмметричної обробки цифрових аерознімків виступає моделювання знімання. в результаті якого відновлюється просторове положення сукупності променів, що сформували знімком. Цей метод передбачає визначення траєкторії носія, орієнтації камери, а також використання елементів внутрішнього орієнтування-геометричної моделі сенсора. Ця модель визначає для кожного детектора лінійки (матриці) ПЗС одиничний спрямовує вектор в деякій системі координат, пов'язаної з камерою, променя, реєстрованого даними детектором. Динамічний характер знімання істотно ускладнює уточнення параметрів цієї моделі по опорним точкам в процесі орієнтування знімка, особливо для знімків високо дозволу. В якості альтернативи суворому підходу до фотограмметричної обробки розглядається метод раціональних функцій, який має Апроксимаційні, а не моделюючий характер. У комплект постачання деяких типів цифрових аерознімальних систем входять попередньо розраховані значення апроксимаційних фотограмметричних коефіцієнтів. Ці значення визначаються за наявними у виробника суворим геометричним моделям сенсорів і результатами експериментальних

траекторних вимірювань. Можливе відновлення апроксимуючих коефіцієнтів по системі наземних опорних точок.



### 3.6.3 Дешифрування матеріалів аерознімання

В залежності від застосовуваних засобів обробки та аналізу аерозображень виділяють наступні методи дешифрування:

- візуальний, в якому інформація, укладена в знімках, витягується і аналізується людиною;
- автоматизований, в якому аналіз цифрових аерозображень виконується спеціалізованими інтерактивними програмами за активної участі оператора;
- автоматичний, при якому дешифрування цілком виконується інтерпретаційними програмами.

В основу комп'ютерного візуального дешифрування покладено нагляд чотиривимірні (дві простягни просторових координати, тимчасова) або п'ятимірних (Додатково розподіл умовних кольорів зображення при багатозональній знімання) масивів даних, що описують потоки випромінювання, відбиті від елементів ландшафту і об'єктів місцевості. Тематична обробка зображення містить у собі логічні і арифметичні операції, сегментацію, класифікацію, лінеаментного аналізу та інші методичні прийоми. Сюди ж слід віднести візуальне дешифрування зображення на моніторі за допомогою стереоефекта. Широкі можливості відкриває автоматична класифікація багатозональних зображень. Класифікація ґрунтується на тому, що різні об'єкти знімання мають розрізняються спектральні сигнатури. Аналіз спектральних сигнатур об'єктів дозволяє структурно-матеріальні комплекси (соціальні, виробничі та військові) і конкретні природні та техногенні об'єкти.

При автоматизованому дешифруванні додатково можливо моделювання полів сигналів на вході приймальної апаратури аерознімальних систем і операції розпізнавання образів. Цей загальний набір прийомів в основному відтворює технологічні операції, сформовані при аналогової обробки матеріалів аерознімання.

Класифікація - це тематична обробка аерозображень, що дозволяє виконувати їх автоматизовану розбивку на однорідні по деякому критерію області (класи об'єктів, сегменти). Що виходить при цьому зображення називається растровим тематичною картою. Оскільки зазвичай виділяють змістовно інтерпретовані класи об'єктів, то класифікацію можна розглядати як процедуру автоматизованого дешифрування цифрових аерознімків. Що виходить при цьому зображення називається растровим тематичною картою. Оскільки зазвичай виділяють змістовно інтерпретовані класи об'єктів, то класифікацію можна розглядати як процедуру автоматизованого дешифрування цифрових аерознімків.

Класифікація найчастіше ґрунтується на статистичному аналізі різних дешифровочних характеристик зображення: просторових, спектральних або тимчасових. До просторовим характеристикам належать форма, тінь, текстура, структура та контекст. Під тимчасовими характеристиками розуміють сезонні і антропогенні зміни земних покривів (особливо рослинності), які, можуть служити індикаторами об'єктів спостереження. Однак припливу вважати, що основну інформацію про природу об'єктів земної поверхні містять їх спектральні сигнатури.

Розрізняють два основних методологічних підходи до проведення класифікації: класифікацію з навчанням і автоматичну класифікацію. У разі класифікації з навчанням завдання полягає у виявленні на зображенні об'єктів уже відомих типів, яке вимагає деяких попередніх знань про досліджуваному районі. Кластеризація - об'єднання елементів зображення в статистично однорідні групи - кластери, наприклад, по близькості їх спектральних сигнатур.

Кластеризація - об'єднання елементів зображення в статистично однорідні групи - кластери, наприклад, по близькості їх спектральних сигнатур.

У ході кластерного аналізу намагаються визначити всі типи зустрічаються об'єктів при деякому рівні узагальнення, а завдання їх смислової інтерпретації вирішується на наступному етапі.

Часто виникає необхідність тематичної корекції результатів класифікації, особливо автоматичної. Для цього виконується цілий набір процедур, званих операціями пост класифікації: злиття чи поділ деяких класів, верифікація та усунення помилкових об'єктів, уточнення кордонів складності об'єктів.

За наявності необхідних вихідних даних обов'язково проводиться аналіз змін об'єктів знімання по серії різночасних знімків. Важливим етапом у процесі класифікації є оцінка точності отриманих результатів, яка може виконуватися як за зовнішніми даними, так і шляхом аналізу і логічного висновку з наявних.

До спеціалізованого військового дешифрування відносяться виявлення і розпізнавання специфічних штучних об'єктів військово-політичного, військового або військово-промислового призначення. Зазвичай такі виявляються по їх характерними особливостями - розпізнавальним ознаками.

### **3.6.4 Документування матеріалів аерознімання**

Проведення автоматизованого тематичного редагування і документування цифрових аерозображень полягає в нанесенні на них найменувань, облікових номерів, назв районів знімання, кодів, умовних позначень і назв об'єктів та їх елементів; заповнення звітних форм і полів легенд; маркування важливих і ландшафтно-утворюючих об'єктів природного та штучного походження (водойм, лісів, сільськогосподарських угідь, промислових зон, житлової забудови і т.д.); формування інформаційних зв'язків і необхідних проміжних масивів перерахування топографічних даних; анотування даних про умови ведення аерознімання: типу і кодового номера носія, дати і часу знімання, параметрів польоту,

відомостей про роботи аерознімальних систем (тип, режим, спектральні зони і умови знімання), встановленні грифа, власниця і рівнів доступу до документації.

Оскільки сучасні ГІС мають набагато потужніші і гнучкі засоби редагування, ніж програмний пакет цифрової обробки і дешифрування растрових аерознімання, то тематичне документування доцільно виконувати вже після їх інтеграції в ГІС. Цифрові аерознімки можуть виступати фоновою основою при витяганні з ГІС різноманітної просторової інформації - векторних тематичних карт, планів етапів операцій.

## **Розділ 4. Маршрутизація пересування транспорту по точкам торгової мережі магазинів «АТБ» в м.Черкаси з використанням фотознімків БПЛА.**

### **4.1 Актуальність дослідю.**

В даний час на ринку транспортних послуг конкуренція набуває якісно нових рис: на тлі підвищення витрат на перевезення і важливості економії часу, потрібна наявність ефективної системи оптимізації маршруту транспортної мережі.

Логістика дозволяє мінімізувати товарні запаси, скоротити час доставки товарів, прискорити процес отримання інформації та підвищити рівень сервісу. Транспортна логістика покликана забезпечити оптимізацію транспортних систем, вибір видів і типів транспортних засобів; визначення разноканалних маршрутів доставки і їх оптимізацію; технологічну єдність транспортно-складського процесу.

Метою роботи є створення мережевої моделі для аналізу маршруту транспортної мережі міста Черкаси.

Основними завданнями роботи є:

- збір вихідних даних;
- створення мережевого набору даних на базі шейп-файлу;
- створення файлової бази геоданих з набором мережевих даних;
- створення мультимодального набору мережевих даних.

Визначення найкоротших відстаней між пунктами транспортної мережі є важливим практичним завданням, так як дає можливість знизити транспортні витрати.

Щоб створити моделі транспорту було необхідно:

- використовувати програмне забезпечення ArcGIS 10.2 і додатковий модуль Network Analyst;
- нанести на карту торговельну мережу "АТБ" міста Черкаси.

#### **4.2 Використання ArcGIS в обробці даних БПЛА.**

Пакет програмних продуктів нового покоління ArcGIS 10.2 компанії ESRI - це сучасна платформа для побудови корпоративної інтегрованої системи підтримки прийняття рішень, в основі якої лежать комп'ютерні засоби збору, зберігання, обробки і відображення просторової інформації.

Платформа ArcGIS допомагає компаніям в усьому світі успішно вирішувати завдання картографування, ефективного керування транспортними об'єктами та мережами, оптимальної транспортування людей і вантажів (логістики).

У світовій практиці для вирішення завдань транспортної галузі у взаємозв'язку з проблемами і завданнями інших верств діяльності набула широкого поширення повністю уніфікована лінійка програмних продуктів системи ArcGIS. Інструментарій ArcGIS володіє інтеграційними можливостями щодо сфери застосування та інтероперабельності з іншими системними платформами, СУБД, виробничими системами, веб - і хмарними технологіями.

Основні можливості:

- оперативно-диспетчерське управління вантажними і пасажирськими перевезеннями;
- аналіз транспортного навантаження, розробка та оптимізація маршрутів;
- планування будівництва нових трас;
- планування і моніторинг проведення ремонтних робіт;

- рішення задач моніторингу технічного стану автомобілів, інформаційної підтримки охоронно-пошукових систем, зниження ризиків при перевезенні цінних або небезпечних вантажів і т.д.

Відомо безліч прикладів комплексного вирішення взаємопов'язаних завдань транспорту, містобудування, землекористування, екології, економіки, соціології, збереження культурної спадщини та питань, що відносяться до інших сфер діяльності, в різних містах, країнах і регіонах з використанням середовища ArcGIS. Згадаємо лише проекти регіонального планування Traffic Analyst, загальноєвропейської транспортної системи TRANS-TOOLS, ArcGIS-проект WORLD-NET транспортного планування всього євразійського простору.

Система ArcGIS, як відомо, має потужний інструментарій аналізу просторової інформації, дозволяє працювати з різномірними даними і базами геоданих (БГД). Широкий функціонал цього ПО дозволяє самостійно вирішувати безліч завдань в самих різних прикладних областях. Для відпрацювання ж тих варіантів, коли деталізація структури системи і поведінки об'єктів власними засобами стає нераціональною, використовується конвертування даних з інших програмних середовищ і їх інтеграція з ГІС. Всі ці можливості постійно використовуються в багатьох проектах і розробках і в наших умовах, і в усьому світі.

Власна передова БГД, інтеграційна технологія ArcSDE для використання відомих СУБД, веб-інструментарій, застосування хмарних технологій, - все це дозволило платформі ArcGIS вийти на високий рівень комплексного управління проектами та моніторингу складних систем. Спостерігається тенденція до впровадження комплексного управління всією господарською діяльністю підприємств і організацій за допомогою цієї ГІС.

На основі технологій ArcGIS здійснюється управління транспортною сферою сотень міст і регіонів у всьому світі. Наприклад, вельми успішно функціонують європейські проекти Traffic Analyst і TRANS-TOOLS,



північноамериканські проекти UNETRANS і NRN Canada, розробляється проект транспортної системи євразійського простору WORLD-NET.

Крім того, додатковий модуль ArcGIS Network Analyst дозволяє вирішувати 9 класів транспортних завдань в автоматичному режимі на основі наборів мережевих даних з ребрами, вузлами, всілякими вагами і ієрархією ребер, дисципліною поворотів, бар'єрами, зупинками, опорами різного роду, штрафами та ін. Досконала зв'язність дозволяє моделювати мультимодальні мережі, а додаток ArcScene додаткового модуля ArcGIS 3D Analyst - тривимірні мережі і розв'язки [21].

Додаткові модулі:

- Network Analyst - модуль для аналізу мереж і маршрутизації транспортних засобів;

- Tracking Analyst - модуль для відстеження та аналізу динамічних об'єктів в режимі реального часу. Дає можливість вивчати динаміку розвитку різних подій і явищ в часі, створювати системи стеження за безліччю об'єктів, планувати хід розвитку подій, забезпечувати управління та координацію оперативних дій, що вельми корисно для моніторингу та управління транспортними мережами;

- Логістик - модуль для маршрутизації транспортних засобів та забезпечення вантажоперевезень, адаптований до російської системи адресації;

- Spatial Analyst - модуль для обробки растрових зображень, спільного аналізу растрових і векторних даних;

- Survey Analyst - модуль для управління базою геодезичних даних на основі наземних зйомок і GPS-вимірів (продукт розроблений спільно з компанією Leica Geosystems);

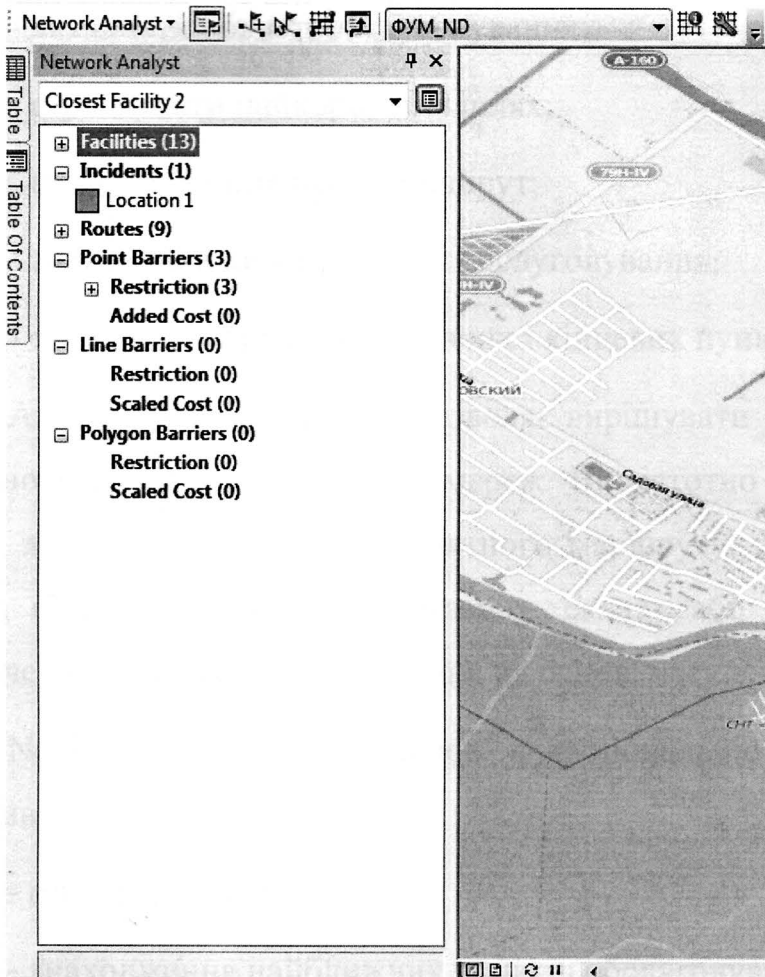
- Maplex - модуль для автоматизованого розміщення текстових написів на цифрових картах;

- ArcPress - модуль для розширення можливостей друку карт;
- Data Interoperability - модуль для прямого читання, перетворення і експорту форматів даних.
- ArcGIS Server - масштабований серверний продукт для створення корпоративної ГІС, рішення трудомістких завдань і створення ГІС-порталів в Інтернеті.
- Map Object - набір бібліотек для створення власних ГІС-додатків.
- ArcGIS Engine - набір вбудованих інструментів для інтеграції з іншими настільними середовищами.

Області застосування:

- автомобільні дороги, залізниці, дорожні служби;
- вокзали, аеропорти, морські та річкові порти;
- пасажирський транспорт;
- автопарки;
- вантажоперевезення, транспортна логістика;
- будівництво, експлуатація, житлово-комунальне господарство;
- служби порятунку, швидка допомога, силові структури;
- служби охорони, доставки, інкасації.

ArcGIS Network Analyst дозволяє створювати і управляти складними наборами мережевих даних і вирішувати завдання за допомогою маршрутизації процесів (Рис.4.1).



*Рис.4.1 Робочий простір ArcGIS Network Analyst*

ArcGIS Network Analyst - потужний засіб для розрахунку і побудови маршрутів транспортних засобів, що надає повноцінне середовище для просторового аналізу на основі даних по транспортних мережах (в тому числі: аналіз місць розташування, аналіз часу в дорозі, моделювання просторового взаємодії). З його допомогою користувачі ArcGIS Desktop можуть моделювати сценарії вирішення транспортних завдань на основі реальних мереж.

Застосовуючи ArcGIS Network Analyst можна:

- провести аналіз часу знаходження на маршруті;
- створити маршрут проїзду по заданих пунктах;
- створити опис маршруту;

- визначати області обслуговування;
- розрахувати найкоротший шлях;
- вибрати оптимальний маршрут;
- знайти найближчий пункт обслуговування;
- створити матрицю відправних і кінцевих пунктів.

ArcGIS Network Analyst дозволяє вирішувати широкий спектр завдань на основі аналізу географічних мереж. Він істотно спрощує рішення таких задач, як вибір найбільш прийняттого маршруту, створення подорожнього листа, пошук найближчого магазину, складу або пункту обслуговування, визначення області обслуговування на основі часу в дорозі.

Network Analyst розширює функціональність ArcGIS наступними можливостями:

- маршрутизація;
- знаходження найближчих пунктів обслуговування;
- аналіз областей обслуговування;
- розширені можливості створення мереж і управління ними.

Network Analyst може бути використаний при вирішенні широкого спектра завдань: від простого створення маршруту проїзду по заданих точках до створення складної моделі погодинної доставки товарів з проходженням через мільйони об'єктів. Використовуючи розширені можливості Мережевий моделі, користувач може значно збільшити функціональність даних.

Розширені можливості Мережевий моделі даних:

- складні повороти;
- динамічний імпеданс;
- ваги;
- бар'єри;

- можливість роботи в розрахованому на багато користувачів режимі;
- точна і ієрархічна маршрутизація.

Network Analyst працює в середовищі ArcGIS Desktop (ArcView, ArcEditor або ArcInfo), ArcGIS Engine і ArcGIS Server. Користувачів настільних додатків ArcGIS Network Analyst забезпечує багатофункціональним середовищем зі зручним меню і інструментами. У той же час легко здійснюється доступ і до більш складних інструментів і налаштувань в середовищі геообработки - можливість створення моделей і написання скриптів. Користувачі ArcGIS Engine і ArcGIS Server можуть впроваджувати засоби прикладних розробок при створенні власних мережеских рішень.

Ключові можливості:

- маршрути;
- многоточечная маршрутизація;
- тимчасові вікна зупинок;
- рішення задачі комівояжера.

Області обслуговування:

- створення комплексних полігонів;
- аналіз галузі обслуговування;

Найближчі пункти:

- постійні і змінні точки;
- швидке реагування.

Подорожні листи:

- розгортаються вставки карт;
- генерація серій подорожніх листів.

Можливі області застосування.

Користувачів ArcGIS Network Analyst об'єднує необхідність високоякісної маршрутизації на базі ГІС і можливість проведення мережевого аналізу даних. ArcGIS Network Analyst успішно застосовується в наступних галузях: кошти повідомлення (транспорт), охорону здоров'я, служби безпеки населення, освіту, місцеві органи управління і багато інших.

У ArcGIS Network Analyst можна вирішувати завдання з використанням аналізу часу в дорозі. Наприклад, визначення часу, що витрачається на транспортування товарів від виробничого підприємства до складу, а також часу доставки зі складу в магазин або безпосередньо споживачеві.

В даному прикладі за допомогою інструменту "Пошук найближчого пункту" в Network Analyst можна розрахувати час доставки товарів з виробничого підприємства на будь-який з восьми запропонованих складів.

Інструмент Області обслуговування виділить навколо кожного з восьми складів зони (на малюнку - зелена, жовта і червона), за допомогою яких всі споживачі (наприклад, магазини) будуть поділені на три групи за часом доставки їм товарів.

Цей аналіз може використовуватися для обчислення часу доставки товарів за допомогою автотранспорту або в якості стандарту при розробці мережі транспортного обслуговування населення.

Набір мережевих даних в ArcGIS 9 - це складна зв'язкова модель, яка пропонує цілий комплекс можливих сценаріїв. Наприклад, багатомодальним транспортна мережа. Користувач має можливість ефективно моделювати зв'язку між різними видами транспортного сполучення, використовуючи точки з'єднання, наприклад, залізничні та автобусні зупинки. Багатомодальним мережі дозволяють комплексно здійснювати планування, аналіз і моделювання шляхів транспортного сполучення.

Більш просунуті користувачі і розробники можуть застосовувати власні рішення, використовуючи переваги наборів мережевих даних і властивість багатозадачності при створенні транспортної моделі.

Набори мережевих даних дають можливість чіткого управління даними при створенні, редагуванні і зберіганні мережевих даних.

#### 4.3 Оптимізація маршрутів мережі магазинів «АТБ» м.Черкаси

Для створення оптимального маршруту транспортної мережі необхідно було завантажити шейп-файл доріг міста Черкаси. Для завантаження даних був обраний сайт Gis-Lab, в якому дані оновлюються щодня. GIS-Lab - неформальне співтовариство, розміщене в віртуальному просторі мережі Інтернет. Сайт GIS-Lab не належить і не є частиною будь-якої певної організації і не є домашньою сторінкою конкретної людини. Роботою GIS-Lab управляє група активних учасників, які вклали чимало часу в розвиток сайту і спільноти, створюючи статті, дані, беручи участь в проектах (рис 4.2).



Рис.4.2 Зовнішній вигляд сайту GISLAB



У викачаному архіві надаються всі шари від доріг до гідрографії. Нам потрібні всі шари відносяться до доріг (Рис.4.3).

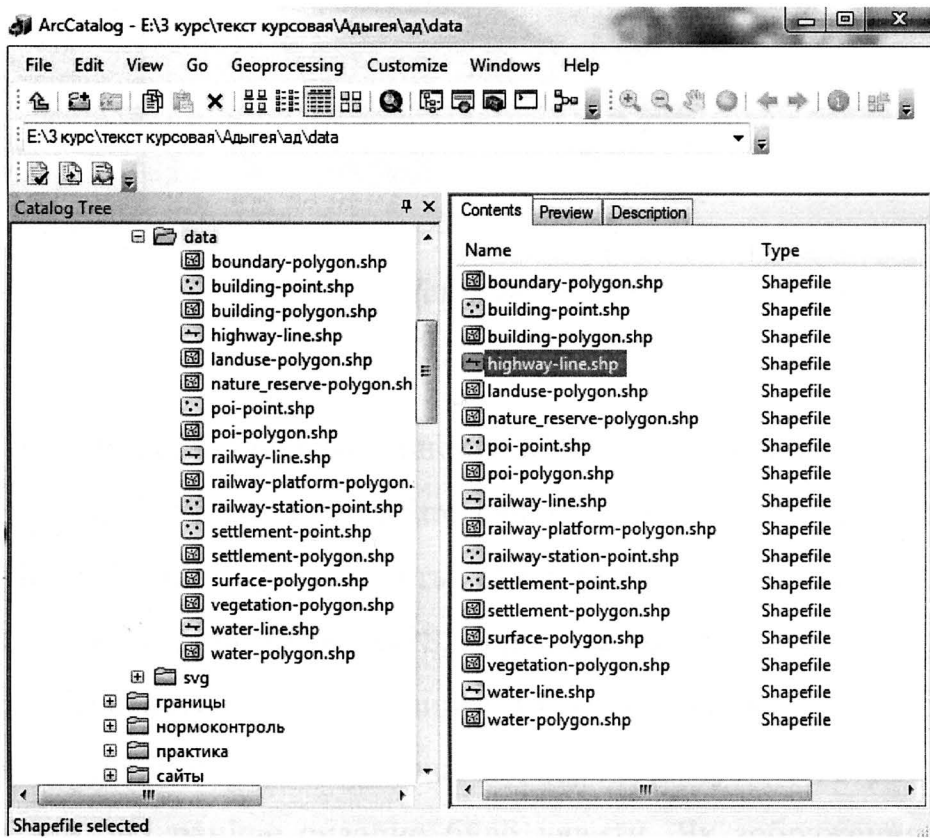


Рис.4.3 Шаровий склад

На сайті шейп-файли надані на всю територію Адигеї, нам треба вирізати дані стосуються міста Черкаси. Даний шейп-файл надано в масштабі 1: 20 000 (Рис.4.4).



*Рис.4.4 Шейп-файл доріг міста Черкаси*

Для більшої інформативності в якості підкладки була обрана карта OpenStreetMap (Рис.4.5). OpenStreetMap - проект, який створює і надає вільні географічні дані і можливість створювати карти всього світу. Карта створюється за допомогою GPS, аерофотознімків і інших джерел, а також знання місцевості. Проект з'явився тому, що використання більшості карт обмежена законодавчо або технічно, що стримує їх творче використання способами, які раніше складно було уявити. Як зображення (тайли), так і векторні дані OSM доступні для завантаження і мають ліцензію Creative Commons Attribution ShareAlike 2.0.

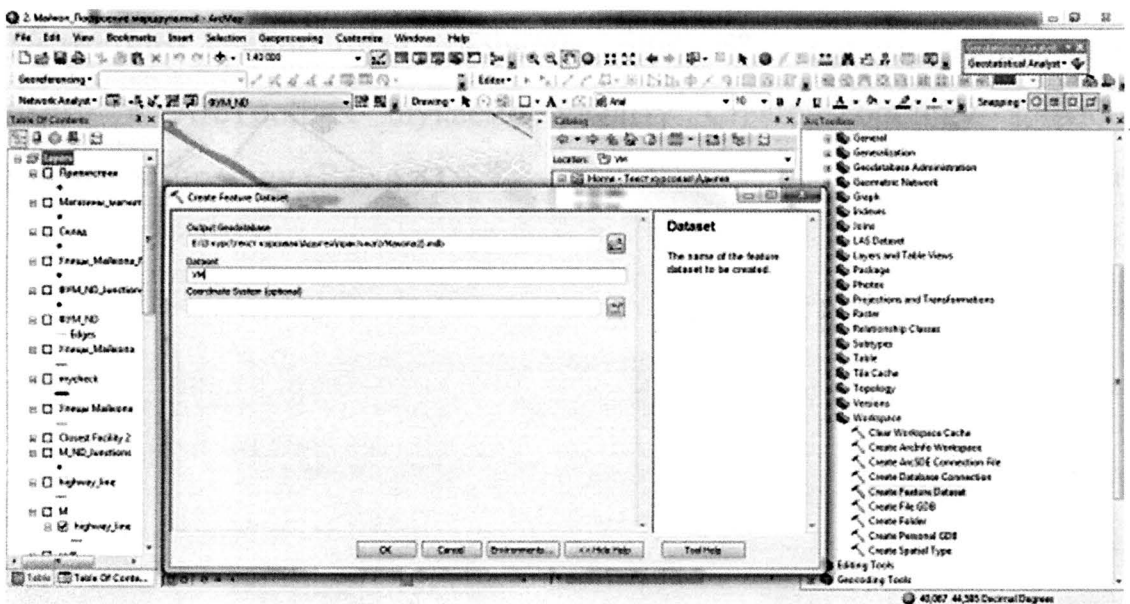
Будь-хто може брати участь у проекті і використовувати ці карти абсолютно вільно, на відміну від багатьох інших карт, навіть безкоштовних, вільне використання яких насправді обмежена.



*Рис.4.5 Підкладка OpenStreetMap*

Перед перевіркою топології необхідно провести певну технологічну роботу для підготовки даних. Що, загалом-то, вимагає певних знань і навичок в області концепції вистави геоданих в ArcGIS.

Далі, в заздалегідь підготовленої бази геоданих створюємо набір даних - утиліта Create Feature Dataset з набору інструментів Workspace (Рис.4.6).



*Рис.4.6 Утиліта Create Feature Dataset*

Якщо дані, які ми будемо піддавати перевірці ще не поміщені в базу геоданих, то це необхідно буде зробити зараз. Для цього можна, наприклад, скористатися утилітою Feature Class to Feature Class з набору інструментів To Geodatabase (Рис.4.7).

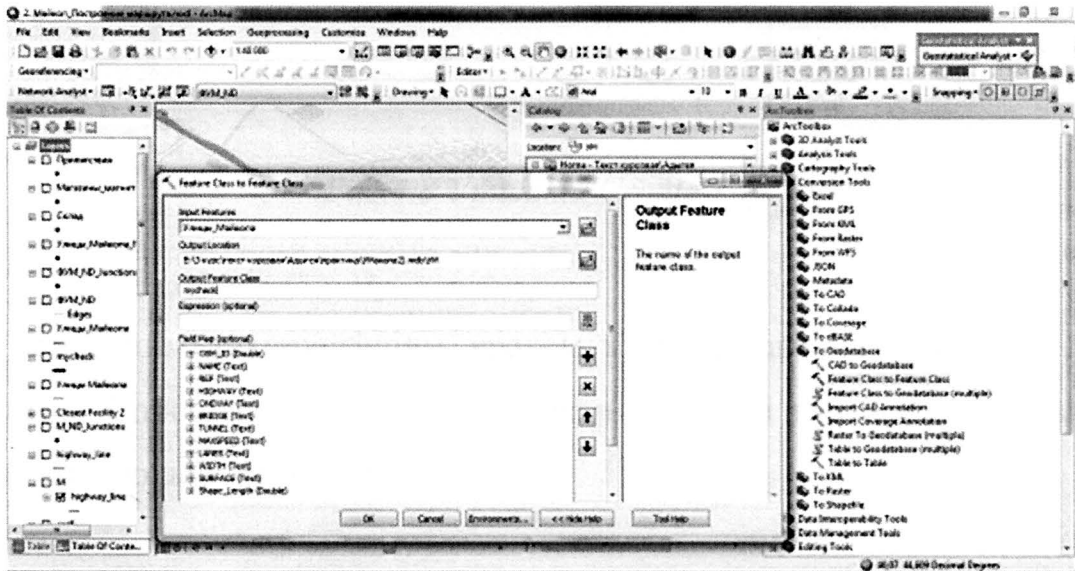
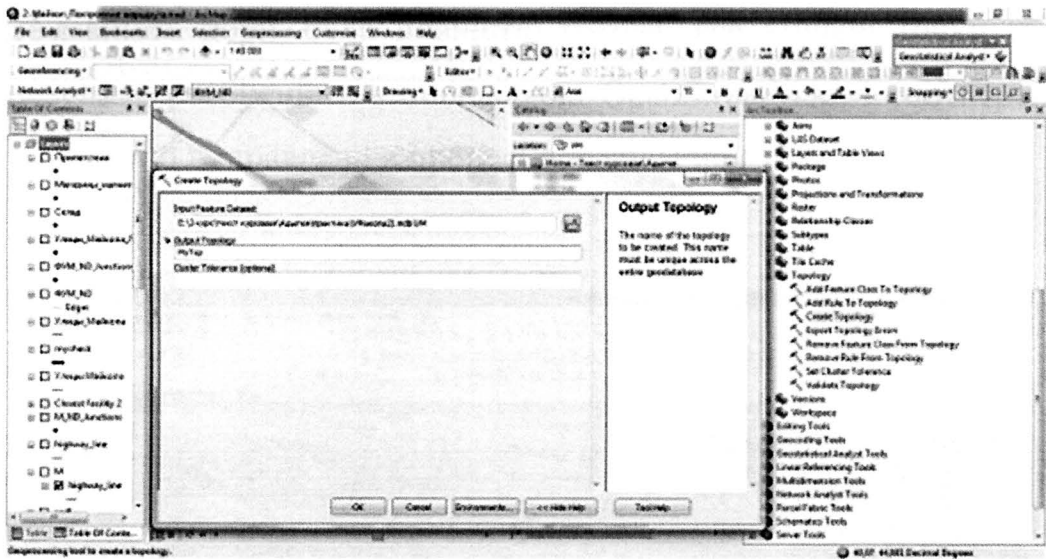


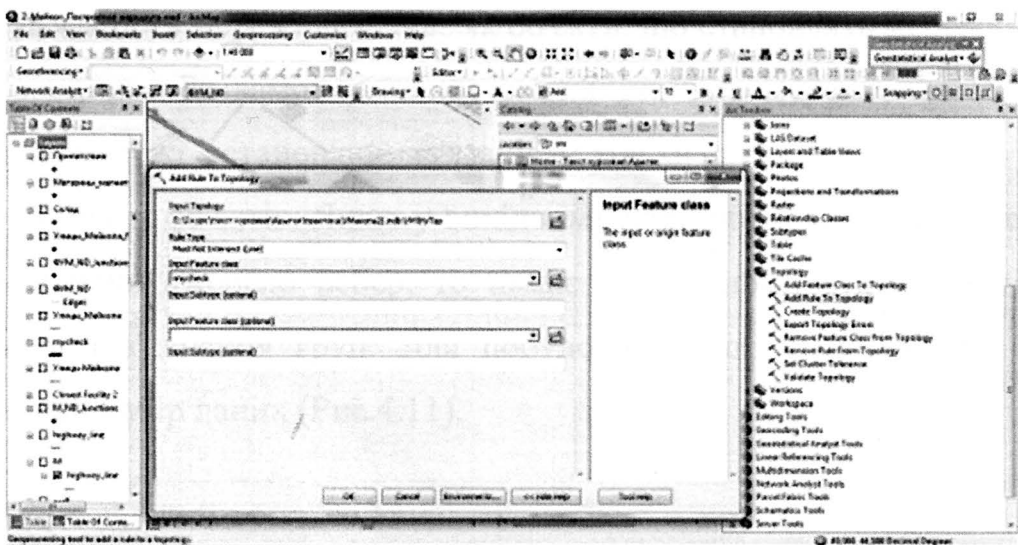
Рис.4.7 Утиліта Feature Class to Feature Class

Наступним кроком буде створення топології в нашому наборі даних. Для цього в ArcToolbox шукаємо утиліту Create Topology з набору інструментів Topology (Рис.4.8).



*Рис.4.8 Утилита Create Topology*

Наступним технологічним кроком буде додавання правила в нашу топологію. Спрощено кажучи, треба дати програмі вказівку - що, власне, будемо контролювати (Рис.4.9).



*Рис.4.9 Утилита Add Rule To Topology*

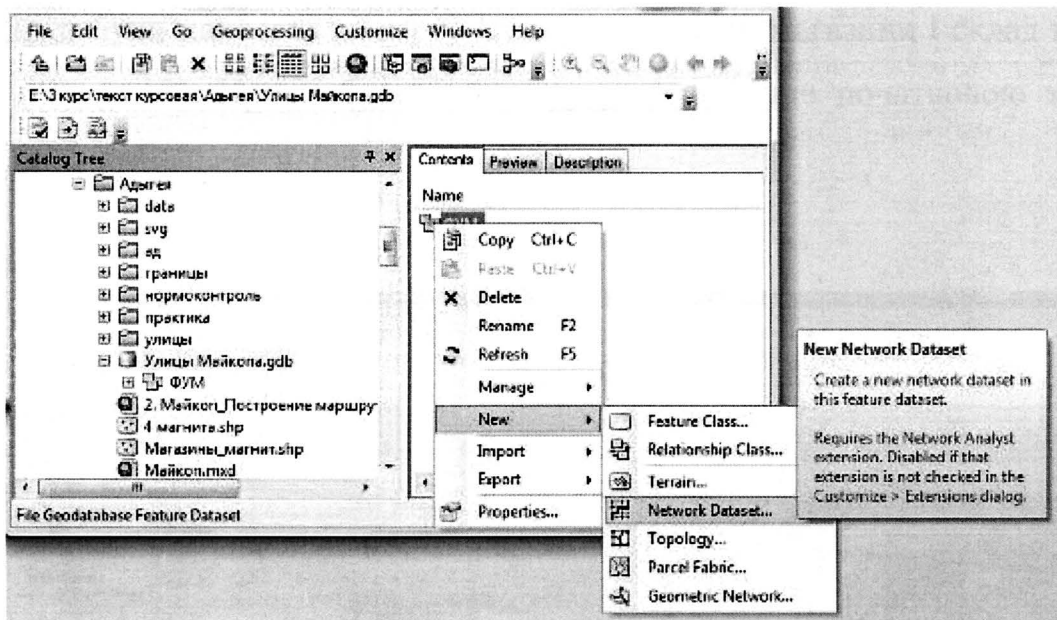
Зв'язаність доріг була повністю готова, все кінцеві точки збігалися. Було невелике розбіжність з підкладкою OpenStreetMap, і спотворені назви вулиць, що було виправлено в процесі роботи (Рис.4.10).



*Рис.4.10 Виправлений шейп-файл вулиць міста Черкаси*

Зв'язаність мережі визначає як об'єкти, що становлять мережу, пов'язані один з одним. За замовчуванням зв'язаність для мережевого набору при побудові мережі встановлює зв'язаність тільки для співпадаючих кінцевих точок лінійних об'єктів. Якщо у вихідному для побудови мережі шейп-файлі є тільки одне джерело ребер, то немає необхідності ставити багаторазові можливості з'єднання груп. Для побудови маршруту необхідно створити мережевий набір даних (Рис.4.11).





*Рис.4.11 Створення нового набору мережєвих даних*

Як тільки набір буде побудований, можна буде побачити новий набір мережєвих даних (Рис.4.12), з окремими класами просторових об'єктів лінії (lines) і повороти (turn).



*Рис.4.12 Мережєвий набір даних в ArcGis*



Далі були нанесені на карту Черкас всі наявні магазини і склад мережі "АТБ" (Рис.4.13). При побудові маршруту склад буде початковою точкою маршруту.

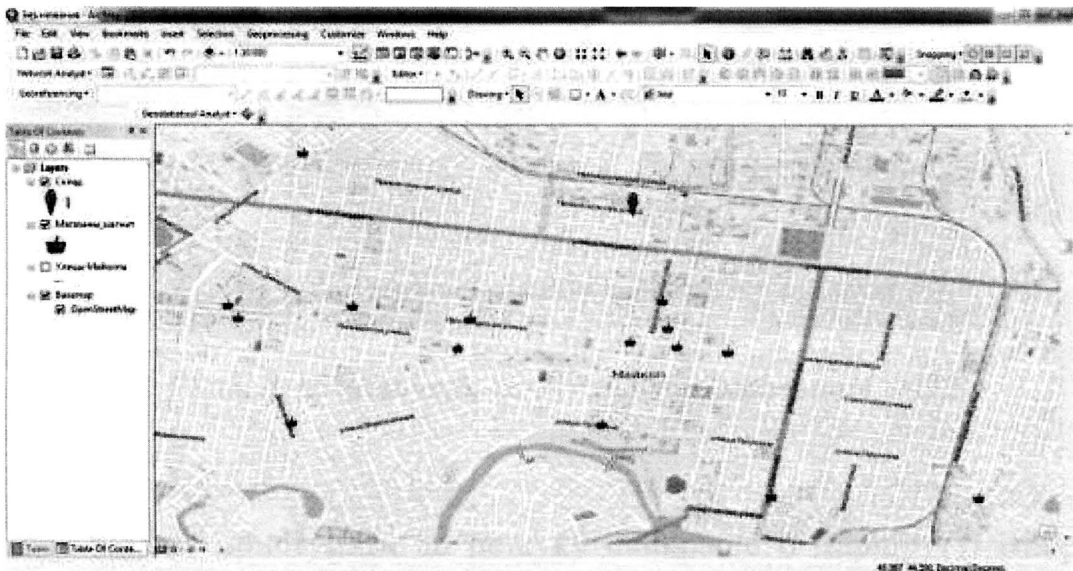


Рис.4.13 Нанесені магазини і склад мережі "АТБ"

Після нанесення всіх об'єктів треба завантажити їх розташування в Network Analyst (Рис.4.14).

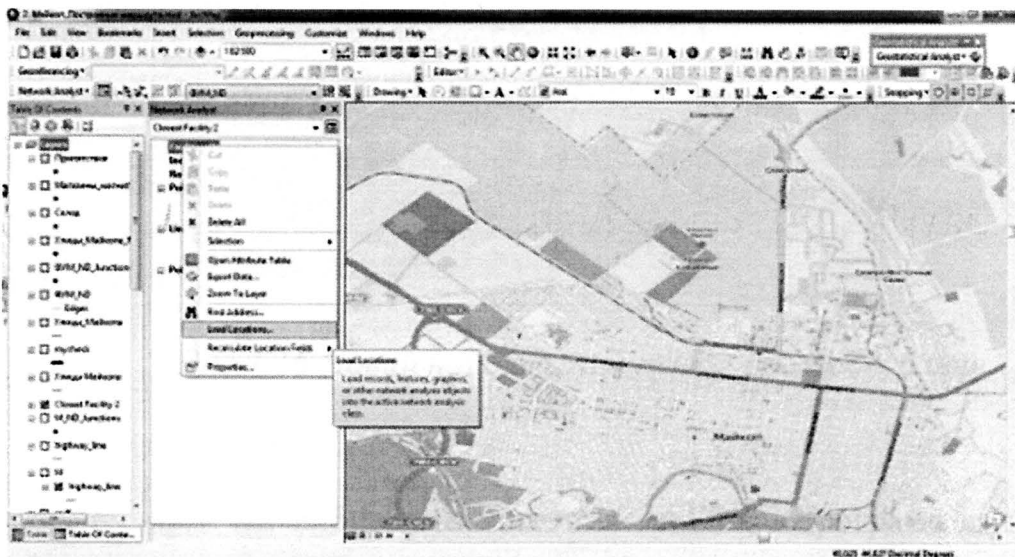
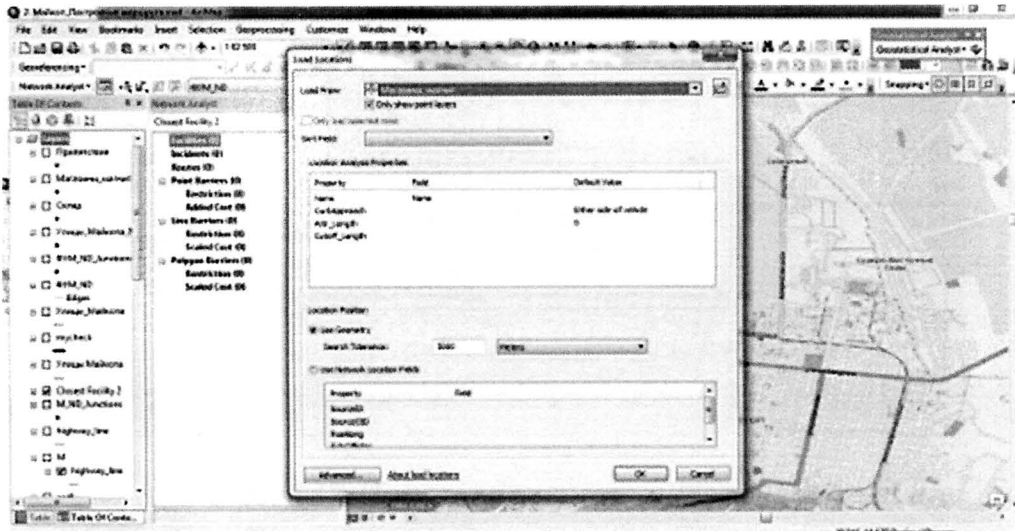


Рис.4.14 Завантаження місцезоташування



*Рис. 4.15 Завантаження мережі магазинів «АТБ»*

Далі можна приступати до пошуку найкращого маршруту. Вибравши вихідну точку на карті, ми створюємо новий найближчий пункт обслуговування (Рис.4.16).



*Рис.4.16 Новий найближчий пункт обслуговування*

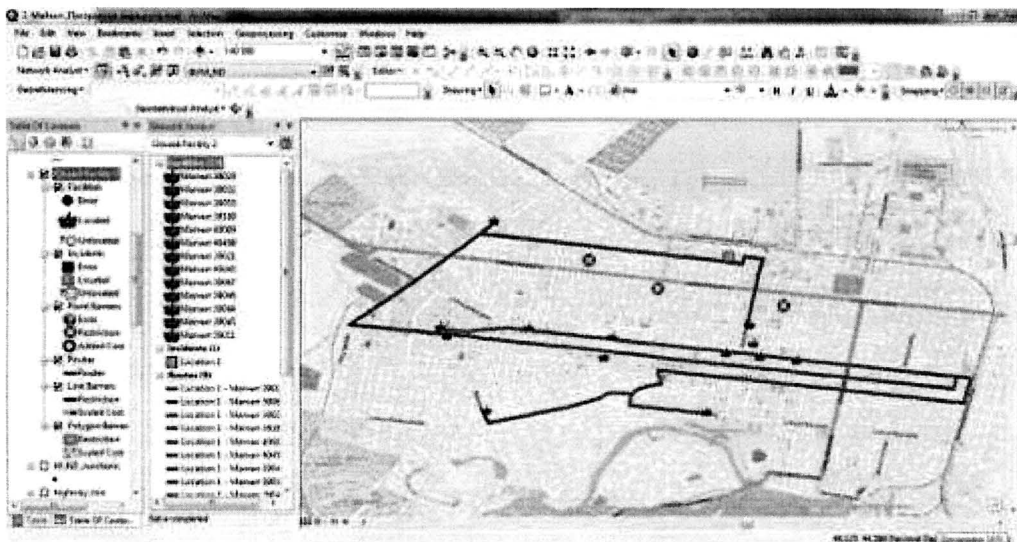
Далі в формі ми вибираємо магазини «АТБ», і програма шукає місце розташування заданих пунктів в межах відстані, яке ми вибрали (Рис.4.17).



*Рис.4.17 Пошук місцерозташування магазинів*

Також можна задавати замість відстані - час, витрачений на переміщення від вихідної точки до точки призначення.

Коли програма знайшла все найближчі пункти можна будувати маршрут (Рис.4.18). Програма робить це автоматично за обраними вами критерієм.



*Рис.4.18 Побудова найкращого маршруту до всіх магазинах "АТБ" в місті Черкаси*

Можна додати бар'єр на маршрут і знайти альтернативний маршрут до кінцевої точки, минаючи перешкоди (Рис.4.19).



*Рис.4.19 Додавання бар'єрів на маршрут*

У вкладці адреси ми можемо подивитися кожен маршрут окремо на мапі, або обравши дві точки щоб отримати маршрут на карті (Рис.4.20).

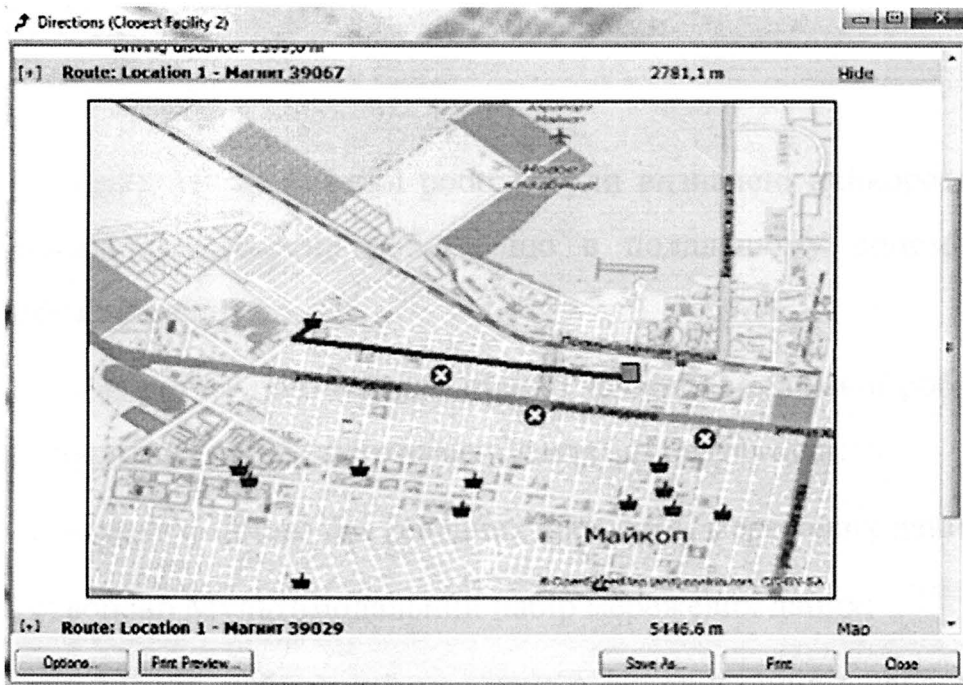


Рис. 4.20 Окремо взятий маршрут на карті

У рядку Routes Вікна Network Analyst з'явилися записи про маршрутах, що показують напрямки руху від складу до кожного магазину. Ми можемо переглянути їх детально, поворот за поворотом, як окремо, так і відразу декілька (в останньому випадку необхідно виділити кілька маршрутів).

Отриманий результат можна зберегти у вигляді шейп-файлу або класу просторових об'єктів. На основі всіх отриманих даних можна створити карту оптимального маршруту транспортної мережі магазинів "АТБ" (Додаток А).

## Висновки

В результаті проведеної роботи були визначені найкоротші відстані і мінімізована транспортна робота, що в подальшому допоможе знизити транспортні витрати в місті.

Відповідно до поставлених цілей і завдань дипломної роботи виконані наукові дослідження і були отримані наступні результати:

- створена файлова баз геоданих з набором мережевих даних;
- створено Мультимодальний набір мережевих даних;
- знайдений найкращий маршрут з використанням набору мережевих даних і створена модель для аналізу маршруту;
- отримано найкращий маршрут з використанням набору мережевих даних і модель для аналізу маршруту в місті Черкаси.

Для вирішення даного завдання було використано програмне забезпечення ArcGIS 10.2 і модуль NetworkAnalyst

У вільних ГІС існує не мало можливостей з аналізу мереж, але всі вони обмежуються лише загальним підходом до проблеми, не стосовно до будь-якої предметної області.

Для сфери інженерних мереж, крім того, що відсутня спеціальна модель даних, що включає характерні для предметної області об'єкти (джерело, споживач, що відтинає пристрій), відсутні також надбудови, що дозволяють проводити технологічні розрахунки.

Як правило, підприємствам, що виробляють автоматизацію виробництва, потрібно крім, власне, карт своїх мереж, ще й розрахункові програмні комплекси, чого не вистачає в вільних ГІС. У комерційних ГІС існують вже готові рішення для підприємств, причому для конкретних сфер (електропостачання, теплопостачання) або платформи для написання власних

рішень, що, звичайно ж, говорить про більшу перспективності їх впровадження. Однак, недоліком таких ГІС є їх не мала вартість.



## Література

1. Глотов В.М. Колісніченко В.Б. Результати експериментально-випробувальних робіт із застосування безпілотного літального апарату для цілей аерознімання.
2. А.М. Козуб, Н.О. Суворова, В.М. Чернявський. Аналіз засобів збору інформації для географічних даних інформаційних систем. Системи озброєння і військова техніка, 2011, № 3(27).С.42-47.
3. D. Mihajlović, M. Mitrović, Ž. Cvijetinović, M. Vojinović. Photogrammetry of archaeological site felix romuliana at gamzigrad using aerial digital camera and non-metric digital camera. The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXVII congress ISPRS. Part B5, Beijing – 2008. P. 397-399..
4. БПЛА: застосування в цілях аерофотознімання для картографування.[http://www.uasresearch.com/UserFILES/156-181 Referens-Section UAS All-Categories&Classes.pdf](http://www.uasresearch.com/UserFILES/156-181%20Referens-Section%20UAS%20All-Categories&Classes.pdf).
5. U. Coppa , A. Guarnieri , F. Pirotti , A. Vettore. ACCURACY ENHANCEMENT OF UNMANNED HELICOPTER POSITIONING WITH LOW COST SYSTEM
6. Chunsun Zhang. AN UAV-BASED PHOTOGRAMMETRIC MAPPING SYSTEM FOR ROAD CONDITION ASSESSMENT. The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXVII congress ISPRS. Part B5, Beijing – 2008. P.627-632.
7. Yongjun Zhang. PHOTOGRAMMETRIC PROCESSING OF LOW ALTITUDE IMAGE SEQUENCES BY UNMANNED AIRSHIP. The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXVII congress ISPRS. Part B5, Beijing – 2008. P.751-758.
8. M. Koehl, P. Grussenmeyer. 3D MODEL FOR HISTORIC RECONSTRUCTION AND ARCHAEOLOGICAL KNOWLEDGE DISSEMINATION: THE NIEDERMUNSTER ABBEY'S PROJECT (ALSACE,

FRANCE). The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXVII congress ISPRS. Part B5, Beijing – 2008. P.325-330.

9. P. Salo , O. Jokinen , A. Kukkob. ON THE CALIBRATION OF THE DISTANCE MEASURING COMPONENT OF A TERRESTRIAL LASER SCANNER. The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXVII congress ISPRS. Part B5, Beijing – 2008. P.1067-1072.

10. P. Schaer, J. Skaloud, P. Tomé. TOWARDS IN-FLIGHT QUALITY ASSESSMENT OF AIRBORNE LASER SCANNING. The international archives of the remote sensing and spatial information sciences. XXXVII congress ISPRS. Part B5, Beijing – 2008. P.851-856.

11. <http://www.gisinfo.ru/techno/photoscan.htm>

12. Р. Шульц. Аналіз методів та моделей калібрування наземних лазерних сканерів.

13. А.М. Козуб, Н.О. Суворова, В.М. Чернявський. Аналіз засобів збору інформації для географічних систем.

14. А.А. Шоломицький, д.т.н., доц. А.О. Луньов, аспір. Донецький національний технічний університет. Вимір стенда для калібрування цифрових камер за допомогою електронного тахеометра.

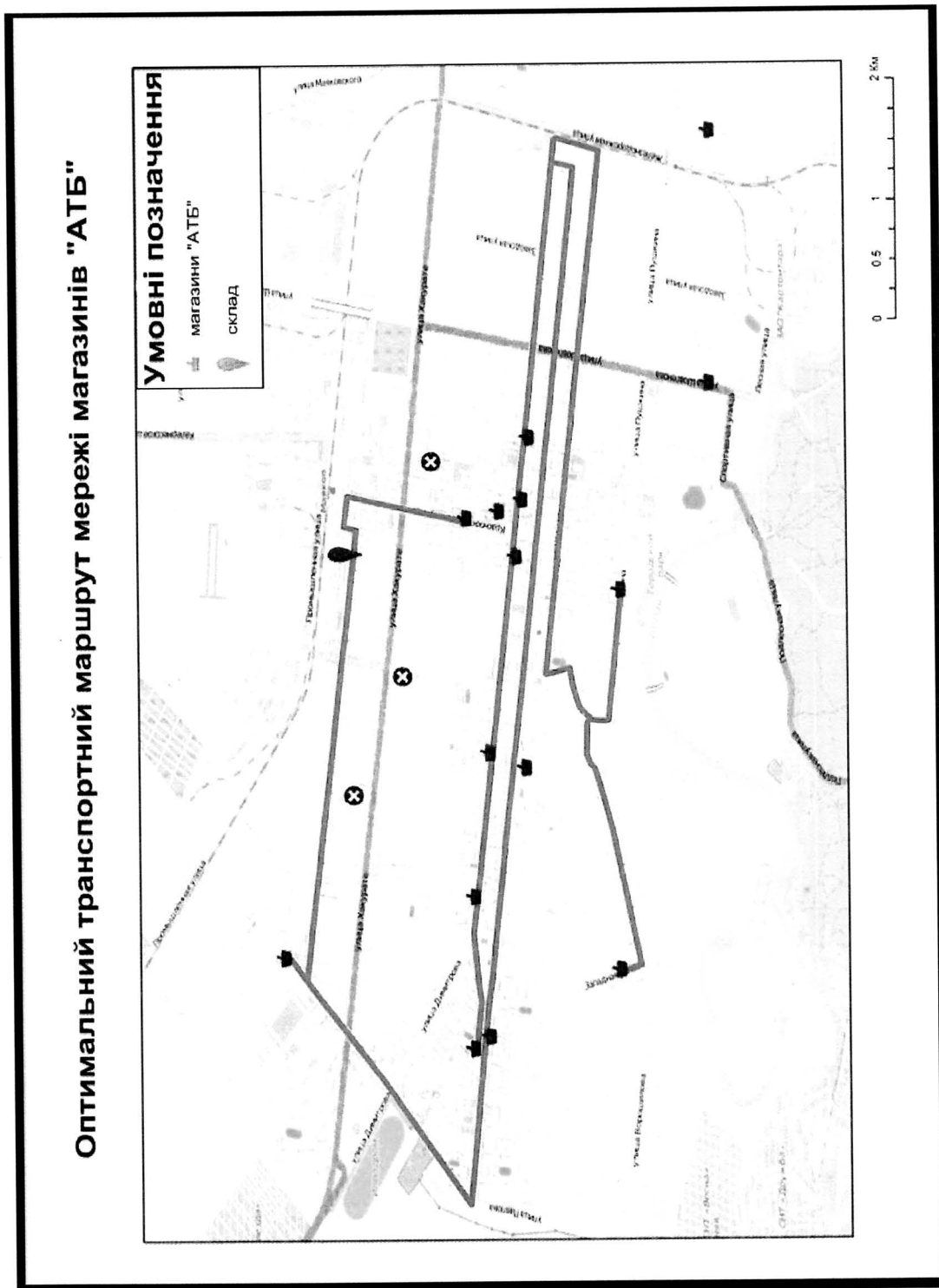
15. В.П. Харченко, д.т.н., проф. Д.Е. Прусов, к.т.н., с.н.с. Аналіз застосування безпілотних авіаційних систем у цивільній сфері.

16. «Современные винтокрылые беспилотные летательные аппараты» О.А. Завалов, А.Д. Маслов, 2008

17. О.Н. Зинченко, «Ракурс», Москва, Россия, 2011. Беспилотный летательный аппарат: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования.

18. А.Ю. Сечин, М.А. Дракин, А.С. Киселева, «Ракурс», Москва, Россия, 2011.

## Додатки



Додаток А Карта оптимального транспортного маршруту мережі магазинів "АТБ"