

528.7(043)
К29

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

КАТУШКОВ ВОЛОДИМИР ОЛЕКСІЙОВИЧ

.7(043)
УДК 528.1.7.727.7
К29

**МЕТОДИ І МОДЕЛІ ДИСТАНЦІЙНИХ ВИМІРЮВАНЬ У
БУДІВНИЦТВІ**

05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія

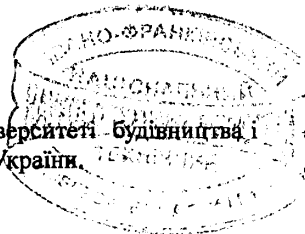
АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Київському національному університеті будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.



Науковий консультант
доктор технічних наук, професор **Карпінський Юрій Олександрович**,
Київський національний університет будівництва і архітектури, завідувач кафедри
геоінформатики і фотограмметрії.

Офіційні опоненти:
доктор технічних наук, професор **Могильний Сергій Георгійович**,
Донецький національний технічний університет, завідувач кафедри
геоінформатики і геодезії;

доктор технічних наук, професор **Рудий Роман Михайлович**, Івано-
Франківський національний технічний університет нафти і газу, професор
кафедри землевпорядкування та кадастру;

доктор технічних наук, професор **Мельник Володимир Миколайович**,
Волинський національний університет ім. Лесі Українки, завідувач кафедри
геодезії, землевпорядкування та кадастру, м. Луцьк.

Захист відбудеться “ 22 ” грудня 2011 р. о 10 годині на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д 26.056.09 у Київському національному університеті
будівництва і архітектури за адресою: 03680, м. Київ, Повітрофлотський проспект,
31, ауд. 466.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Київського
національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03680, м. Київ,
Повітрофлотський проспект, 31.

Автореферат розісланий “21” листопада 2011 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент

О.П. Ісаєв

an2240

АГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

в'ячується пам'яті засновника української наукової школи прикладної фотограмметрії доктора технічних наук, професора Віктора Михайловича Сердюкова.

У розвинених державах світу, таких як Канада, Німеччина, Італія, Франція, Росія, Японія, Китай та ін., методи прикладної фотограмметрії використовують у картографуванні, будівництві, медицині, машино-, авіа-, суднобудуванні. В Україні існують окремі школи фотограмметрії на виробництві та у вищих навчальних закладах Києва, Львова, Донецька, Харкова, Одеси.

Необхідно зазначити, що у проблему вивчення комплексу топографічних, геодезичних, фотограмметричних робіт при вишукуванні, зробили вагомий внесок вчені України і колишнього СРСР. Це насамперед М.Г. Відуєв, В.М. Сердюков, С.Г. Могильний, С.П. Войтенко, І.С. Тревого, Ю.В. Поліщук, О.Л. Дорожинський, Х.В. Бурштинська, В.М. Глов, Р.М. Рудий, В.М. Мельник, П.Г. Черняга, А.С. Мазницький, Ю.О.Карпінський, А.А. Лященко, Г.О. Патиченко, В.В. Білоус, В.Я. Цветков, В.К. Львов, І.Т. Антипов, Ю.М. Маркузе, А.І. Метьолькін, В.В. Вайнаукас, Г.П. Левчук, А.М. Лобанов, П.Д. Амромін, Ю.С. Тюфлін, Р.І. Сосса, П.І. Баран, Т.Т. Чмчян та інші, а також зарубіжні вчені К. Kraus, K. Ackermann та ін.

Автор вдячний співробітникам і студентам кафедр інженерної геодезії, геоінформаційних систем і фотограмметрії, які допомогли у написанні дисертації, проведенні досліджень або зробили цінні зауваження.

Актуальність теми. Побудова просторових фотограмметричних моделей місцевості в умовах щільної забудови є складним комплексом технологій знімання та оброблення, що розвивається в напрямі від аналогового до цифрового. Традиційні фототеодолітні технології з використанням прецизійних приладів та фотографічного матеріалу застаріли або їх застосування неможливе, а застосування нових цифрових технологій ще не досягло оптимального рівня. З огляду на це кожний етап загального комплексу робіт має ряд проблем, які треба вирішувати з науковим підходом та вдосконаленням теоретичних і практичних розробок.

Використання цифрових технологій геодезичного забезпечення із застосуванням супутникових систем ГНСС у комплексі з електронними геодезичними приладами, запровадження нових методів побудови геодезичних мереж, збирання інформації методом наземного та аерокосмічного знімання, уніфікація обмінних форматів результатів вимірювань на основі комп'ютерних технологій і їх застосування в польових і камеральних умовах сприяють поліпшенню комплексного оброблення отриманої інформації.

Складність робіт у містах полягає в необхідності застосування комплексу інформаційних технологій (топографо-геодезичних, фотограмметричних, картографічних, комп'ютерних) як єдиної технології створення цифрової моделі щільно забудованої території. Збирання топографо-геодезичної, фотограмметричної та картографічної інформації за допомогою растрових або векторних технологій, застосування геоінформаційних систем для моделювання просторових будівельних об'єктів, аналіз просторової топографічної інформації та її моніторингу потребують адекватного розвитку відповідних технологій

1/154

цифрового збирання, комп'ютерного оброблення, накопичення та архівації результатів вимірювань.

При побудові просторових цифрових моделей споруд на забудованій території з недоступними для вимірювання вертикальними та нахиленими площинами різної категорії складності виникають проблеми отримання точних результатів. Побудова цифрових моделей на основі вимірювання безконтактного аероназемного знімання потрібна для:

- збереження існуючих, відновлення знищених історичних пам'яток та створення банків даних про архітектурно-історичні об'єкти;
- об'єднання інформації на окремі об'єкти заповідних зон в єдині бази даних кварталів, районів, міст;
- вирішення питань проектування будівництва та комунального господарства при експлуатації архітектурно-історичних об'єктів;
- розв'язання низки прикладних завдань, пов'язаних з автоматизацією камерального оброблення відзнятого дистанційного матеріалу.

Потребують нагального вирішення проблеми автоматизації технологій створення та дослідження фотограмметричних моделей застосуванням сучасних цифрових комп'ютерних технологій без зведення риштування та використання іншого будівельного обладнання. Саме цим зумовлений вибір теми дисертаційної роботи й саме це підтверджує її актуальність.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Вибраний напрям досліджень пов'язаний із реалізацією завдань Державної науково-технічної програми розвитку топографо-геодезичної діяльності та національного картографування на 2003 – 2010 роки, затвердженої Постановою Кабінету Міністрів України від 16 січня 2003 р. № 37, законів України “Про архітектурну діяльність” від 20 травня 1999 р. № 687-XIV та “Про охорону культурної спадщини” від 16 грудня 2004 р. № 2245-IV.

Базовими для дисертації є науково-дослідні роботи, виконані в Київському національному університеті будівництва та архітектури. Здобувачем, як керівником творчого колективу “ФОТАРХ”, виконані роботи із збереження архітектурних історичних споруд окремих пам'ятних зон у різних районах Києва: заповідної зони “Стародавній Київ”, фонові забудови Подолу, забудови вулиць Хрещатик, Ярославів Вал, Бессарабки та ін., розв'язання експлуатаційних завдань на аварійних перегибах лінійних комунікацій: шляхів, нафто-газопроводів на територіях України, Росії та Білорусі. Автор дисертації був науковим керівником та відповідальним виконавцем робіт на замовлення установ “Укрспецреставрація”, “Укрпідводтрубопровід”. Крім того, дисертант є одним з авторів праць “Прикладна фотограмметрія”: Навч. посіб. Мін – во освіти України, Ін-т сист. дослід. освіти, КДТУБіА, Київ, ВІПОЛ, ISBN 5–7763–1885–8, 1994 р., “Практичний посібник з оцінки точності визначення площ земельних ділянок на основі вимірювань на аерокосмічних знімках”, матер. ГУГК та кадастру при Кабінеті Міністрів України, Київ, 1998 р., “Применение мотодельтапланов для топографической съемки и подспутниковых исследований”: Учеб. - производств. пособие, матер. Мін – ва освіти і науки України, Міністерства екології та природних ресурсів України, Київ, ISBN 966-7999-16-5, 2002 р., комплекс проектно-вишукувальних робіт по дистанційним обмірам поверхонь історичних

споруд. Пам'ятник архітектури (ох. № 882), нежитлова споруда по вул. П. Сагайдачного, 20/2 в Києві, Н/Д 210-06, т. 1, кн. 2, 2007 р.

Мета і завдання дослідження. *Мета роботи* – вирішення науково-прикладної проблеми теоретичного обґрунтування і практичної реалізації технології прикладного фотограмметричного моделювання у будівництві, що зумовлює розв'язання широкого спектра завдань автоматизації оброблення польового та камерального процесів.

Для досягнення окресленої мети були передбачені постановка, формування та послідовне розв'язання таких завдань:

- розроблення методів побудови геодезичної основи в умовах щільної міської забудови;
- розроблення способів збирання просторової інформації за матеріалами дистанційного аерознімання окремих, лінійних, площинних об'єктів;
- удосконалення технології отримання інформації про розрізи будівельних споруд;
- удосконалення та автоматизація процесу оброблення дистанційної інформації про просторові об'єкти з використанням колінеарної та компланарної залежностей;
- обґрунтування та розроблення системи збору цифрової інформації з поверхонь першого та другого порядків на теоретичних та практичних моделях об'єктів місцевості;
- розроблення аналітичної системи для аналізу та врахування низки похибок з метою підвищення точності цифрових просторових моделей;
- визначення змін елементів внутрішнього орієнтування в процесі перефокусування об'єктивів неметричних знімальних камер.

Об'єктом дослідження є будівлі та інженерні споруди.

Предмет дослідження – моделі, методи і технології побудови цифрових просторових моделей будівель та інженерних споруд.

Методи дослідження. При дослідженні технологічних процесів створення цифрових моделей об'єктів місцевості використані методи прикладної фотограмметрії, комп'ютерного оброблення строгих математичних залежностей з використанням методу найменших квадратів, інтерполяції та апроксимації, калібрування зображень досліджуваних поверхонь. Емпіричною базою дослідження є результати конкретних розрахунків, здійснених дисертантом або за його участю, з урахуванням світового та вітчизняного досвіду.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в розробленні теоретико-методологічних засад і практичних рекомендацій наукового вирішення проблеми формування фотограмметричних моделей забудованих територій. У роботі обґрунтована технологія моделювання та наведено практичні результати нового підходу до отримання знімального матеріалу у великому масштабному діапазоні, складанні просторових цифрових моделей, векторної графіки в будівництві. Найсуттєвіші теоретичні та практичні результати, які засвідчують наукову новизну дослідження та особистий внесок автора:

- удосконалено методи побудови геодезичної основи в умовах щільної міської забудови;

- уперше обґрунтовано теорію і розроблено методика збору просторової інформації про криволінійні об'єкти місцевості способом нерозривно-смугового аерознімання;
- удосконалено технологію отримання цифрової інформації перерізів внутрішніх та зовнішніх поверхонь інженерних споруд;
- вдосконалено аналітичні системи оброблення метричних і неметричних аерознімальних та наземних зображень з використанням колінеарних та компланарних залежностей на програмних комп'ютерних системах різної потужності;
- запропоновано теоретичне обґрунтування та цифрове оброблення просторових моделей з урахуванням властивостей поверхонь першого та другого порядків; опрацьовано моделі з поверхнями другого порядку, які мають форму об'єктів зони невизначеності;
- розроблено аналітичні методи цифрового моделювання і вплив окремих та сукупних похибок на просторове положення досліджувальних об'єктів;
- уперше досліджено зміну елементів внутрішнього орієнтування неметричних камер методами автоколімації з подвійним автоколімаційним спостереженням.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій. Наукові положення обґрунтовані на підставі результатів теоретичних та прикладних досліджень. У технології моделювання використано методи математичної оброблення растрових зображень з допомогою сенсорів цифрових камер або сканування фотографічних плівок.

Достовірність результатів досліджень забезпечена технологіями моделювання в умовах, наближених до реальних, з достатнім обсягом вихідних матеріалів. Крім того, підтверджено збіжність теоретичних передумов із практичними результатами, отриманими дисертантом та іншими дослідниками.

Наукове значення роботи. Дисертація є завершеним науковим дослідженням і містить авторські напрацювання в питанні розробки технології моделювання дистанційних обмірів. Отримані результати уможливають кількаразове скорочення часу на виконання польових та камеральних робіт, виведення процесу оброблення даних на новий технологічний рівень без втрати достовірності й точності.

Практичне значення одержаних результатів. Основні результати теоретичного дослідження доведені до практичної реалізації в програмних комплексах оброблення зображень "FOTO", "VZAOR", "KALIBR", "Дельта", документально підтверджені впровадженням систем у виробництво низкою організацій: "УкрПроекстреставрація", "Підводтрупопровід" та ін. Результати доповнюють відповідні розділи у навчальних посібниках із цифрової фотограмметрії, написаних дисертантом для спеціальностей "Геодезія", "Землепорядкування та кадастр", "Геоінформаційні системи і технології". Виконані дослідження та сформульовані за ними висновки є конкретним внеском у розвиток теорії прикладної фотограмметрії.

Особистий внесок здобувача полягає в тому, що наукові положення, висновки і рекомендації, які виносяться на захист, одержані автором самостійно.

Особисто здобувачем виконано теоретичне моделювання нерозривно-смугового аерознімання; зони невизначеності; отримано просторову інформацію з окремого знімка; досліджено знімальну фотографічну та цифрову апаратуру; розроблено та впроваджено спеціальні методи побудови геодезичних опорних мереж. Здобувачем, як керівником творчого колективу “ФОТАРХ”, виконано роботи з отримання матеріалів для збереження архітектурних історичних споруд окремих пам’ятних зон у різних районах Києва: заповідної зони “Стародавній Київ”, фонові забудови Подолу, будівель на вулицях Хрещатик, Ярославів Вал, Бессарабської площі та ін.; перетинів лінійних комунікацій (нафтопроводів, автомагістралей) з водними перешкодами.

У працях, опублікованих у співавторстві, автору належать:

- безпосередня участь у дослідженнях, побудові технологій знімального процесу з використанням метричної та неметричної апаратури [21; 22; 30];
- розроблення і складання математичної бази, алгоритмізація колінеарного та компланарного методів функціональної залежності натурної інформації із зображенням на моделях (знімках) [11; 18];
- розроблення, дослідження та аналіз методу нерозривного знімання [32; 36; 38].

Із наукових праць, опублікованих у співавторстві, у дисертаційній роботі використано лише ті ідеї та положення, які є набутком особисто автора.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації обговорювались на таких міжнародних наукових конференціях, форумах та семінарах: “Начальные этапы кадастра городской заповедной территории по материалам совместной аналитической обработки аэрофотогеодолитных съемок” (Київ, 1993 р.), “Фундаментальні географічні дослідження” (К., 1994 р.), “Основні напрямки розвитку фотограмметрії та дистанційного зондування України” (К., 1996 р.), “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва” (Львів – Яворів, 2004 р.), VI Міжнародна науково-практична конференція “ГІС-ФОРУМ-2006” (К., 2006 р.), ГІС-Форум – 2007 (К., 2007 р.).

Публікації. Основні результати та висновки дисертації опубліковані у фахових виданнях та збірниках наукових праць конференцій, семінарів. Загалом за темою дисертації опубліковано 45 наукових праць: 35 публікацій у фахових виданнях (з них 17 одноосібних), три патенти і три монографії, два посібники, дві статті в збірниках наукових конференцій і семінарів.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п’яти розділів, висновків; додатка та списку використаних джерел (288 назви). Обсяг основного тексту 290 сторінок. Ілюстративний матеріал: рисунків – 62, таблиць 54. Додатки – 60 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, наведені основні наукові результати роботи та їх практичне значення.

У першому розділі “**Аналіз розвитку та сучасного стану прикладного фотограмметричного моделювання**” наведено загальну характеристику стану топографо-геодезичного виробництва. Вказано значення і рівень досягнень

інформатизації процесів топографо-геодезичного виробництва за кордоном та в Україні. Проведено аналіз сучасного стану методів збору даних. Наведено аналіз автоматизації процесу оброблення цифрової інформації, з числовими методами математичного оброблення фотограмметричних моделей. Неможливість використання традиційних аналогових технологій потребує впровадження нових цифрових технологій та досліджень калібрування растрової інформації отриманої неметричними знімальними камерами.

Аналіз сучасного стану технологій створення цифрових моделей об'єктів місцевості (ЦММ) ставить на перспективу застосування теорії графів, пошук методів автоматизованого створення моделей об'єктів, автоматичного виділення характерних особливостей, спрощення та підвищення опрацювання технології робіт на щільно забудованих міських територіях. Змінюється поняття цифрової моделі об'єкту, коли в понятійну основу просторової моделі включається не тільки автоматизація створення 3D об'єктів, а й наявність в базі даних растрово-векторної та семантичної інформації.

Зростає кількість досліджень, які в більшості носять прикладний характер: за ЦММ визначають характеристики фронтальних поверхонь та створюють спеціальну цифрову векторну інформацію (цифрові моделі, карти, плани, перерізи) з метою використання в економії країни.

В цілому виконаний аналіз фахової літератури за останні десятиліття з питань побудови ЦММ, та її головного розділу ЦММ дозволяє відокремити велику кількість робіт із цієї проблематики, визначити невирішені питання та суперечливі моменти поданих різними авторами рекомендаційних висновків. Серед них найголовнішими вважаємо:

- відсутність узагальненої технології виконання польових геодезичних робіт при побудові 3D цифрових об'єктів моделі місцевості;
- відсутність комплексної технології вирішення питань збирання вихідної аерознімальної та наземної інформації середніх та крупних масштабів;
- неврахування особливостей впровадження в практику програмно-методичних комплексів оброблення фотограмметричних вимірювань різними способами;
- дослідження впливу загальних похибок без аналізу локальних систематичних та випадкових помилок при апроксимації фронтальних поверхонь;
- неврахування особливостей побудови ЦММ за попереднім калібруванням неметричної інформації.

У другому розділі – **“Спеціальні методи створення опорної геодезичної мережі”** – наведено традиційні методи побудови опорної геодезичної мережі, з переліком і застосуванням запропонованих методів опорних геодезичних мереж на забудованих територіях великого міста.

Використання автоматизованих, дистанційних, цифрових систем збирання інформації потребує узгодження з геодезичною опорною мережею. У цьому разі можна застосовувати об'єднану систему зі знімальною приладу з приймачем GPS, аналогічно об'єднанню електронного тахеометра з приймачем GPS.

Оскільки йдеться про знімання на забудованій території з великою кількістю “мертвих” (непрозорих) зон, неможливістю збирання інформації з малих відстаней, неможливістю робити вимірювання з проїжджої частини вулиць,

постас потреба у розробленні спеціальної технології геодезичного забезпечення, за допомогою якої можна виконати точну прив'язку об'єктів місцевості і скоротити час роботи в небезпечних місцях.

Розроблено спеціальні системи опорних геодезичних мереж: вільних станцій, опорного вектора, мережі без маркованих візирних цілей, переносних жезлів та просторової наземної фототріангуляції.

Способом вільної станції визначають просторові координати точок наземної геодезичної мережі та характерних точок об'єкта. При цьому використовуються електронні тахеометри в координатному режимі вимірювання без закріплення місць стояння станцій на місцевості. На двох вільних станціях, розташованих напроти аналітично визначеної діагоналі споруди, існує дві незалежно орієнтовані умовні системи координат які не пов'язані між собою. Прив'язування виконується за двома (і більше) зв'язуючими точками, що розташовані на діагоналях споруд, визначених з вільних станцій стояння. За різницями дирекційних напрямків діагоналі $\alpha_{ij}^a - \alpha_{ij}^b = \phi'$ обчислюється та прив'язується координатна система наступної станції до попередньої.

При обробці способом вільної станції зв'язуючі точки маркуються або розташовуються на чітких контурах споруди які безпомилково дешифруються.

При зніманні з проїжджої частини вулиць виміряти базис фотографування неможливо, а використання методів геодезичного прив'язування ускладнює роботу і збільшує час перебування виконавців на небезпечному місці. Вимірювання базису на місцевості замінюється на вимірювання опорного вектора на об'єкті.

Як засвідчує практика, застосування сучасних електронних геодезичних приладів, або супутникових приймачів GPS в забудованій території не завжди можливе, через відсутність видимості.

Проблему можна вирішити, якщо розташувати опорний вектор на даху, або на точках з різними висотами (землі та карнізи). Проте виникають труднощі, пов'язані з дешифруванням місця знаходження точок контрольного вектора на даху споруди або земної поверхні.

За відсутності контурів треба використовувати кушові центри покрівель, де встановлюються тахеометр та відбивач відносно умовних кушових центрів на фотограмметричній моделі.

При можливості використовуються об'єкти, характерні точки яких можна побачити та розпізнати з різних боків. До таких об'єктів належать культові споруди: собори, храми, костьоли, монастирі та ін. Вони мають купольні завершення з конструкціями яблук та хрестів, які видно з різних боків споруди. У натурі розміри цих конструкцій досягають 0,5 – 0,6 м (і більше). Проблема полягає в тому, що важко або неможливо вибрати та закріпити конкретну точку для візування з різних сторін. Таку точку доцільно вибирати на умовній просторовій середині та координувати наведенням візирної осі приладу на дотичні контурів - горизонтальні, вертикальні.

При зніманні з коротких відстаней слід використовувати спосіб розміщення розпізнавальних знаків не на об'єкті, а на переносному опорному жезлі (ПОЖ), який розміщується за гіперфокальною відстанню між знімальним приладом та об'єктом. ПОЖ збирається з окремих металевих чи пластикових елементів на

поверхні яких нанесені замарковані опознаки. Конструкція ПОЖ повинна мати достатню міцність, при якій забезпечується постійне положення нанесених опознаків.

Проекція натурного об'єкта у площині знімка може бути близькою до проекції ПОЖ (рис. 1а) або меншою від неї (рис. 1б), що виникає при зніманні моделей будівельних споруд, літаків, судів, скульптур, мостів, гідрологічних об'єктів та ін.

Використання ПОЖ значно скорочує час на польові геодезичні роботи з визначенням координат опознаків із заміною їх на довільну установку ПОЖ.

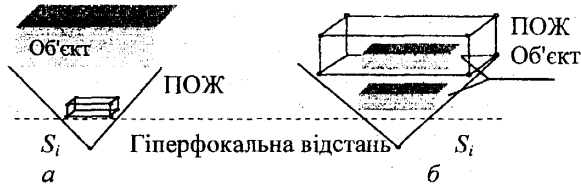


Рис. 1. *a* – проекція ПОЖ на зображення великого за розмірами об'єкта;
б – проекція об'єкта у предметному просторі ПОЖ або ближче

Організація наземної просторової фототріангуляції на забудованій території має характерні особливості. У загальному випадку наземна фототріангуляція не схожа на аеротріангуляцію, оскільки має значно більші кути орієнтування знімків, значення яких досягають десятків, сотень градусів. Наприклад, при обробленні всіх поверхонь окремої будівлі (мін чотири) орієнтування базисів змінюється у діапазоні 360° . При цьому, застосовувати традиційну методику оброблення аеротріангуляційного матеріалу в наземній тріангуляції не завжди можливо.

Розворот змінних фотограмметричних моделей до постійної геодезичної системи координат у розробленому варіанті здійснюється програмним шляхом автоматично з урахуванням логічного оператора.

За конфігурацією наземні фототріангуляційні ряди (ФР) розрізняють на незамкнуті та замкнуті, на різних рівнях від земної поверхні та різних відстанях до знімальних споруд. Незамкнуті ряди у свою чергу поділяються на дві групи: прямолінійні та криволінійні (рис. 2) різної довжини і орієнтування. У наземній фототріангуляції геодезичне орієнтування цифрових моделей залежить від форми об'єкта (конфігурації ФР) та розташування опорних векторів.

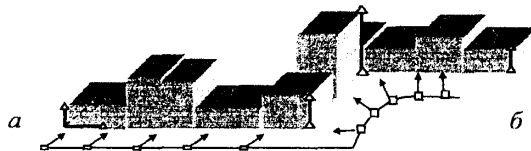


Рис. 2. Схема ФР: *a* – прямолінійні; *б* – криволінійні (стрілками позначено напрям головних променів знімальних камер)

За призначенням ФР поділяють на: окрему споруду, ряд з'єднаних - споруд, розташованих на окремій вулиці, кварталу, заповідній зоні тощо. Від цього розподілу залежить кількість та розташування опорних векторів.

Розходження між просторовими координатами кінцевих точок вектора на моделі та в натурі є вільними членами в процесі вирівнювання мережі. Опорні вектори наземної фототриангуляції можуть мати стандартне, симетричне або вільне розміщення. Так, за наявності сусідніх моделей опорні вектори розміщуються в зоні перекриття (рис. 3).

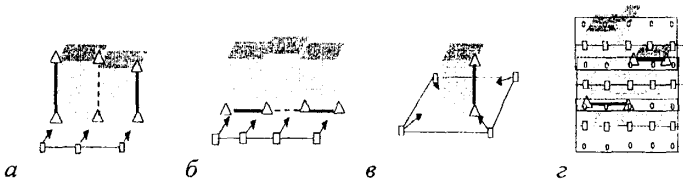


Рис. 3. Розміщення опорного вектора: а – вертикальне; б – горизонтальне; в – спільне на початковій та кінцевій моделях; з – на вертикальній площині

Стислі міські умови та багатоповерховість споруд змушують розташовувати ряди на вертикальних площинах та різних рівнях від земної поверхні (рис. 3з).

Якщо елементи зовнішнього орієнтування складаються із семи елементів α , ω , κ , X_s , Y_s , Z_s , k , то треба задати координати двох точок вектора і одну координату третьої точки X , Y , або Z .

У третьому розділі – **“Розроблення технологій збирання цифрової інформації”** – розглядаються способи отримання дистанційної різномасштабної інформації для забудованої території: об’єктів окремих, лінійних, площинних. Потреба в збиранні та оновленні матеріалів моніторингу на будівельні комунікації у міру старіння збільшується. З огляду на мету роботи розроблено технологію збирання дистанційної інформації з бортів малих носіїв (гелікоптерів, мотодельтапланів) без застосування спеціального навігаційного та фотogramметричного обладнання.

У знімальних роботах використовується вдосконалений варіант неметричної камери зі спеціальним підвісом, який дозволяє виконувати знімання із внутрішнього салону або зовнішнього боку малих гелікоптерів. Сторони кадру повинні бути паралельні траєкторії руху носія. Традиційний варіант – знімання прямолінійних маршрутів, орієнтованих за напрямом наземної траси (рис. 4а). На розворотах між маршрутами знімання не здійснюється, а пальне, час та робота пілота (оператора) проводять в пусту.

В роботі запропоновано нерозривно-смугове аерознімання (НСА), яке виконується як на прямолінійній частині маршруту, так і на кривій (рис. 4б). При цьому, процес знімання безперервний, параметри та форма перекриттів змінюються.

На кожній кривій інтервал фотографування встановлюється залежно від радіуса кривої. Радіус траєкторії носія не збігається з радіусом кривої комунікації і планується так, щоб не втрачено зображення на повороті. Для того щоб спроектувати радіуси траєкторії польоту, треба знати радіуси поворотів комунікації. Розроблена система дає змогу графічним і аналітичним методами

визначити радіуси поворотів, розміри базисів на траєкторії носія та інтервали між експозиціями окремих кадрів. У результаті теоретичного моделювання та експериментальних польотів встановлено, що спосіб НСА кращий від прямолінійних маршрутів з двох разів і більше, залежно від кривини траси.

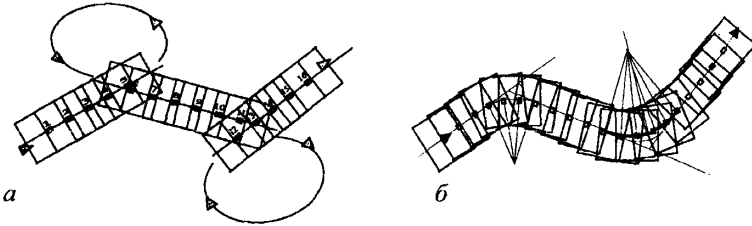


Рис. 4. а – прямолінійне знімання з розривами; б – без розривів.

Теоретично отримано математичні залежності поворотних базисів, а також подвійних та потрійних перекриттів.

Базис на поворотах (на кривій) дорівнює $B_k = 2R \sin(\kappa/2)$, де κ – кут повороту, $\kappa = \arctg(B_n/(R + L/2))$. Зі змінною розміру базису на кривій змінюється інтервал фотографування.

Поздовжні перекриття за формою відрізняються від аналогічних перекриттів на прямих частинах знімального маршруту. Так, із внутрішнього боку від центра повороту смуги, подвійне перекриття визначаємо за формулами

$$P''_{\text{внк}} = L (0,5 + \sin \kappa), \quad P''_{\text{внс}} = L (0,5 + \sin \kappa) / \cos (\kappa/2) = L \cos (\kappa/2), \quad (1)$$

а з протилежного боку смуги

$$P''_{\text{зовнк}} = 0,5L / \cos \kappa, \quad P''_{\text{зовнс}} = 0,5L / (\cos \kappa \cdot \cos (\kappa/2)). \quad (2)$$

Тут κ – кут повороту знімка; L – розмір знімальної рамки на місцевості; $P''_{\text{внк}}$, $P''_{\text{зовнк}}$ – перекриття на стороні кадру; $P''_{\text{внс}}$, $P''_{\text{зовнс}}$ – перекриття на стягувальній лінії. Подвійне перекриття між знімками має правильну шестикутну форму.

Як і подвійне, потрійне перекриття змінює значення, яке обчислюється за формулою

$$P''_{\text{вн}} = 2L \sin \kappa, \quad (3)$$

із зовнішнього боку

$$P''_{\text{зовн}} = L (\cos^{-1} \kappa - 1). \quad (4)$$

Тут $\kappa = \arctg ((1 - P''_{\text{зовн}}) / R')$; $P''_{\text{зовн}}$ – подвійне перекриття, коли розмір кадру дорівнює одиниці; $R' = R + L/2$ де R – радіус кривої переміщення носія.

Відомо, що найменший час циклу роботи аналогових та цифрових АФА $t = 1,5 - 3$ с. Знімання з меншим інтервалом ($< 1,5$ с), здійснюється асинхронним способом не одним, а двома АФА. Якщо замість двох встановлюється n апаратів, час знімання T зменшується у n разів відносно часу циклу роботи окремого АФА.

Інформація про каркасну просторову цифрову модель міської забудови (ЦММЗ) складається з графічних матеріалів топографічних великомасштабних

знімань у масштабах 1:500 – 1:2000 (плани, профілі, розрізи) та з фотограмметричних матеріалів (наземні, аеро - космічні знімки, фотоплани).

На великомасштабних топографічних планах зображується тільки проекція цоколя на горизонтальну площину і неможливо побачити стінні поверхні споруди якими вони є в натурі.

Збирання інформації для складання ЦММЗ включає збирання інформації про характерні точки ЦММЗ, що мають три координати: X , Y , Z . Точки з просторовими координатами розміщуються в просторі, що дозволяє отримати інформацію (розрізи) на потрібних площинах.

Особливість ЦММЗ полягає в тому, що це дійсна об'ємна модель. До ЦММЗ можна включати конкретну (поетапну) інформацію з будівельних об'єктів, про дорожні та комунікаційні мережі, ландшафт тощо.

Головним вихідним матеріалом для збирання інформації є середньомасштабне аерознімання – з потрібної висоти (наприклад 5000 м). Аналітичну обробку виконано з використанням програми "VZAOR" з відомими елементами внутрішнього орієнтування. Для початкової ітерації елементи взаємного орієнтування мають нульове значення. Ітераційний процес розв'язання завершується на ітерації при збіжності кутів менш як $3 \cdot 10^{-5}$ рад, що відповідає $6''$.

При знаходженні елементів зовнішнього орієнтування $X_s, Y_s, Z_s, \alpha', \omega', \kappa', K$ у нульовій ітерації аналогічно визначенню елементів взаємного орієнтування значення всіх елементів прийнято нульовими, а значення масштабного коефіцієнта $K = 1$. Передбачувана збіжність лінійних елементів $\delta X_s, \delta Y_s, \delta Z_s$ не перевищує 0,001 м, кутових елементів $\delta \alpha', \delta \omega', \delta \kappa'$ – аналогічна до елементів взаємного орієнтування. Ітераційне розв'язання завершується за декілька (3-5) ітерацій.

Точність масштабного коефіцієнта K розрахована за умови $\delta K < 0,001/Z_{\max}$.

Ряд характерних точок об'єкта, з'єднаних у певній послідовності, утворюють каркасну модель об'єкта, а n моделей розташованих у просторі, цифрову модель забудованої території. Будівлі приймаються як головний заповнюючий елемент. Бульвари, проїзди, зелені насадження, інженерні комунікації та інші елементи збираються в другу чергу.

За координатами X, Y побудовано великомасштабний план (1:1000) забудови (рис. 5), який є ортогональною проекцією об'єктів на горизонтальну площину. Для спрощення на плані не показані рельєф, проїзди та проходи всередині кварталу. Товстою лінією показані будівлі старої (фонової) забудови, які охороняються законом "Про охорону історичних пам'яток".

Як відомо, візуалізацію ЦММЗ можна здійснювати різними методами проекційної геометрії. Пропонована модель візуалізується центральною проекцією на аналітичну картинну площину (АКП).

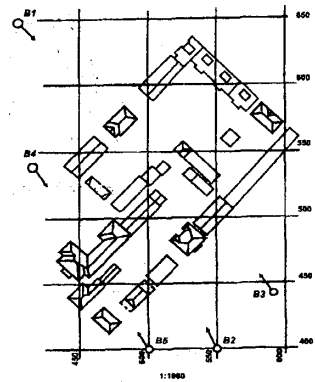


Рис. 5. План кварталу в масштабі 1:1000

За трьома просторовими координатами точок ЦММЗ та заданими елементами орієнтування (координатами точок огляду, кутовими елементами обзору α' , ω' , κ') обчислюються координати точок споруди, а за ними – власне зображення АКП. Масштаб побудови береться таким, щоб зображення повністю вмістилося на екрані.

На плані точкою $B1$ позначене положення проекції точки огляду (центру проекції АКП) на горизонтальну площину, де розміщується власне зображення з кутовими та лінійними елементами дисплея. Зображення кварталу з висоти 150 м показано на рис. 6; фокусна відстань АКП – 200 мм. Масштаб побудови АКП відповідає масштабу перспективи.

Просторове положення точки огляду можна змінювати, тобто бачити картину з будь-якої точки простору.

На рис. 7 подано візуалізацію окремого об'єкта (середньої школи № 16) з різних точок: a – над вул. Верхній (Нижній) Вал, b – над вул. Хорива з висоти 70 м.

Об'ємні моделі дають змогу зібрати та зберегти додаткову інформацію про стан стін, дахів, стель, цоколів та інтер'єрів, розрахувати об'єм, площу, зношення будівель, а також спрогнозувати термін ремонту в період експлуатації окремих споруд.

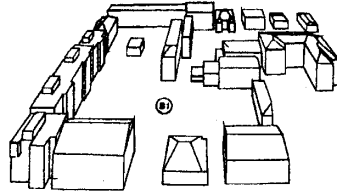


Рис. 6. Просторове зображення кварталу на Подолі

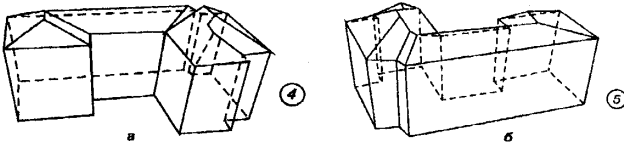


Рис. 7. Просторове зображення споруди за цифровою моделлю

Результати дослідження засвідчують, що при виборі варіанта аерознімання слід враховувати аналіз використання камер з різними фокусами та різними розмірами кадрів. Для порівняння двох варіантів знімання введено поняття “відносний коефіцієнт кількісної ефективності знімання” η_s як співвідношення площ стереопар на місцевості для різних варіантів, одержаних за умови однакової заданої точності визначення висот точок m_h при заданій точності вимірювання поздовжніх паралаксів m_p з урахуванням відомої залежності $m_p = b m_h H^1$.

Коефіцієнт кількісної ефективності представлено співвідношенням:

$$\eta_s = \frac{S_1}{S_2} = \frac{s_1 m_1^2}{s_2 m_2^2} = \frac{b_1^2 f_1^2}{b_2^2 f_2^2} = \frac{b_1^2 f_1^2 H_1^2}{b_2^2 f_2^2 H_2^2} = \frac{b_1^4 (f_1^2 m_{p1})^2}{b_2^4 (f_2^2 m_{p2})^2} \quad (5)$$

Де S_1 , S_2 площі стереопар на місцевості, отримані для різних варіантів знімання, з однаковою точністю визначення висот точок. Величини s_1, s_2 – площі

стереопар на знімках. l_i – розміри знімків, b_i – довжини базисів, H_i – висоти фотографування, m_i – масштаби знімання, f_i – фокусні відстані камер.

Відношення η_s показує взаємозв'язок використання двох варіантів камер із заміною скп висот точок на скп вимірювання паралаксів.

Аналіз (5) з використанням АФА з різними фокусними відстанями $f_1 \neq f_2$ але одного формату, приводить до функції

$$\eta_s = \left(\frac{f_2 m_{p2}}{f_1 m_{p1}} \right)^2 = \left(\frac{K_{\Delta\phi\Delta 2}}{K_{\Delta\phi\Delta 1}} \right)^2, \quad (6)$$

з можливістю вибору найбільшого коефіцієнта ефективності, що буде за найменшої кількості знімків, яка виникає у камеру з меншим фокусом.

За умови $f_1 = f_2$, з різними форматами кадру отримано відношення

$$\eta_s = \frac{b_1^3 l_1}{b_2^3 l_2} = \frac{l_1^4}{l_2^4} = \left(\frac{l_1}{l_2} \right)^4, \quad (7)$$

з урахуванням прямої пропорційності базису b до сторони кадру l . Застосування АФА з більшим форматом зменшить кількість знімків, що скоротить обсяг процесу польових робіт (знімання) та камеральних, бо зменшиться кількість визначення опознаків. Аналогічне рішення використовується при роботі з наземними камерами.

Крім фронтальної просторової інформації у вишукуваннях використовують розрізи будівельних поверхонь, за допомогою приладу заломлення лазерного променя (ПЗЛП). Відпрацьовано також запропоновану технологію отримання лазерних перерізів за допомогою лазерної указки. Система працює з малими затратами без використання змінного струму та кабельного з'єднання. Практична потужність лазерної указки та чутливість ПЗЗ сенсорів уможливило використання розробленого способу при отриманні розрізів на внутрішніх та зовнішніх частинах будівельних конструкцій.

Скп точок, розміщених на площині лазерного розрізу, визначається за формулою

$$m_{x,z}^2 = m_{\text{роз}}^2 + m_{\text{віз}}^2 + m_{\text{деф}}^2 + m_{\text{дис}}^2. \quad (8)$$

$m_{x,z}$ – скп координат точок знімка або моделі; $m_{\text{роз}}^2$, $m_{\text{віз}}^2$, $m_{\text{деф}}^2$, $m_{\text{дис}}^2$ – похибки відповідно за сумарний вплив роздільної здатності зображення (мм^{-1} , dpi), візування при вимірюванні моделі, сумарний вплив деформації фотоматеріалу, дисторсії.

Якщо при побудові лазерного розрізу використовувати стереоскопічну просторову модель, скп координати Y буде такою

$$m_y^2 = (m_{\text{роз}}^2 / 2 + 2m_{\text{віз}}^2 + 2m_{\text{деф}}^2 + 2m_{\text{дис}}^2) K^{-2}. \quad (9)$$

При цьому $K = b/f$, m_y – постійна величина для всіх точок окремої лазерної площини. Реєстрація проходу лазерної плями на поверхні споруди при багаторазовому встановленні ПЗЛП на різних відстанях дає змогу отримати на фотознімку множину концентричних розрізів. Непаралельність ліній розрізів або їх окремих частин свідчить про наявність деформації будівельної конструкції.

Скп точок на окремих розрізах не буде постійною і знайдеться відношенням

$$m_c^2 = f^{-2}((Y_i^2 + Y_{i+1}^2)m_x^2 + (X_i^2 + X_{i+1}^2)m_y^2). \quad (10)$$

Навність розрізів на різних відстанях U_i від знімальної камери підвищує ймовірність визначення просторового положення точок розрізів з урахуванням ваги за різну масштабність.

Проведені роботи з удосконаленням технології наземного знімання використовуючи загальний випадок знімання. При виконанні традиційних технологій фототеодолітних знімачів які застосовуються і зараз використовують методи орієнтування та координування станцій стояння. Для опрацювання традиційною фототеодолітною технологією при зніманні фронтальних будівельних поверхонь, проводиться ряд окремих процедур з використанням двох чи трьох штативних методів. У процесі знімання фототеодоліти встановлюють над кінцевими точками базису, який у свою чергу орієнтується відносно знімальної поверхні. Установлення камер виконується від прийнятого методу знімання: нормальний, схилений, конвергентний у яких кути нахилу головного променя α , ω , κ виставляються за допомогою високоточних орієнтирних приладів.

При використанні загального випадку знімання неметричною камерою прийнята удосконалена та спрощена система опрацювання, при якій виконуються такі етапи: умовне розмічування базисного створу вздовж знімальної поверхні; перспективне орієнтування камери без використання штативу; процес знімання запам'ятовуючи межу попереднього кадру на об'єкті; перехід на наступну – вільну точку базису.

При цьому час загального методу знімання в порівнянні з традиційним зменшується в 4 рази. Як показала практика проведених робіт, при використанні технологій обробки матеріалу на цифрових фотограмметричних станціях застосований загальний метод знімання дозволяє обробляти знімки з більшими кутами нахилу (10° - 15°), при умовних стереоскопічних спостереженнях (подвійне монокулярне спостереження), або необмежених при блочних спостереженнях з аналітичною обробкою.

У четвертому розділі – **“Математичне оброблення дійсних та умовних фотограмметричних моделей”** – висвітлюються технології автоматизації обчислювального процесу, для подальшого моделювання. Розроблені технології включають використання двох систем оброблення відзнятого матеріалу з урахуванням компланарної та колінеарної залежностей точок знімків та місцевості.

Компланарна залежність реалізується при обробленні знімків з відомими елементами внутрішнього орієнтування та невідомими елементами взаємного і зовнішнього орієнтування. Колінеарна – при обробленні знімків з невідомими елементами внутрішнього та зовнішнього орієнтувань (для оброблення архівних знімків або визначення елементів внутрішнього орієнтування для сучасних неметричних камер). Лінеаризацію трансцендентних параметричних рівнянь виконано шляхом обчислення диференціальних коефіцієнтів, як окремих аргументів спільних функціональних залежностей.

При обробленні пари знімків компланарно – ітераційним способом основним методом прийнятий загальний випадок знімання з наявністю або відсутністю стереоефекта.

Під час збирання фотографічної інформації двома камерами виникає проблема перетворення двох фокусних відстаней на єдине значення. Проблему вирішено так, що за головну береться фокусна відстань лівої камери. Фокусна відстань правої камери змінює значення на фокусну відстань лівої камери, а масштаб правого знімка програмним шляхом перетворюється на масштаб лівого знімка за допомогою передавального коефіцієнта $K_f = f_n / f_n$, тобто

$$x_n = (x'_n - M_{0x_n})K_f; \quad z_n = (z'_n - M_{0z_n})K_f. \quad (11)$$

Процес оброблення дозволяє використовувати необмежену кількість точок, як орієнтирних, так і тих, що визначаються. Результати дослідження засвідчують, що стандартне розміщення орієнтирних точок наземного знімання відрізняється від аерознімання. У разі наземного знімання при вертикально розміщених знімках працює половина кадру. Це, безумовно, має певну специфічність і враховується при проектуванні. Незважаючи на можливість введення необхідної кількості орієнтирних точок, досвід та результати дослідження свідчать, що достатня з теоретичних позицій кількість точок – п'ять – не завжди відповідає умовам правильного знаходження елементів взаємного орієнтування. При цьому, треба збільшувати кількість орієнтирних точок до моменту визначення незмінного значення елементів орієнтування. Порядок розміщення точок у вихідній матриці пов'язаний з назвою точок у базі даних. Розроблено алгоритм стискання матриці нормально-параметричних рівнянь, коли одна з трьох координат третього розпізнавального знаку невідома.

Діалогове введення керуючих параметрів дає змогу здійснювати обчислення у різних варіантах, за яких ураховується: оброблення окремої моделі чи маршруту, здійснюється з відомими чи невідомими елементами взаємного, зовнішнього орієнтування; оброблюються знімки що отримані однією чи кількома камерами; обчислюється реальний виробничий об'єкт чи здійснюється теоретичне моделювання. Максимальна кількість ітерацій обмежена до 500 (0,1 – 2 с, залежно від швидкості роботи процесора). Для зменшення кількості ітерацій запропоновано використовувати стабілізуючий фільтр для масштабного коефіцієнта, що зменшує кількість ітерацій із сотень до одиниць.

Процес оброблення включає визначення елементів взаємного та зовнішнього орієнтування окремої моделі (маршрутної, блочної). Допуски на визначення елементів взаємного орієнтування, або кутових елементів повороту фотограмметричної моделі $\varepsilon_{\alpha, \omega, \kappa} \leq 1.5 \cdot 10^{-5}$. На лінійні елементи зовнішнього орієнтування допуски визначаються за умовами: до координат центра проекції $\varepsilon_{x, y, z} \leq 0,001$ м, до масштабного коефіцієнта $\varepsilon_r \leq 0,001 / Y_{\max}$.

Кінцеве значення базису B_1 відносно прийнятого B_0 дорівнює $B_1 = B_0 \cdot K$.

$$K = \sqrt{(\sum \Delta(X, Y, Z)_r^2) / (\sum \Delta(x, y, z)_{\Phi_{\max}}^2)}. \quad (12)$$

де X, Y, Z – просторові геодезичні координати опозначів об'єкта місцевості; x, y, z – відповідні координати на фотограмметричній моделі; Δ – різниці координат, або довжини векторів на об'єкті та на моделі.

$$\begin{aligned}\sum \Delta(X, Y, Z)_i &= (X_i - X_{i+1}) + (Y_i - Y_{i+1}) + (Z_i - Z_{i+1}); \\ \sum \Delta(x, y, z)_{\Phi_n} &= (x_i - x_{i+1}) + (y_i - y_{i+1}) + (z_i - z_{i+1}).\end{aligned}$$

Програмним шляхом враховано розворот фотограмметричної моделі відносно геодезичної в діапазоні 360° . Розворот визначається за допомогою логічного коефіцієнта розвороту моделі навколо осі Z :

При цьому враховується знак P_0 .

$$\text{Якщо } SGN \sum_1^2 (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z) = SGN \sum_1^2 (\Delta x, \Delta y, \Delta z), \text{ то } P_0 = 1; \quad (13)$$

$$\text{коли } SGN \sum_1^2 (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z) \neq SGN \sum_1^2 (\Delta x, \Delta y, \Delta z), \text{ то } P_0 = -1. \quad (14)$$

Визначаються координати правого центра проєкції та просторові координати точок моделі з правого центра проєкції. Просторові координати геодезичної (натурної) моделі беруться як середні з лівого та правого центрів проєкцій, що підвищує точність.

Розроблено технологію формування бази даних об'єкта місцевості що включає:

- маркування точок на растровому матеріалі з просторовим координуванням характерних точок об'єкта;
- створення обмірних креслень у масштабах від 10:1 до 1:200, які використовуються в будівництві та архітектурі;
- відбір та розрахунок параметрів окремих частин будинків;
- вирішення технічних питань при реставрації або експлуатації об'єкта.

Розглянуто розширений варіант визначення просторових координат дослідного об'єкта, зображеного на окремому знімку, колінеарно – ітераційним способом із частково відомими або невідомими елементами орієнтування, що підходить для оброблення як метричного, так і неметричного матеріалу. Це має актуальне значення в теперішній час, коли замість аналогових метричних камер (фототеодолітів) успішно використовується інформація цифрових камер з невідомими елементами внутрішнього орієнтування та відсутністю координатних міток.

При використанні неметричних цифрових знімків виникає проблема невизначеності початку координат, яка вирішується попереднім маркуванням знімка. Початкове положення головної точки відповідає перетину діагоналей знімку, або розділенням сторін на половину, а направлення координатної осі Z , вертикальному напрямку, знятому з дослідного об'єкта. Початкове положення головної точки в процесі оброблення знімка уточнюється.

Матеріал оброблення метричної чи неметричної інформації має різну кількість вихідних. Так, при обробленні неметричного архівного матеріалу з невідомими елементами орієнтування для визначення дев'яти невідомих елементів окремого знімка потрібно мати не менше п'яти опорних точок на знімку з відомими просторовими координатами на місцевості. При обробленні

метричного матеріалу з відомими елементами внутрішнього орієнтування на окрему модель треба мати мінімально три опорні точки. Уперше запропоновано єдиний підхід до якості зображення знімків ϵ між послідовними ітераціями. Запропоновано обчислювати просторові координати точок об'єкта одиночним знімком з урахуванням структури площини будівельної споруди на поверхнях першого порядку.

Виконано експериментальні роботи цифровим моделюванням поверхонь зони невизначеності в теоретичному та практичному варіантах. За результатами теоретичного і практичного моделювання зона невизначеності не знайдена.

Розроблено теорію отримання просторової інформації при обробленні одиночного знімка, з урахуванням структурних особливостей будівельної споруди на поверхнях другого порядку. Розкрито технологію знімання поверхонь другого порядку з урахуванням різних польових кутів β або розмірів перекриттів.

Теорія визначення параметрів колових поверхонь за псевдопаралаксом при отриманні великої кількості просторових координат дає можливість аналізувати й контролювати дослідження тіла колової поверхні (башти, труби, ємкості зберігання, ін.).

Розроблено технологію аналітичного фотографування будь-яких об'єктів камерами з довільних ракурсів без використання макетних таблиць (знімків). Така система дозволяє проводити дослідження процесу моделювання в камеральних умовах без потреби виходити в поле. У наземному зніманні існують різні методи знімання з екстремальними значеннями елементів орієнтування (внутрішні, взаємні, зовнішні).

У загальному випадку знімання координати точок аналітичних макетних знімків виражаються залежностями:

$$x_i = x_0 + X_n \frac{f_0}{Y_n} + \sum \sum \delta x_i, \quad z_i = z_0 + Z_n \frac{f_0}{Y_n} + \sum \sum \delta z_i \quad (15)$$

Елементи $\sum \sum \delta x_i$, $\sum \sum \delta z_i$ є сумарними похибками точок макетного знімка які подібні сумарним похибкам реальних знімків, що включають дві складові систематичну і випадкову:

$$\begin{aligned} \sum \sum \delta x_i &= \sum \delta x_{i \text{ сист}} + \sum \delta x_{i \text{ вип}} = \delta x'_1 + \delta x'_2 + \delta x'_3 + \dots + \delta x'_n + \delta x''_1 + \delta x''_2 + \delta x''_3 + \dots + \delta x''_k, \\ \sum \sum \delta z_i &= \sum \delta z_{i \text{ сист}} + \sum \delta z_{i \text{ вип}} = \delta z'_1 + \delta z'_2 + \delta z'_3 + \dots + \delta z'_n + \delta z''_1 + \delta z''_2 + \delta z''_3 + \dots + \delta z''_k. \end{aligned} \quad (16)$$

Сумарна систематична похибка $\sum \delta_{\text{сист}(x,z)}$ складається із похибок: дисторсії $\delta x'_1$, $\delta z'_1$, деформації фотоматеріалу $\delta x'_2$, $\delta z'_2$ поправки за рефракцію $\delta x'_3$, $\delta z'_3$ зміни параметрів камери і об'єктива внаслідок впливу температури, похибки інструментальні, неперпендикутності головного променя до площини знімка та інших $\delta x'_n$, $\delta z'_n$.

До випадкових належать похибки наведення вимірвальної марки $\delta x''_1$, $\delta z''_1$; похибки обчислення $\delta x''_2$, $\delta z''_2$; похибки використання метричних $\delta x''_3$, $\delta z''_3$ і неметричних сканерів та інших $\delta x''_k$, $\delta z''_k$.

Спотворюючи аналітичні модельні знімки достовірними похибками, проаналізовано вплив окремих похибок на точність кінцевого матеріалу.

Досліджено вплив радіальної дисторсії, похибок головної точки, деформації фотоплівки при використанні неметричної апаратури. Головна похибка виникає за радіальну дисторсію, урахування якої дає змогу отримати результат з неметричних моделей, наближений до точності метричних моделей.

У теорії побудови та орієнтування моделей просторових об'єктів проаналізовано прямі та ітераційні методи оброблення отриманого матеріалу. У результаті аналізу законів проєктивної геометрії із класичними методами прикладної фотограмметрії визначено найменшу кількість опорних точок для правильного визначення куткових та масштабних коефіцієнтів при розвертанні моделей.

Виконано роботу з автоматичного орієнтування фотограмметричної моделі залежно від кута α розвороту моделі в діапазоні 360° .

Результати аналізу підтверджують можливість відмовитись від введення наближених значень елементів зовнішнього орієнтування (ЕЗО), беручи їх нульовими в першій ітерації.

При застосуванні умов колінеарності та компланарності для оброблення знімків з великими розбіжностями кутів орієнтування, при зніманні загальним випадком, стереоскопічний ефект не спостерігається і використовується монокулярне вимірювання.

Виконано роботу із загального оброблення метричного та неметричного матеріалу одного об'єкту. Використання компактного неметричного обладнання дозволяє вирішити проблему отримання дистанційної інформації. За відсутності стереоскопічної моделі замість знімання з закріплених базисних точок доцільно проводити знімання з вільних точок та прив'язуванням до опорних точок, або векторів.

У п'ятому розділі – **“Дослідження методів та апаратури, калібрування цифрової інформації”** – розглянуто методику усунення похибок, що впливають на точність побудови просторової моделі. Запропоновано методику врахування різницевої деформації знімків при роботі на вітчизняному обладнанні (раніше – на аналогових приладах): цифрових станціях, або з використанням програмних продуктів.

У процесі калібрування (компенсації) радіальної дисторсії об'єктива, деформації плівки (поздовжньої і поперечної), координат головної точки знімка визначено просторові координати точок з підвищеною точністю $m_x = 1,5$ см; $m_y = 2,5$ см; $m_z = 1,3$ см при обробленні практичної моделі на відстані 20 м.

Результати моделювання засвідчили необхідність застосування і надійність поліноміального методу калібрування відзнятої інформації. Досліджено поліноми третього порядку:

$$\begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 E^{-1} a_1 E^{-2} a_2 E^{-4} a_3 E^{-4} a_4 E^{-4} a_5 E^{-4} a_6 E^{-6} a_7 E^{-6} a_8 E^{-6} a_9 E^{-6} \\ b_0 E^{-1} b_1 E^{-2} b_2 E^{-4} b_3 E^{-4} b_4 E^{-4} b_5 E^{-4} b_6 E^{-6} b_7 E^{-6} b_8 E^{-6} b_9 E^{-6} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & x & y & x^2 & y^2 & xy & xy^2 & yx^2 & x^3 & y^3 \end{bmatrix}^T. \quad (17)$$

При цьому, існує можливість використання поліномів для конкретних об'єктів з урахуванням тільки їх похибок. Досліджено похибки апроксимації симетричними і несиметричними поліномами. Отримано спрощені поліноми, що

дає змогу калібрувати вимірювання точок знімків. Так, кількість поліноміальних коефіцієнтів для камери ІФ0606 дорівнює трьох.

Урахування радіальної дисторсії ($\sim 90\%$ сумарної) дозволяє підвищити точність визначення просторових координат на осі Y у 8 разів, на осях X, Z – у 5 – 6 разів. Знайдені коефіцієнти поліномів прораховані теоретично та досліджені на практиці. Отримані надійні, стійкі результати, що дає змогу позитивно оцінювати запропонований метод калібрування неметричних камер. Дослідження неметричних камер заповнюють пробіли, пов'язані з неможливістю використання метричних камер (відсутність фотоматеріалу) при виконанні великомасштабного знімання.

Проаналізовано модельне смугове аерознімання для збирання топографічної інформації з використанням основних способів оброблення де використовуються компланарні та колінеарні залежності між точками аерознімка та місцевості.

За умови компланарності обчислено смугові моделі з різним передаванням інформації між окремими моделями. Розглянуто варіанти передавання просторових координат між зв'язковими точками (різної кількості) та передавання правого центра проєкції попередньої моделі на наступну модель разом зі зв'язковими (однією – трьома). Отримані результати свідчать про різну точність обчислення, яка залежить від кількості точок (трьох та більше). Досліджені варіанти вирішення з визначенням помилкових елементів орієнтування та великою кількістю ітерацій (десятьків або сотень). Загалом точність компланарного та колінеарного методів практично однакова.

Дослідження колінеарного методу при смуговому аерозніманні рис. 8 виконувалось з параметрами: масштаб знімання 1:15000, висота польоту 1500 м, $f = 100$ мм. Максимальне перевищення середньої висоти польоту дорівнює ± 250 м,

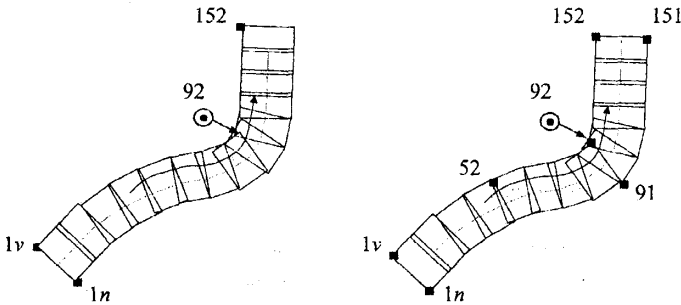


Рис. 8. Нерозривно-смугове аерофотознімання з різною кількістю та розташуванням опорних точок:

⊙ → вузлова зв'язкова точка; → напрям польоту носія

Розміри прямолінійних та поворотних базисів на ділянках траси маршруту обчислювалися з варіантами цілого та нецілого укладання.

На прямолінійних частинах подвійне перекриття $P = 60\%$. На поворотах подвійні перекриття приймалися в діапазоні $P = 50 \div 80\%$, що відповідає в'ялоподібному розміщенню окремих знімків. Проведено дослідження смугового аерознімання під впливом низки похибок. У процесі дослідження координати

знімків спотворені поправками δ_x , δ_y за вплив реальних систематичних та випадкових похибок.

За систематичні прийняті похибки: за зміну фокусної відстані камери, деформацію знімка, зміну положення головної точки знімка, вплив радіальної дисторсії. Випадкові похибки відповідають значенням генератора випадкових чисел в інтервалі від 0,1 до 10 мкм. Знак випадкових похибок на знімках змінний. Загальний вплив систематичних і випадкових похибок на кінцеві координати знімків обчислений за функціями

$$\begin{aligned} F(\delta_x) &= F_{\text{сист}} + F_{\text{вип}} = x + F((\delta_f, \delta_{\text{деф}_x} - \delta x_0) \pm \delta x_{\text{дист}}) \pm F(\delta_{\text{вип}}), \\ F(\delta_y) &= F_{\text{сист}} + F_{\text{вип}} = y + F((\delta_f, \delta_{\text{деф}_y} - \delta y_0) \pm \delta y_{\text{дист}}) \pm F(\delta_{\text{вип}}), \end{aligned} \quad (18)$$

де x , y – точні координати знімків; систематичні похибки: δ_f – фокусної відстані, $\delta_{\text{деф}}$ – деформації плівки, $\delta_{\text{дист}}$ – дисторсія об'єктиву, $\delta_{\text{вип}}$ – випадкова.

Розглянуто вплив аргументів, що спотворені похибками, на загальну функціональну залежність визначення просторових координат моделей.

1. Систематична похибка фокусної відстані через вплив температури, при якій виконувалося знімання (вона звичайно відрізняється від температури лабораторного дослідження камери), визначається як (проф. О.Л. Дорожинський “Цифрова фотограмметрія”, 2002 р.):

$$\delta_f = f\tau\Delta t, \approx f\tau(t_0 - t_1). \quad (19)$$

Якщо $\Delta t = 10^\circ\text{C}$, для камери з корпусом із силуміну температурний коефіцієнт $\tau = 2,3 \cdot 10^{-5}$ змінює фокусну відстань 100 мм на $\delta_f = 23$ мкм.

2. Коефіцієнти деформації δ визначені за пропорційними коефіцієнтами паспортних відстаней L_i між координатними мітками на камері та знімку: $\delta_{\text{деф}_x} = L_1 / L_2$, $\delta_{\text{деф}_y} = L_3 / L_4$. У дослідженні прийнято $\delta_{\text{деф}_x} = \delta_{\text{деф}_y} = 0,999565$.

3. Положення головної точки на знімку відрізнялося від нульового значення на однакову величину: $\delta x_0 = \delta y_0 = 5$ мкм.

4. Похибки координат знімків через вплив радіальної дисторсії

$$\delta_{\text{дист}_x} = xD; \quad \delta_{\text{дист}_y} = yD, \quad (20)$$

де $D = 1 - (C_{d1} + r^2(C_{d2} + r^2C_{d3}))$; квадрат радіуса-вектора $r^2 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2$;

C_{di} – поліноміальні коефіцієнти, визначені при дослідженні об'єктива.

Похибка координат знімка не перевищила значень, наближених до реальних у ортоскопічних об'єктивах, на яких дисторсія дорівнює 8 – 12 мкм.

У процесі дослідження було встановлено вплив окремих чинників на точність визначення просторових координат точок та елементів зовнішнього орієнтування. Експериментальним шляхом виключені коефіцієнти поліномів, які не впливають на результат вирівнювання.

При дослідженні впливу систематичних похибок з використанням системи BLOKMSG (Донецький технічний університет, розробка професора С.Г. Могильного) для форми маршруту, зображеного на рис. 8, визначені робочі поліноміальні коефіцієнти:

$$\begin{aligned}\delta_x &= +a_5 y^2 + a_{10} y^3; \\ \delta_y &= +b_4 x^2 + b_8 xy^2.\end{aligned}\quad (21)$$

При врахуванні різних похибок поліномами структура та значення чотирьох коефіцієнтів різняться в діапазонах $a_5 = (1 \div 10) \cdot 10^{-5}$, $a_{10} = (1 \div 629) \cdot 10^{-5}$, $b_4 = (1 \div 527) \cdot 10^{-5}$, $b_8 = (1 \div 76) \cdot 10^{-5}$. Результати дослідження зведені в табл. 1.

Таблиця 1

Вплив різних чинників на точність визначення просторових координат

Чинники	Скп								
	Точок			Центрів проєкцій					
	$\delta_{X_{i,m}}$	$\delta_{Y_{i,m}}$	$\delta_{H_{i,m}}$	$\delta_{X_{s,m}}$	$\delta_{Y_{s,m}}$	$\delta_{H_{s,m}}$	δ'_α	δ'_ω	δ'_κ
Вплив окремих похибок									
δ_f – зміна за Δt	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,41	0,00	0,01	0,04
$\delta_{деф}$ – деформації знімка	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02
$\delta_{хоуо}$ – коорд. головної точки	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02
$\delta_{дис}$ – дисторсія	0,04	0,13	0,96	0,22	0,31	0,92	0,5	0,4	0,1
$\delta_{вин}$ – випадкові похибки	0,16	0,18	0,32	0,30	0,32	0,54	0,4	0,3	0,0
Вплив сумарних похибок									
$\delta_f + \delta_{деф}$	0	0	0,02	0,01	0,01	0,35	0	0	0
$\delta_f + \delta_{деф} + \delta_{хоуо}$	0,09	0,07	0,04	0,72	0,87	0,37	0,1	0,0	0,0
$\delta_f + \delta_{деф} + \delta_{хоуо} + \delta_{дис}$	0,08	0,17	0,97	0,72	1,07	1,25	0,8	0,5	0,1
$\delta_f + \delta_{деф} + \delta_{хоуо} + \delta_{дис} + \delta_{вин}$	0,18	0,11	0,24	0,73	0,91	0,54	0,2	0,2	0,1

Дані табл. 1 об'єднані в два блоки з урахуванням впливу окремих та сумарних похибок. Похибки першого блоку відповідають, скп на 57 точках фототриангуляційного ряду. Дані табл. 1 свідчать про незначний вплив окремих похибок на точність визначення просторових координат точок місцевості та центрів проєкцій. Відчувається вплив дисторсії та випадкових помилок на точність визначення просторових координат визначуваних точок моделі та лінійних і кутових елементів орієнтування. При впливі сумарних похибок δ_f , $\delta_{деф}$, $+\delta_{хоуо}$ без дисторсії одержано доволі точний результат. Включення похибки дисторсії $\delta_{дис}$ (четвертої) до трьох попередніх, викликає стрибок зменшення точності. Включення випадкової (п'ятої) похибки, не зважаючи уваги на вплив дисторсії, піднімає точність визначення точок моделі та елементів орієнтування (зрівняти нижній рядок з попереднім у табл. 1).

Досліджено нерозривно – смугове аерознімання НСА (рис. 8) на моделях з різною кількістю визначуваних точок та різним розміщенням і різною кількістю опорних точок.

Точки на моделях (табл. 2) бралися за такими принципами: 1) при стандартному підході – шість точок на модель; 2) шість основних та додаткові точки (до 12); 3) шість основних та додаткові точки, з доданням вузлової точки. Вузлова - зв'язуюча точка в більше чим трикратному перекритті (чотирьох, п'яти й більшому, що зустрічається при застосуванні НСА).

Крім того, у дослідженні бралася різна кількість опорних точок: від мінімальної – три до 9.

У першому рядку табл. 2 наведений маршрут з трьома опорними точками, який обчислений за матрицею яка містить коефіцієнти 336 рівнянь, 120 з яких надлишкові. Визначено 42 точки маршруту (опорні точки не включено), які зображені на 14 моделях або 15 знімках. Виміряні 168 точок. Загальна кількість визначуваних точок в інших варіантах – $36 \div 58$.

Таблиця 2

Результати обчислення складного маршрутного НСА

Кількість точок моделі	Кількість					Скп координат точок місцевості, м		
	точок маршруту			рівнянь		m_x	m_y	m_H
	опор.	визнач.	вимір.	колін.	надлиш.			
6	3	42	168	336	120	0,40	0,30	0,84
	5	40	168	336	126	0,10	0,12	0,21
	7	38	168	336	132	0,10	0,14	0,21
	9	36	168	336	138	0,10	0,11	0,18
6 – 12	3	58	244	488	224	0,37	0,30	0,53
	5	56	244	488	230	0,10	0,10	0,17
	7	54	244	488	236	0,11	0,09	0,14
6 – 12 з вузловою	9	52	244	488	242	0,07	0,10	0,11
	5	56	244	488	230	0,10	0,09	0,24
	7	54	244	488	236	0,13	0,09	0,12
	9	52	244	488	242	0,09	0,09	0,11

Крім варіанта обчислення моделей з 6 – 12 зв'язуючими точками наводиться результат обчислення з вузловою зв'язуючою точкою 92 (рис. 8). Прогнозувалося, що точність мережі з урахуванням цієї точки збільшиться. Але практичний вигравш щодо точності мережі з 5 – кратним перекриттям, де розміщена вузлова зв'язуюча точка 92, незначний.

Точність мережі підвищується при п'яти і більше опорних точках. Близькі результати обчислення до точного значення при семи та дев'яти опорних точках. При цьому, точність планових координат відносно висоти зростає, що не протирічить існуючим (традиційним) результатам в інших методах знімання.

Отже, 5, 7 та 9 опорних точок достатньо для створення топографічної смугової карти масштабу 1: 5000 при методі НСА.

У роботі розглянуто дослідження і калібрування неметричної апаратури на основі аналогових та цифрових фотокамер. Дослідження проведено за допомогою лабораторних автоколімаційних методів, які дають змогу фізично побачити зміну положення вузлової точки об'єктива, або аналітичним обчисленням.

Установлено, що заводський варіант кріплення об'єктива байонетним методом має неприпустимий люфт δ до 0,3 – 0,4 мм. Результати засвідчили, що використання запропонованої трьохштифтової системи зменшує значення δ до 10 – 15 мкм.

Дослідження системи "камера – об'єктив" виконано у двох варіантах.

У першому варіанті "камера – об'єктив" та дзеркальний відбивач (ДВ) розміщений вертикально один над одним.

У другому варіанті "камера – об'єктив" з ДВ установлені горизонтально. Паралельність поверхонь скла камери і ДВ забезпечена додатковим

автоколіматором. У цьому варіанті застосований метод подвійного автоколімаційного зв'язку: досліджувана система – ДВ з одного боку, додатковий автоколімаційний теодоліт 2Т2А) – з іншого.

Застосування методу подвійного автоколімаційного зв'язку – реальна пропозиція, що може використовуватися в аналогічних дослідженнях.

За результатами дослідження для графічного визначення координат головної точки знімка (ГТЗ) на проміжних значеннях f_k побудовано діаграму траєкторії центра проекції і ГТЗ при поступальному переміщенні об'єктива у площині знімка xz . При використанні діаграми вихідною є поправка Δf_i у фокусну відстань $f_{об}$. Графічне виправлення Δf_i розміщується паралельно осі f діаграми так, щоб відрізок Δf_i спирався на лінію траєкторії ГТЗ, а на проекції траєкторії ГТЗ визначається шукана точка i . Координати x_i, z_i точки відлічуємо на шкалах координатних осей x, z .

На полі знімка, при поліномній апроксимації залишається доволі велика кінцева похибка (3 – 4 %). Помічено, що підвищення порядку раніше наведеного інтерполяційного полінома практично не покращує результат.

Експериментально виконано роботу з використанням інтерполяції кубічним сплайном або проведенням гладких кривих за вузловими значеннями функцій, визначених лабораторно. Результати засвідчили перспективність калібрування сплайн – функціями.

Використання малоформатної неметричної апаратури без калібрування знімків не дає змоги отримати достатньо точний, відносно нормативів, просторовий матеріал. Тому постає потреба дослідження неметричної апаратури аналогового та цифрового типів з метою отримання матеріалу, наближеного до метричного. При цьому, насамперед слід розглядати питання про дисторсію об'єктів, оскільки неметричні об'єктиви дають значно більші (у сотні разів) похибки, ніж метричні.

Площинні методи рахування дисторсії (у працях проф. В.Б. Дубіновського) в цьому випадку неефективні. У літературі та інтернеті наводяться різні способи виправлення спотворень за допомогою спеціальних програмних засобів – плагінів.

Аналітичне оброблення практичної моделі з растрових знімків зроблено на цифровій станції “Дельта”. Згущення опорних точок виконано методом блочної фототріангуляції з використанням програмного забезпечення BLOKMSG. При складанні фронтального плану масштабу 1:50, при зніманні масштабом 1:400, досягнуто точності 0,1 – 0,4 мм, або в натурі 5 - 20 мм. Поправки координат точок знімка визначені функціями:

$$\begin{aligned} \delta_x &= \delta_r \cdot \cos\alpha = \delta_r \cdot x/r = (C_1 + r^2(C_2 + C_3 r^2))x; \\ \delta_z &= \delta_r \cdot \sin\alpha = \delta_r \cdot z/r = (C_1 + r^2(C_2 + C_3 r^2))z. \end{aligned} \quad (22)$$

Блок із шістьох моделей, побудованих з використанням семи неметричних знімків, прив'язаний до просторових координат 12 опознаків. Координати точок верхнього ярусу визначені з точністю 5 мм. Просторове положення розпізнавальних знаків нижнього ярусу знайдено лінійними вимірюваннями і технічним нівелюванням з точністю до 2 мм.

Остаточні поліноміальні коефіцієнти, які визначені за методом найменших квадратів, ураховують систематичні спотворення на некаліброваних моделях:

$$\begin{aligned}\delta_x &= a_3 z; \\ \delta_z &= b_3 z + b_4 x^2 + b_6 xz.\end{aligned}\quad (23)$$

Здійснено калібрування неметричних знімків за наданим методом. Згідно з дослідженнями поправки координат точок на кутах знімків перевищують значення ± 500 мкм ($\pm 0,5$ мм), а в інших місцях досягають значень $1\div 10$ мкм.

У результаті використання каліброваних знімків остаточно поліноміальні коефіцієнти з урахуванням систематичних спотворень отримали симетричний, однаковий вид та порядок на двох координатних напрямках:

$$\begin{aligned}\delta_x &= a_3 x + a_4 z^2; \\ \delta_z &= b_3 x + b_4 z^2.\end{aligned}\quad (24)$$

У випадку некаліброваних знімків $m_{x,z,y}$ похибки $M_{x,z,y}$ становлять відповідно 22, 29 і 83 мм. Якщо похибки M_x, M_z за точністю близькі до умов складання плану масштабу $1:50$, то точність M_y координати Y не задовольняє. На каліброваних моделях $m_{x,z}$ у координат XZ дорівнюють 5, 8 мм, а похибка M_y координати Y – 23 мм, що відповідає вимогам складання фронтальних планів.

В загальному випадку значення $M_{\text{прост}}$ є скп для всієї моделі. У некаліброваному варіанті $M_{\text{прост}} = 52$ мм, у каліброваному $M_{\text{прост}} = 14$ мм, загалом точність для всієї моделі підвищилась майже в чотири рази.

Отже, випробувана методика калібрування дає змогу детально враховувати та досліджувати спотворення викликані радіальною дисторсією неметричних об'єктів конкретних фотокамер. Незважаючи на великі значення поправок, отримані результати задовольняють нормативним вимогам до точності векторної інформації і дозволяють підвищити якість неметричної інформації до рівня метричної.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі представлено теоретико-методологічні засади і практичні рекомендації наукового вирішення проблеми створення фотограмметричних моделей забудованих територій. Результати роботи дають змогу зробити такі науково-теоретичні та практичні висновки:

1. Запропоновано методи створення геодезичної основи з використанням способів вільної станції, контрольного вектора, переносного опорного жезла, тахеометричних координатних спостережень з прив'язкою ГНСС, які значно скорочують час на польові геодезичні роботи, особливо в небезпечних місцях.

2. Розроблено технологію збирання дистанційної інформації про просторові об'єкти місцевості з використанням нерозривно-смугового аерознімання, що дає змогу скоротити час на знімання, зменшити витрати пального, фотознімального матеріалу. Запропоновано систему асинхронного дистанційного збирання матеріалу завдяки встановленню на борту носія більше двох камер, що дозволяє зменшити циклічний час автоматичного опрацювання окремого командного приладу та отримувати інформацію в екстремальних умовах.

3. Удосконалено технологію оброблення метричних і неметричних знімків за колінеарними та компланарними залежностями, що розширить спектр розв'язання прикладних завдань.

4. Обґрунтовано теоретичні засади визначення цифрової інформації на просторові моделі об'єктів з урахуванням характеру поверхонь першого та

другого порядків, що дає можливість отримувати просторову інформацію з окремого знімка.

5. Опрацювання теоретичних та реальних фотограмметричних моделей зони невизначеності (поверхонь другого порядку) дозволяють отримувати вірні елементи орієнтування та просторові координати контурних точок.

6. На основі теоретичної розробки побудовано прикладну систему для налагодження та аналізу фотознімальних процесів, що дозволяє отримувати та досліджувати будь-які знімальні ситуації для визначення наперед заданої точності проектних або практичних робіт.

7. Відрацьовано аналітичне цифрове моделювання впливу окремих та сукупних похибок на просторове положення дослідних об'єктів, що дає можливість здійснювати попереднє дослідження в камеральних умовах.

8. Попереднє калібрування неметричних знімків до обробки фототріангуляції уможливує підвищення точності неметричної технології до рівня метричної із заміною аналогової технології на цифрову.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії, посібники

1. Прикладна фотограмметрия / Катушков В.А., Мархвіда В.Г., Бучинский Т.И., Панкратьев Ю.М., Сердюков В.М. – К.: МП “ВИТИЧ-ГЕО”, 1993. – 283 с.

2. Прикладна фотограмметрия: [навч. посіб.] / В.О.Катушков, В.Г. Мархвіда, Ю.М. Панкрат'єв, В.В. Пастух, В.М. Сердюков – К.: ІСДО, 1994. – 280 с.

3. Практичний посібник з оцінки точності визначення площ земельних ділянок на основі вимірювань на аеро – і космічних знімках / В.М. Сердюков, В.С. Готинян, В.О. Катушков, В.Я. Чернокін, Б.М. Онисько, В.В. Кучинський – К.: ГУГК, 1998. – 35 с.

4. Применение мотодельтапланов для топографической съемки и подспутниковых исследований / [Сердюков В.М., Катушков В.А., Готинян В.С., Крельштейн П.Д.] – К.: “Знання України”. – 2002. – 60с.

5. Обробка сканерних знімків на цифрових фотограмметричних станціях: [навч. посіб.] / Катушков В.О., Сулима В.О., Шульц Р.В., Денисюк Б.І. – К.: КНУБА, 2006. – 145 с.

Статті в наукових фахових виданнях

6. Катушков В.А. Составление фронтальных планов поверхностей второго порядка / В.А. Катушков, В.М. Сердюков, Б.П. Дзюба // Инж. геод. – 1989. – Вып. 32. – С.90–93.

7. Катушков В.А. Определение внецентренности передней узловой точки фототеодолита / В.А. Катушков, В. М. Сердюков // Инж. геодезия. – 1990. – Вып. 33. – С. 72 – 75.

8. Катушков В.А. Исследоване и анализ отклонений главной точки снимка при фокусировании объектива камеры / В.А. Катушков // Изв. вуз, Геодезия и аэрофотосъемка. – 1991. – № 2. – С. 89 – 95.

9. Катужков В.А. Определение параметров тел круговых поверхностей с использованием псевдопараллакса / В.А. Катужков // Инж. геодезия. – 1991. – Вып. 34. – С. 53–57.

10. Катужков В.А. Специфика крупномасштабной съемки при составлении кадастров государственных заповедных зон больших городов / В.А. Катужков // Инж. геодезия. – 1992. – Вып. 35. – С. 51–54.

11. Катужков В.О. Архітектурна фототріангуляція / В.О. Катужков // Инж. геодезия. – 1993. – Вып. 36. – С. 68 – 73.

12. Катужков В.О. Врахування деформації аеронегативів при їх оброблення на універсальних стереоприладах СД, СЦ і СПР / В.О. Катужков, В.М. Сердюков, Б.М. Онисько, М.О. Ковальчук // Вісник геодезії та картографії. – 1994. – № 1. – С. 71–75.

13. Катужков В.О. Аналітична архітектурна фототріангуляція як фактор, що значно зменшує обсяг натурних вимірів / В.А. Катужков // Инж. геод. – 1994. – Вып. 37. – С. 55–60.

14. Катужков В.О. Взаємозв'язок геодезичних та фотограмметричних робіт при інвентаризації земель / В.О. Катужков, Б.Г. Пряха, О.В. Яровенко // Вісник геодезії та картографії. – 1995. – № 2. – С. 90 – 97.

15. Катужков В.О. Побудова та орієнтування моделей просторових об'єктів / В.О. Катужков // Вісник геодезії та картографії. – 1996. – № 1. – С. 61 – 69.

16. Катужков В.О. Збір кадастрової інформації з використанням аерофотознімків середнього масштабу / В.О. Катужков, П.Ф. Жолкевський, В.М. Сердюков // Инж. геодезия. – 1997. – Вып. 38. – С. 63 – 69.

17. Катужков В.О. Аерофотознімання лінійних об'єктів / В.О. Катужков // Инж. геодезия. – 1998. – Вып. 39. – С. 84 – 90.

18. Катужков В.О. Просторова цифрова модель міської забудівлі її візуалізація та застосування / В.О. Катужков, В.М. Сердюков // Вісник геодезії та картографії. – 1998. – № 2. – С. 53 – 58.

19. Катужков В.О. Спільна обробка та аналіз неметричних та метричних моделей при вимірюванні архітектурно-історичних пам'яток / В.О. Катужков, С.Г. Рубцов, І.О. Дульський // Вісник геодезії та картографії. – 1998. – № 1. – С. 29 – 35.

20. Катужков В.А. Определение площадей способами координат и трилатерации / В.А. Катужков, В.М. Сердюков // Геодезия и картография. – 1998. – № 4. – С. 45 – 49.

21. Катужков В.О. Знімання та збір цифрової інформації з трасових об'єктів комп'ютерною технологією / В.О. Катужков // Инж. геодезия. – 1998. – Вып. 40. – С. 58 – 63.

22. Катужков В.О. Технологія збирання великомсштабної інформації про переходи трубопроводів через водні перешкоди / В.О. Катужков, К.О. Забела, В. М. Москвич, В. П. Нагорний // Вісник геодезії та картографії. – 1998. – № 4. – С. 27 – 33.

23. Катужков В.А. Моделирование макетных снимков для задач наземной фотограмметрии / В.А. Катужков, В.М. Сердюков // Геодезия и картогр. – 1999. – № 9. – С. 22 – 25.

24. Катушков В.О. Визначення закладень горизонталей з суворим та довільним введенням вихідних / В.О. Катушков // Інж. геодезія. – 1999. – Вип. 41. – С. 60 – 64.
25. Катушков В.О. Аналітичне моделювання макетних знімків / В.О. Катушков // Інж. геодезія. – 2000. – Вип. 42. – С. 66 – 73.
26. Катушков В. О. Пряха Б.Г. Вирішення реальної фотограмметричної моделі в зоні невизначеності / В.О. Катушков // Інж. геодезія. – 2000. – Вип. 43. – С. 80 – 86.
27. Катушков В.О. Рішення задачі орієнтування фотограмметричних макетних моделей в зоні невизначеності / В.О. Катушков, О.І. Дощечкін // Вісник геодезії та картографії. – 2000. – № 3. – С. 23 – 27.
28. Катушков В.О. Вирішення, аналіз, калібрування реальної, неметричної моделі ближньої фотограмметрії у зоні невизначеності / В.О. Катушков // Вісник геодезії та картографії. – 2001. – № 4. – С. 24 – 29.
29. Катушков В.О. Просторова інформація з поверхні споруд першого та другого порядку по окремому фотограмметричному знімку / В.О. Катушков, Кучинський В.В. // Інж. геод. – 2001. – Вип. 45. – С. 90 – 98.
30. Катушков В.О. Розширення можливостей аерофотокосмічного знімання використанням декількох камер / В.О. Катушков, Сердюков В.М. // Інж. геод. – 2002. – Вип. 46. – С. 108 – 113.
31. Катушков В.О. Теоретичні особливості проектування нерозривно-смугового аерофотознімання / В.О. Катушков, Катушкова К.В. // Вісник геодезії та картографії. – 2003. – №4. – С. 38 – 42.
32. Катушко В.О. Цифрове моделювання нерозривно-смугового аерофотознімання / Катушков В.О. // Інж. геодезія. – 2003. – Вип. 49. – С. 127 – 140.
33. Катушков В.О. Проектування при аерозніманні лінійних об'єктів нерозривно-смуговим методом / В.О. Катушков // Інж. геодезія. – 2004. – Вип. 50. – С. 82 – 93.
34. Катушков В.О. Розробка фотограмметричних лазерних розрізів на поверхнях будівельних споруд / В.О. Катушков // Інж. геодезія. – 2005. – Вип. 51. – С. 144 – 155.
35. Катушков В.А. Крупномасштабная съемка сторительных объектов / В.А. Катушков, В.А. Сулема // Геодезия и картография. – 2005. – № 7. – С. 32 – 36.
36. Катушков В.О. Дослідження нерозривно-смугового аерофотознімання методом цифрового моделювання / В.О. Катушков // Вісник геодезії та картографії. – 2005. – №2. – С. 38 – 42.
37. Катушков В.О. Результати оброблення трас різних форм цифровим моделюванням нерозривно-смугового аерофотознімання / В.О. Катушков, В.О. Сулима // Інж. геод. – 2006. – Вип. 52. – С. 95-108.
38. Катушков В.О. Полосная информация, полученная способом неразрывной азросъемки / В.О. Катушков // Геод. и картография. – 2006. – №9. – С. 34 - 40.
39. Катушков В.О. Аналітичне калібрування неметричної інформації з урахуванням радіальної дисторсії / В.О. Катушков, Б.Г. Пряха // Вісник геодезії та картографії. – 2007. – №5. – С. 29 – 33.
40. Катушков В.О. Загальний випадок знімання для складання фронтальних цифрових моделей / В.О. Катушков // Вісник геодезії та картографії. – 2008. – №4. – С. 31 – 34.

Патенти

41. Пат. 19005А Україна, МКИ G01C11/00, Спосіб картографування по аерокосмічних знімках / Сердюков В.М., Катушков В.О., Онисько Б.М., Олійник С.В.; – №96062273; заявл. 10.07.96; надр. 25.12.97. Бюл. – № 6.

42. Декл. пат. 40212А Україна, МПК G01C11/00, G03B37/04, Спосіб аерофотознімання або космофотознімання / Готинян В.С., Катушков В.О., Сердюков В.М. та ряд авт.; ДНВП "Природа"– №2000105756; заявл. 10.10.2000; надр. 16.07.2001. Бюл. – № 6.

43. Пат. 75886С2 Україна, МПК G01C11/00, Спосіб аерознімання лінійних мереж / Катушков В.О., Бурачек В.Г. та ряд авт.; ДНВП "УКРІНЖІЕОДЕЗІЯ"– №2003010560; заявл. 22.01.2003; надр. 15.06.2006. Бюл. – № 6.

Праці у збірниках наукових доповідей симпозіумів та конференцій

44. Катушков В.О. Просторові стереомоделі місцевості за прив'язкою до картографічного або електронного вектора // ГІС – Асоціація України: Мат. VI між. Наук. – практ. конф., 17-19 трав. 2006 р. – К.: КНУБА – С. 156 – 159.

45. Катушков В.О. Радіальна дисторсія дистанційних неметричних моделей // Мат. "ГІС – Форуму – 2007", 16 – 18 трав. 2007 р. – К.: КНУБА – С. 62 – 64.

АНОТАЦІЯ

Катушков В.О. Методи і моделі дистанційних вимірювань у будівництві.

– Рукопис.

Дисертацією є рукопис на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія. – Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ, 2011.

Розроблені методи геодезичної опори: вільної станції, горизонтального, вертикального опорного вектору, переносного жезлу, що дозволяють вирішити проблеми виконання прецизійних робіт у міських умовах, з негативними факторами руху пішоходів, наземного та підземного транспорту, неможливих для вимірювання мертвих зон.

Виконана оптимізація класичних методів оброблення за колінеарними та компланарними залежностями картинного зображення з відповідними об'єктами природи. Створені програмні продукти FOTO1, VZAOR для дослідження та практичного використання процесу камерального оброблення.

Відпрацьована система калібрування неметричної знімальної інформації для звичайної неметричної апаратури. Установлено, що попереднє калібрування матеріалу до оброблення на цифровій фотограмметричній станції наближує неметричну модель до точності метричної.

Вирішення задачі зони невизначеності при аерознімальному та наземному варіантах привело до позитивного результату з вірним визначенням елементів орієнтування знімальних камер та точок об'єктів місцевості.

Уперше запропонована система нерозривного знімання та оброблення дистанційної інформації вздовж лінійних комунікацій.

Застосована технологія отримання знімальної інформації асинхронним способом.

Розроблений варіант збирання просторової каркасної інформації з візуалізацією методом аналітичної картинної площини, що дозволяє вирішувати задачі міського будівництва та проектування, комунального обслуговування споруд в період експлуатації.

Удосконалення загального випадку знімання скорочує час польових робіт у чотири рази. Орієнтування знімальної камери проводиться без використання орієнтирного обладнання та штативів що виконувалося в традиційній фототеодолітній технології знімання.

К л ю ч о в і с л о в а : просторова цифрова модель об'єкта місцевості; моделювання польового, камерального процесів; калібрування неметричної інформації; просторовий обмір будівельних споруд; нерозривне смугове аерознімання.

АННОТАЦИЯ

Катушков В.А. Методы и модели дистанционных измерений в строительстве. – Рукопись.

Диссертация является рукописью на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.24.01 – Геодезия, фотограмметрия и картография. – Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, 2011.

Предложены новые технологии создания геодезических опорных сетей, для сбора дистанционной информации с использованием аэрофотокосмической и наземной съемок, компьютерной обработки отснятого материала при создании пространственных моделей наземной ситуации на плотнозастроенных городских территориях.

Разработаны методы создания геодезического обоснования: свободной станции, горизонтального, вертикального опорного вектора, переносного жезла что позволяет решить проблемы производства высокоточных работ в городских условиях с наличием мешающих факторов, таких как – движение пешеходов, влияние наземного подземного транспорта, наличия недоступных для наблюдения и измерения мертвых зон.

Оптимизированы методы обработки отснятого материала с использованием классических методов коллинеарной и компланарной связи картинного изображения с соответствующими объектами природы. При этом возможна обработка информации, которая получена камерами с разными фокусными расстояниями, разными ракурсами, разным временем съемки. Созданы программные продукты FOTO1, VZAOR для исследования и практического применения процесса камеральной обработки с широким диапазоном ввода данных. Разработан процесс привязки отдельных координатных систем фотограмметрических моделей обрабатываемого объекта в постоянную геодезическую систему координат. Направление главных лучей снимаемых камер может отличаться на 180° с периодом оборота в 360° , что актуально при работе на застроенных территориях, где полная информация об объекте отсутствует и собирается по частям на каждую проектную поверхность в отдельности.

Отработана система калибровки неметрической съёмочной информации для обычной, неметрической аппаратуры. Отмечено, что при обработке некалиброванного растрового материала возможно получить допустимые по точности координаты объекта только во фронтальной плоскости для двух координат X, Z . Предварительная калибровка отснятого материала, до обработки на цифровой фотограмметрической станции, приводит пространственные координаты неметрической модели к точности модели полученной метрической аппаратурой в пределах инструктивной точности.

Установлено положительное решение задачи определения пространственных координат объекта в зоне неопределенности, при аэросъёмочном и наземном вариантах на теоретических и практических моделях.

Впервые предложена система непрерывного сбора и обработки дистанционной информации вдоль линейных коммуникаций с веероподобным расположением снимков, которая сокращает время сбора материала, расход горюче – смазочных и фотосъёмочных материалов более чем в два раза, что зависит от продолжительности съёмочного маршрута. Предложенная технология возможна при съёмке площадных объектов, когда используется метод параллельных маршрутов. Поворот носителя при этом проводится в зоне съёмки без выключения съёмочной аппаратуры на разворотах.

Предложена технология получения съёмочной информации асинхронным способом с установкой нескольких камер на борту одного носителя, что позволяет сократить время между отдельными кадрами или уменьшить промежуток времени между экспозициями при больших скоростях полета.

Разработанный вариант сбора пространственной каркасной информации с визуализацией цифровой модели городской постройки методом аналитичной картинной плоскости, позволяет: получить объективную информацию; решать задачи городского строительства и коммунального обслуживания сооружений в периоды проектирования, эксплуатации; собирать базы данных на отдельные сооружения, кварталы, районы города.

Разработка технологии общего способа наземной фотограмметрической съёмки позволяет сократить время полевых работ в четыре раза. Ориентирование съёмочной неметрической камеры проводится без использования специального ориентирного оборудования и штативов, которые применяются при традиционных технологиях с использованием фототеодолитов.

К л ю ч е в ы е с л о в а : пространственная цифровая модель объекта местности; полевой процесс; камеральный процесс; калибровка неметрической информации; пространственный обмер строительных объектов; неразрывная полосная аэросъёмка.

ANNOTATION

V. Katushkov. Methods and models of distance measurement in the construction industry. – Manuscript.

Thesis for a doctor's degree by specialty 05.24.01 – geodesy, photogrammetry and cartography. – The Kyiv National University of Construction and Architecture, Kiev, 2011.

New technologies of geodetic backbones, gaining using ground-based and aerial survey, data computer processing while the creation of spatial models of ground-based situation in dense-occupied urban areas are offered.

The methods of geodetic control creation were developed: free station, horizontal, vertical supporting vector, portable rod – allow to solve the problems of high-accuracy works production in urban conditions including interfering factors such as pedestrian circulation, surface and underground transport influence, inaccessible for dead zone measurement.

The methods of footage processing using the classic methods of imagery colinear and complanar connection with appropriate nature models. Program products FOTO, VZAOR were created for the research and practical use of office studies process.

The system of non-metric survey information calibration was worked out for usual non-metric apparatus. It is noticed that while processing non-calibrated raster data it possible to obtain permissible on accuracy object frontal coordinates. Pre-calibrating of survey data before processing on digital photogrammetric station reduces spatial non-metric model to model accuracy obtained fro metric apparatus.

The favourable task solution in the area of ambiguity in aerial and ground-based variants was determined while the research of theoretical and practical models. The system of indissoluble gaining remote information and its processing along the linear communications with fan-shaped pictures order, which shortens the time of gaining data more than twice.

Key words: spatial digital object model, field works, studies process, non-metric information calibration, the spatial measurements of construction objects, indissoluble survey.