

КИЇВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

На правах рукопису
УДК 528.022+551.510

ТКАЧЕНКО Анатолій Григорович

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ КУТОВИХ ВИМІРЮВАНЬ В УМОВАХ
ФЛУКТУАЦІЙНИХ ОПТИЧНИХ АНОМАЛІЙ В ПРИЗЕМНОМУ ПОВІТРІ

05.24.01 - Геодезія

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1994

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00810492 (O)

LIBRARY OF THE NATIONAL UNIVERSITY OF THE UKRAINE
IM. V. STEFANYK

УКРАЇНА
010 100 000

LIBRARY OF THE NATIONAL UNIVERSITY OF THE UKRAINE

LIBRARY OF THE NATIONAL UNIVERSITY OF THE UKRAINE

КИЇВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

КАЧЕНКО АНДРІЙ ГРИГОРОВИЧ

На правах рукопису

УДК 528.022+551.510

КАЧЕНКО Анатолій Григорович

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ КУТОВИХ ВИМІРЮВАНЬ В УМОВАХ
ФЛУКТУАЦІЙНИХ ОПТИЧНИХ АНОМАЛІЙ В ПРИЗЕМНОМУ ПОВІТРІ

05.24.01 - Геодезія

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Київ - 1994

Дисертація є рукопис.

Робота виконана в Київському університеті ім. Тараса Шевченка

Науковий керівник - кандидат технічних наук, професор

ХАРЧЕНКО Андрій Семенович

Науковий консультант - кандидат технічних наук, доцент

БІЛОУС Володимир Васильович

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор ДЖУМАН

Богдан Михайлович

кандидат технічних наук, доцент КАВУНЕЦЬ

Дмитро Нестерович

Провідна організація:

Українське аерогеодезичне підприємство

ГУГКК при Кабінеті Міністрів України

Захист відбудеться " 7 " квітня 1994 р. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.18.02 по захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук при Київському Державному технічному університеті будівництва і архітектури за адресою: 252037, м.Київ-37, Повітрофлотський проспект, 31 /ауд. 319/466/015⁰⁰

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Київського Державного технічного університету будівництва і архітектури за адресою: 252037, м. Київ-37, Повітрофлотський проспект, 31.

Автореферат розісланий " 3 " березня 1994 р.

Вчений секретар спеціалізованої ради

д. ф.-м. н. Кислюк В.С.



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

А к т у а л ь н і с т ь т е м и. З переходом при топографічному зніманні до масштабного ряду від 1:5000 до 1:500 виникла необхідність у підвищенні щільності геодезичної основи. Розвиток світлодалекомірної техніки сприяв широкому впровадженню полігонометричного методу створення опорних сіток. Це призвело до зростання питомої ваги вимірювань, які виконують у приземному повітрі, найбільш підвладному впливу швидкоплинних турбулентних процесів. В сонячний день коливні зображення віддалених предметів навіть неозброєним оком сприймаються як такі, що розтягнуті й зміщені по азимуту в струменях повітря. Вірогідно це явище - наслідок певним способом орієнтованих асиметричних короткоперіодичних коливань зображень, що в геодезичному плані несуть елемент систематичного рефракційного впливу на результати опостережень. Воно потребує спеціального вивчення. В цьому полягає актуальність запропонованої теми роботи.

М е т а р о б о т и. Вивчення оптичних властивостей швидкоплинних турбулентних процесів, а також розробка, дослідження та обґрунтування рекомендацій, спрямованих на підвищення точності кутових вимірювань, що виконуються в приземному повітрі в умовах асиметричних короткоперіодичних коливань зображень спостережуваних об'єктів.

О с н о в н і з а в д а н н я д и с е р т а ц і й н о ї р о б о т и. Аналіз вітчизняного і зарубіжного досвіду досліджень кутових спостережень в складних умовах атмосферної оптики приземного шару повітря. Вивчення геодезичного аспекту механізму коливального процесу, який визначає аномальні властивості оптики турбулентної атмосфери. Дослідження оптичних властивостей турбулентних коливань зображень спостережуваних об'єктів. Розробка рекомендацій по подоланню рефракційної дії короткоперіодичних коливань зображень візирних цілей у вимірюваннях горизонтальних кутів.

М е т о д и ч а д о с л і д ж е н ь включає теоретичне обґрунтування та експериментальне вивчення основних положень дисертації з використанням спеціально розроблених автором приладів та пристроїв і базується на загальних принципах обліку атмосферного впливу на геодезичні виміри, які отримали сучасний розвиток.

у працях видатних вчених: Большакова В.Д., Джумана Б.М., Ізотова О.О., Казанського Ф.М., Куштіна І.Ф., Мещерякова Г.О., Островського А.Л., Пеллінена Л.П., Прилепіна Т.М., Рабіновича Б.Н., Тартачинського Р.М., Урмаєєва М.О., Юношева Л.С., Яковлева М.В. та багатьох інших вчених і фахівців.

На у к о в а н о в и з н а р о б о т и полягає у сліду-
ючому:

- короткоперіодичні азимутальні коливання зображень візованих об'єктів вперше досліджені як фактор систематичної рефракційної дії на результати куткових вимірювань;
- розроблені й досліджені рекомендації по оптимальному візуванню об'єктів спостережень в умовах флуктуаційних оптичних аномалій у приземному шарі повітря;
- досліджений спосіб редукування результатів вимірювань горизонтальних кутів до моменту переходу температури повітря на місце-вості через середньодобове значення.

О б г р у н т о в а н і с т ь т а в і р о г і д н і с т ь теоретичних висновків і практичних рекомендацій. Наукові положення, висновки і рекомендації обгрунтовані теоретичними та дослідно-експериментальними розробками. Вірогідність результатів теоретичних розробок та експериментальних досліджень підтверджується дослідно-експериментальним та виробничим матеріалом.

П р а к т и ч н е з н а ч е н н я р о б о т и. Розроблені рекомендації можуть бути використані в геодезичному виробництві при виконанні куткових вимірювань в умовах турбулентної атмосфери приземного шару повітря з метою мінімізації рівня нев'язок.

Р е а л і з а ц і я р е з у л ь т а т і в д о с л і д - ж е н ь. Результати розробок використані в наукових дослідженнях лабораторії геодезії, картографії та фотограмметрії НДЧ Київського університету ім. Тараса Шевченка "Топографо-геодезичні обстеження підводних переходів нафтопроводів", № держ. реєстр. 76015404; "Удосконалення геодезичного контролю за станом підводних переходів магістральних нафтопроводів", № держ. реєстр. 72025469; "Технічна паспортизація підводних переходів магістральних нафтопроводів з метою впровадження періодичних обстежень", № держ. реєстр. 0183001330. Розробки впроваджені також в практику виробництва Спеціалізованого тресту "Підводтрупопровід". Використані в дисертації авторські розробки демонструвалися на ВДНГ СРСР та УРСР, де

нагороджені бронзовими медалями.

А р о б а ц і я р о б о т и. Основні положення і результати досліджень доповідались на: VI Всесоюзній конференції по тематичному картографуванню "Завдання картографічного забезпечення охорони природи та довколишнього середовища СРСР" /Київ, 1975/, науково-технічній конференції "Удосконалення астрономо-геодезичних та фотограмметричних робіт" /Ростов-на-Дону, 1985/, республіканських науково-технічних конференціях і семінарах "Геодезичні та фотограмметричні роботи в будівництві" /Київ, 1977/, "Державне топографічне знімання в народному господарстві" /Київ, 1985/, "Удосконалення методів проведення високоточних геодезичних і фотограмметричних робіт при побудові та експлуатації інженерних споруд" /Київ, 1986/, а також наукових конференціях професорсько-викладацького складу Київського університету /Київ, 1982, 1985, 1988/.

П у б л і к а ц і ї. Результати досліджень по темі дисертації опубліковані в 18 друкованих роботах, а також у звітах по науково-дослідній роботі.

С т р у к т у р а т а о б с я г р о б о т и. Дисертація складається з вступу, трьох розділів, висновків та бібліографії. Загальний обсяг роботи складає 133 стор., в тому числі 14 мал. та 21 табл. Список літератури включає 117 найменувань.

ЗМІСТ РОБОТИ

В с т у п. У вступі обґрунтовані актуальність проблеми, доцільність і необхідність проведення досліджень, намічені мета й завдання теоретичних та експериментальних досліджень.

Р о з д і л I. Наведені загальні відомості про рефракцію, її складові, фактори утворення та механізм дії.

На результати вимірювань горизонтальних кутів деформуючою дією впливає бічна рефракція. Формується вона під впливом рефракційних полів, нескінченна різноманітність яких спричинюється складною взаємодією сонячної радіації з підстиляючою поверхнею. Розрізняють три основні типи полів рефракції: загальноземне, регіональні й топографічні поля. Наступним елементом класифікації може бути виділене турбулентне поле рефракції.

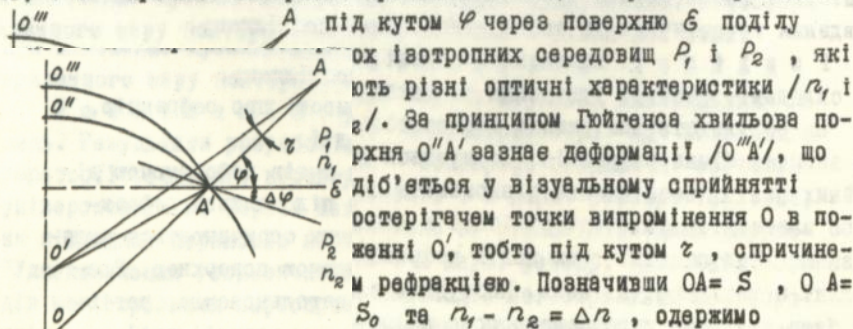
Дійсно, обумовлені множинністю і динамізмом структурно однорідних турбулентних утворень на шляху променя, високоамплітудні

флуктуаційні оптичні аномалії під бічною дією градієнтів метеоелементів атмосфери набувають асиметричної форми. Завдяки інерції ока виникає ефект розтягування зображення, який модулюючим фактором накладається на короткоперіодичні коливання. Асиметрія процесу призводить до зміщеного сприйняття положення осі візирного променя. Наслідок - систематичні похибки вимірювань, які мають рефракційну природу.

Огляд досліджень бічної рефракції показує, що згадана похибка не відображена в існуючій теорії, обмеженій наближеною інтерпретацією статистичних властивостей поля показника заломлення в турбулентній атмосфері. Останнє негативно відбивається на розвитку метеорологічних, компенсаційних та рефрактометричних методів подолання дії рефракції. Натомість в практику виробництва впроваджуються методи мінімізації, які забезпечують лише частковий ефект зниження рівня рефракційного впливу на результати вимірювань. Подальше розширення знань про бічну рефракцію вбачається в поглибленому вивченні турбулентного фактора і розробці ефективних засобів подолання його дії на геодезичні спостереження у приземному шарі повітря.

Р о з д і л 2 містить теоретичні передумови досліджень турбулентної рефракції.

Різниця рефракції може бути виведене з умови візуального зміщення зображення джерела променя в процесі заломлення на неокінченно тонкій межі двох середовищ. На мал. 1 точка O - джерело, а A - приймач візирного променя. В точці A промінь проходить



$$z = \rho \frac{S_0}{S} \Delta n \cdot \operatorname{ctg} \varphi \quad /1/$$

на зображення джерела про-
 мменя в процесі заломлення. Вивчення на основі закону Снелліуса
 умов заломлення близьких за напрямком

променів показує, що переважаючим у формуванні кута рефракції є фактор заломлення на останній входженні променя до приймача межі поділу середовищ. Якщо такою межею є динамічна поверхня турбулентного утворення, приріст $\Delta\varphi$, спричинений поточними змінами орієнтації заломлюючої поверхні, перетворить рівняння /1/ до вигляду

$$\tau = \rho \frac{S_0}{S} \Delta n \left(\text{ctg} \varphi - \frac{\Delta \varphi}{\rho \cdot S \cdot \sin^2 \varphi} \right), \quad /2/$$

або якщо прийняти $S_0 \cong S$ і $\varphi = 90^\circ$, одержимо змінну частину виразу /2/ в диференціальній формі

$$d\tau = -\Delta n \cdot d\varphi \quad /3/$$

Рівняння /3/ показує, що динамічна складова рефракції залежить від змін фізичного стану та просторової орієнтації турбулентних утворень.

Фізичну інтерпретацію процесу заломлення в атмосфері відтворюють на основі законів газового стану формулою

$$\text{grad } n_e = -\frac{n_e - 1}{T} \text{grad } T + \frac{n_e - 1}{p} \text{grad } p - \frac{n_e - 1}{p} \text{grad } e, \quad /4/$$

де $\text{grad } n_e$ - градієнт показника заломлення атмосферного повітря n_e , а $\text{grad } T(p, e)$ - відповідно градієнти температури T /тиску p та вологості e / повітря.

Відомо, що визначальну роль в формуванні $\text{grad } n$ відіграє температурний фактор. За теорією розповсюдження тепла в турбулентній атмосфері істотного значення набувають поля мікропульсацій температури та пов'язаної з нею вологості. Вони переносяться з деякою сталою швидкістю без зміни внутрішньої структури, гіпотези про будову якої носять статистичний характер.

За даними мікрометеорології уявляється вірогідною слідуюча модель турбуленції. Зароджені під впливом сонячної радіації на межі зіткнення атмосфери з підстеляючою поверхнею квазіконічні вихрові утворення при переміщенні в полі сил гравітації мають достатній запас енергії, щоб не бути миттєво поглинутими оточуючим середовищем. Вивільнена енергія притягує до орбіти спіралевидного висхідного руху частки оточуючого повітря. Вихор розширюється, поступово втрачаючи швидкість і енергію. Деякий час він ще зберігає свою структуру, але поступово змішується з масою залишків таких же утворень. Його ядро завдяки вивільненій енергії нагрітого повітря й водяної пари має меншу густину, а відповідно й показник заломлення в порівнянні з довколишнім середовищем. Поверхня

контакту ядра з оточуючим повітрям набуває заломлюючих властивостей. Множинність та динамізм турбулентних утворень визначають нестійкість зображень об'єктів візування, їх короткоперіодичні коливання по висоті та азимуту.

Ймовірні два варіанти коливального процесу. Перший - коли відсутнє бокове переміщення турбулентних утворень. Завдяки випадковості процесу зародження вихорів коливальний рух набуває в цілому хаотичної структури. В другому варіанті, зазнаючи бічного тиску й завдяки щільному приляганню вихори переміщуються по висхідній похилій. Заломлення відбувається на однотипно деформованих бічною дією поверхнях, які одна по одній зміщуються зі сталою швидкістю по азимуту. На зміну променю, що вже зазнав розгортки на попередній поверхні, "пливе" інший, виключивши із зорового сприймання зворотний рух. Така струминність створює ефект упорядкованих асиметричних коливань, які у відповідності з формулою /3/ спроможні призвести до посилення систематичного впливу рефракційної природи на результати спостережень.

Розглянемо особливості загального ходу температури повітря на рівнинній місцевості. Для деякої висоти H над земною поверхнею цей хід може бути описаний рівнянням

$$T(t, H) = \bar{T}(H) + T_0(H) \cdot \cos(\omega t + \varphi), \quad /5/$$

де $T(t, H)$ - поточне значення температури повітря в зазначеній точці, $\bar{T}(H)$ - її середньодобова величина, $T_0(H)$ - амплітуда добових коливань температури, $\omega = 2\pi/P$ - кутова швидкість добового обертання Землі, P - період коливань /доба/ і φ - початкова фаза. Температура повітря на один і той же момент часу в точках заданого шару повітря є похідною від фізичних властивостей поверхонь, підстеляючих точки зондування, наслідком чого є відміни в значеннях $T_0(H)$ в цих точках. Різноманітні графіки температурного ходу в згаданих точках, підпорядковані одній і тій же косинусоїді, будуть перехрещуватись в моменти, для яких $T(t, H) = \bar{T}(H)$. породжені різницею амплітуд горизонтальні градієнти температури повітря, підпорядковані тим же принципам загального ходу, в зазначені моменти будуть здійснювати перехід через нуль.

Отже, середньодобове значення температури в певному шарі повітря для атмосфери рівнинних територій є своєрідним температурним фоном з притаманними йому властивостями - макроперіодичністю та відносною сталістю в часі й над значними ділянками місцевості

Базуючись на вищезазначеному, можна прийняти, що довгоперіодична складова рефракції, сформована метеорологічними факторами стану атмосфери, в добовому ході наслідуює за структурною побудовою температурний графік з переходом через нуль поблизу моменту переходу температури через середньодобове значення в шарі повітря, що містить візирний промінь.

Р о з д і л 3 присвячений експериментальним дослідженням короткоперіодичних коливань зображень візирних цілей як фактора рефракційного впливу на результати кутових спостережень.

Вивчення оптичних властивостей коливних зображень об'єктів було розпочато дослідженням надійності візування в приземному повітрі евристичною вибіркою центру коливань. У досліді було запропоновано використати лінійний індикатор - насадку-компенсатор горизонтальних зміщень зображень візирних цілей. Основу насадки складає механізм плоскопаралельної пластинки, ось обертання якої розташована вертикально і в робочому положенні співпадає з зображенням вертикальної нитки зорової труби теодоліта. Фіксований поворот пластинки зміщує зображення візованої точки в горизонтальній площині відносно початкового положення на відстань, що вимірюється за допомогою мікрометра. Осереднений результат допоміжних наведень насадки в полі зору нерухомої труби теодоліта дозволяє визначити поправку до результату початкового візування.

Експеримент проводився в Києво-Святошинському районі /в мікрокліматичних умовах заплавної луки р. Буча/ в червні-липні 1983 року переважно в тиху сонячну погоду. За базовий прилад правив теодоліт ТБ-І. Візирною ціллю служила марка з вертикальним візирним штрихом /розсувним/ на широкому білому полі, що забезпечувала найбільш наочне уявлення про характер азимутальних коливань зображень серед випробуваних типів марок.

Марки розташовувались на відстанях 50, 100 і 200 м горизонтальної ділянки так, щоб візирний промінь проходив на висоті 1,4 - 1,6 м від підстеляючої поверхні. Прилад і марки досить ретельно ізолювались від прямої сонячної радіації. Вимірювання виконувались сер'ями по чотири прийоми /кількість наведень в прийомі визначалась за даними лабораторних досліджень насадки/ на початку парних годин дослідовно з 8.00 до 20.00 по кожній відстані.

Математична обробка результатів вимірювань показала, що амплітуди середніх відхилень допоміжних візувань від початкового

не перевищують в перерахунку на кутові міри $0,4''$, а середні квадратичні похибки зростають в квазілінійній залежності від зростання температури повітря і відстані до спостережуваної марки. Варта уваги тенденція до однобічності відхилень, що наслідувала візуально спостережуваний напрямок "течі" коливань. Подальші аналогічні дослідження в умовах міста, поблизу шосе та лісосмуг підтвердили цю тенденцію. Імовірна причина - звикання ока до напрямку "течі" коливань при розтягуванні процесу візування.

Одночасно проводилось амплітудне вивчення струминних коливань за допомогою оптичного приладу зі спеціальною сіткою ниток /ґребінцем/. Спостереження коливань в сітці паралельних вертикальних ліній носили якісний характер і дозволили розчленувати механізм процесу. Зі сторони, поверненої в бік напрямку "течі" /завітряна/ амплітудні відхилення максимальні і носять переважно безладний, хаотичний характер, маючи часом короткі амплітуди, а то навіть дроблячись, відриваючись від основного зображення і відносячись далеко в бік. З протилежного /навітряного/ кінця амплітудні відхилення мінімальні й ніби натикаються на перешкоду, лише зрідка долаючи її. Зорово це сприймається як ефект розтягування зображень об'єктів струминними коливаннями й асиметрія останніх.

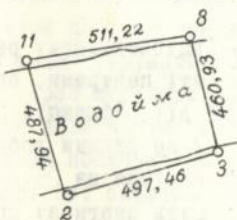
Кількісні характеристики коливального руху вивчалися за допомогою насадки-компенсатора. Дослідженню підлягали осі кінцевих зон відхилень /мінімальних та максимальних/, а також амплітудна ось коливального процесу. Вимірювання проводились в серпні 1983 р. за схемою, яка складалась з трьох груп спостережень /по кількості згаданих осей/. Окрема серія вимірювань в кожній групі включала по 36 наведень з фіксацією відліків і проводилась в межах 8-10 хвилин. Обробка серій ймовірно-статистичним методом показала, що результати вимірювань не суперечать закону нормального розподілу, й підтвердила наявність ефекту розтягування коливного зображення, асиметричного в напрямку "течі" коливань.

Дослідження дії згаданого ефекту на результати кутових вимірювань були проведені в ході апробації варіантів вибору оптимальної осі візування при спостереженнях коливних зображень об'єктів. В якості варіантів спостерігались осі мінімальних та максимальних відхилень, а також амплітудна ось коливань. Для проведення експерименту була обрана така горизонтальна ділянка місцевості з одно-

Рідною підстеляючою поверхнею, щоб весь випробувальний полігон розташовувався в межах дії одного топографічного поля рефракції /обмежене путівцем узлісся південної експозиції/. На ділянці були закладені три пункти, що утворювали трикутник зі сторонами 250 - 400 м /одна сторона була розташована вздовж узлісся. Пункти закріплювались азбестоцементними трубами, що височіли над землею на 1,4-1,5 м. Нижня частина труби на глибині 1-1,2 м закінчувалась бетонним якорем. В торець верхівки труби був вмонтований становий гвинт.

Куты трикутника вимірювались одночасно на всіх пунктах за допомогою добре юстированих теодолітів ТБ-1 з тонкими візирними вішками на містках. Теодоліти ізолювались від прямої сонячної радіації за допомогою великих наметів. Спостереження проводились виконавцями однакової кваліфікації по круговій системі. Вимірювання по кожному варіанту виконувались серіями по чотири прийоми тихими сонячними днями /або при слабому зітерці/ на протязі квітня-травня 1984 р. Спосіб спостережень - видозмінених кругових прийомів. Аналіз обробки результатів 24-денних спостережень показав, що вимірювання горизонтальних кутів у приземному повітрі візуванням на амплітудну ось $m_{\beta} = \pm 1,04''$ та ось мінімальних відхилень $m_{\beta} = \pm 0,80''$ не суперечать очікуваній точності, але останній спосіб відзначався дещо кращими показниками. Для пояснення явище була запропонована гіпотеза, що ось мінімальних відхилень коливних зображень з наближеною до енергетичної осі асиметричного коливального процесу, але таке припущення потребувало подальшого вивчення та обґрунтування.

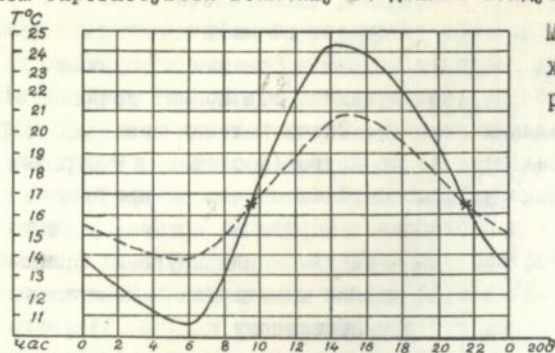
З метою дослідження рефракційних властивостей короткоперіодичних коливань був обраний випробувальний полігон в умовах ландшафтної межі "суходіл-всда" /мал. 2/. Результати зондування температури повітря на висоті 1,5 м над підстеляючою поверхнею розлогого берега та в продовженні горизонтального шару над водою показали



Мал. 2. Схема геодезичної сітки дослідного полігона.

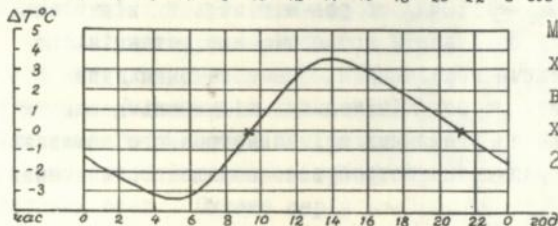
/мал. 3/, що обидва добових графіки структурно підпорядковані однаковим /або схожим/ закономірностям, а їх взаємне накладання виявило перехрещення

різноамплітудних кривих поблизу значення середньодобової температури повітря в шарі відповідно до рівняння /5/. Різниця температури /мал. 4/ породжує її горизонтальний градієнт - джерело рефракції. За згаданих умов бічна рефракція, спричинена атмосферним впливом, має добовий хід, графік якого структурно подібний до температурного, тобто з переходом через нуль під час переходу температури повітря в шарі через середньодобове значення. це дозволяло використати порівняно прості засоби її визначення, а також спрогнозувати величину за даними зондування.



Мал. 3. Графік добового ходу температури повітря на 23.05.84 р.

- над суходолом;
- - - над водою;
- * середньодобова температура.



Мал. 4. Графік добового ходу різниці температур в шарі повітря над суходолом і водою /на 23.05.84/.

Вищезгаданий полігон розташований у Києво-Святошинському районі. Пункти чотирикутника закріплені на місцевості центрами, опис яких наведений вище. Наближена кількісна оцінка дії рефракції була розрахована для напрямку ІІ - 8 /див. мал. 2/ за даними добового температурного зондування в робочому шарі повітря на 25.04.84 р. і показала максимальне значення до 1,5". Суть прогнозу полягала в натуралізації дії рефракції в мікрометеорологічних умовах полігону і створенні кількісного орієнтиру для подальших досліджень.

Первинна польова індикація рефракції в напрямках, розташованих вздовж берегових ліній водойми, проводилась за допомогою спеціальної розробки - марки-ординатографа - приладу, призначеного для безпосереднього вимірювання видимого горизонтального зміщення проєкції візирної осі кутомірною приладу відносно початкового положення, спричиненого дією зовнішнього середовища. Діапазон вимірювань - 15 мм, ціна відліку мікрометра - 0,01 мм, точність роботи в умовах закритого приміщення - 0,2 мм на 100 м.

Ординатограф використовувався в комплекті з теодолітом ТБ-1, засіб зв'язку - дві радіостанції "Недра-П". Прилади закріплювались у підставках, завчасно нагвинчених на станових гвинтах пунктів, які ізолювались від сонця великими наметами. Початковий прийом спостережень складався з попереднього наведення труби теодоліта на марку ординатографа при серединному положенні мікрометра і II компенсаційних суміщень візирного штриха марки з бісектором сітки ниток нерухокої труби. Подальші почасові прийоми складались з 12 компенсацій в полі зору ввесь час спостережень нерухомого теодоліта. Аналіз математичної обробки результатів погодинних досліджень показав наявність закономірного зміщення ординатографа відносно початкового створу, але високий рівень похибок, спричинених коливальним процесом, їх квазілінійне наслідування росту температури повітря /паралельні виміри якої виконувались за допомогою термометра-праці/, а також складність точного радіонаведення, виключали можливість надійної оцінки рефракційної дії в кількісному відношенні.

В основу визначення фазових величин кутів рефракції за фрагментами досліджень добового ходу були покладені теоретичні розробки розділу 2. Аналіз графіків нормального добового ходу температури повітря показав /див. мал. 3, 4/, що деяку частину кожного з них /орієнтовно з 7.00 до 11.00/, яка містить момент переходу через середньодобове значення, можна апроксимувати квазілінійною залежністю. За даними спостережень температурного ходу відрізки косинусоїди $\pm 2-2,5$ год. по обидві сторони від горизонтальної осі симетрії з похибкою не більш як у 10% можуть бути зображені прямими. В силу зазначеного раніше поширим аналогію на почасовий хід кутів рефракції в локальних напрямках в умовах полігону. Тоді нехай в деякий момент, що передує прогнозованому часу переходу температури повітря на станції через середньодобове

значення, виміряний за програмою серії α горизонтальний напрямок /кут/ $\bar{\beta}_\alpha$ і температура повітря t_c^α . І нехай у другий момент, дальший за прогнозований, виміряний той же напрямок /кут/ в серії δ - $\bar{\beta}_\delta$ і, відповідно, температура t_c^δ . Редукційна поправка /за приведення напрямку/кута/ до його значення в прогнозований момент/ до i -тої серії буде визначена за формулою

$$z_i = -\frac{\bar{\beta}_\delta - \bar{\beta}_\alpha}{t_c^\delta - t_c^\alpha} (t_c^i - C_p t_c^0), \quad /6/$$

де $C_p t_c^0$ - середньодобова температура повітря, яку визначають за даними принаймні добових спостережень ходу температури повітря на станції. Оцінка точності формули показує, що точність визначення z_i адекватна точності кутових вимірювань, якщо рівень температурних похибок не перевищує $\pm 0,1-0,2^\circ\text{C}$.

Випробування ефективності застосування формули /6/ та подальше її використання для вирішення поставлених в роботі завдань було проведено на дослідному полігоні на протязі червня-жовтня 1984 р. Був застосований запропонований автором теодоліт зі стабілізованим початковим напрямком /стабілізація у цьому випадку розглядається як незалежність від впливу оточуючого середовища/. Ефект досягався введенням у конструкцію приладу допоміжного горизонтального круга, положення якого зафіксовано відносно нерухомої підставки теодоліта. Як базовий прилад був використаний теодоліт ТБ-1 /в першу чергу завдяки відносній доступності вузлів/. Похибки інструментальні та теплового кручення теодоліта й центру послаблювались ретельним юстируванням приладу та технічним забезпеченням експерименту. За візирні цілі служили штрихові марки з висотою робочого поля 60 см.

Програма спостережень на пункті складалась з двох серій вимірювань способом кругових прийомів /по чотири прийоми в серії/, розподілених симетрично відносно прогнозованого моменту переходу температури повітря в шарі через середньодобове значення /інтервал - 2-3 години/, та сполучених з ними температурних вимірювань за допомогою аспіраційного психрометра.

Були отримані наступні результати. Незамикання горизонту по стабілізованому напрямку в напівприйомах не перевищувало $1,5''$, рівень середніх квадратичних похибок усього ряду кутових спостережень не перевищував $1,6''$. Редуквані значення вимірних напрямків розходились в різнодобових серіях не більш як на $1''$, а від-

хилення від середнього мали випадковий характер. Підрахунки нев'язок в чотирикутнику показали, що найкраще узгоджуються між собою кути, утворені редукованими напрямками. Окрім того, теодоліт в режимі стабілізації досить чітко розмежував напрямки по ступеню систематичного впливу: вздовж берега він є, а перпендикулярно береговій лінії - практично не простежується. Виділена в процесі редукування похибка має ознаки рефракційного походження: збіг по знаку з прогнозованими значеннями бічної рефракції, закономірний перехід через нуль в точці редукації. Відмінність у величині /досить суттєва/, судячи з повторюваності явища на всіх пунктах і від серії до серії, обумовлена не стільки недосконалістю технічної бази експерименту, скільки підсилюючою дією асиметричних короткоперіодичних коливань зображень візорних цілей, які виразно спостерігались в напрямках, орієнтованих вздовж берегів.

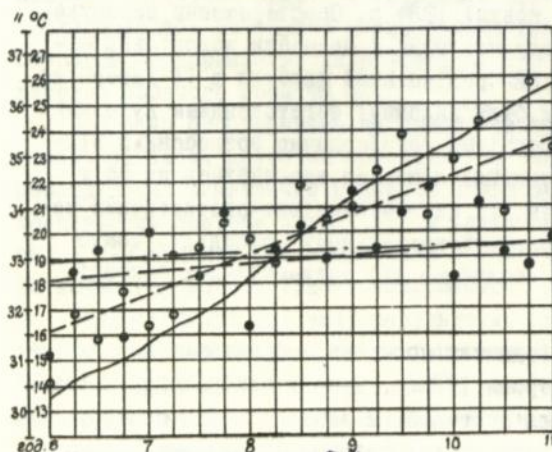
На протязі серпня 1984 р. на полігоні проводились дослідження редукаційної формули з використанням стандартного теодоліта 2Т2 та марок, при цьому програма експерименту залишалась незмінною. Редукаційна поправка в кути по серіях виявила збіг властивостей з аналогічною поправкою в напрямки. Це дозволило зробити висновок, що температурний спосіб редукування, принаймні для мікрометеорологічних умов ландшафтної межі між суходолом і водою, має самостійне значення.

Вплив на якість редукування перемішень між серіями теодоліта і марок був перевірений в ході циклічних випробувань температурного способу редукування в жовтні 1984 р. Спостереження виконувались шляхом подвійного обходу полігону і показали задовільні результати. Детальні дослідження редукаційної формули в її інтер- та екстраполяційному варіантах були виконані багатоденними кутовими спостереженнями потрійними серіями /асиметрично рознесеними відносно точки редукації/. Редукаційні поправки визначались по всіх комбінаціях з щоденних серій. Їх аналіз ймовірно-статистичним методом показав, що вони підлягають нормальному розподілу, тобто процес редукування помітно послаблює дії систематичних факторів накопичення похибок.

Дослідження короткоперіодичних коливань зображень візорних цілей тривали на протязі серпня 1984 р. Кутові вимірювання в геодезичній сітці полігону були проведені з застосуванням способу візування на ймовірні енергетичні осі зображень коливних об'єк-

тив. Спостереження виконувались за програмою, аналогічною редукційним дослідженням. Випробування виявили, що асиметрія коливань особливо властива жаркій сухій погоді, коли потужна струминність коливних зображень виразно простежується навіть при суцільній хмарності та помірному вітрі. Математична обробка результатів показала, що проведені спостереження відповідають критерію рівноточності. Розкид відхилень від середнього значення по кожному куту носить випадковий характер /систематичний вплив не перевищує $0,1-0,2''$ /, а сама арифметична середина близька до відповідного редукованого значення. Щільність результатів різночасних вимірів одних і тих же кутів /з наявною дією бічної рефракції в різних фазах її добового ходу/ дозволяє зробити висновок, що дія рефракції була певною мірою нейтралізована або послаблена спостереженнями на осі коливань, які остаточно позначимо як квазіенергетичні.

Для наочного з'ясування механізму дії асиметричних коливань був проведений слідуючий експеримент. В тиху сонячну погоду в умовах випробувального полігону були проведені синхронні серії вимірювань окремого кута спостереженнями на амплітудні та квазіенергетичні осі коливних напрямків, а також паралельні температурні спостереження на станції. Серії прив'язувались до чвертьгодинного інтервалу. Спостереження проводились двома виконавцями високої кваліфікації почергово з шостої по одинадцятую години 4.09.84 р. Застосовувався теодоліт 2Т2 та штрихові марки. Графік почасового ходу результатів експерименту представлений на мал. 5.



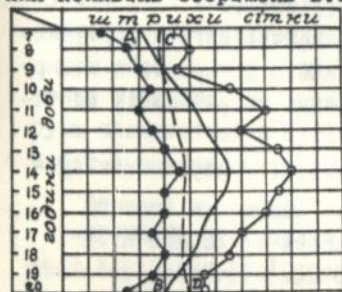
Мал. 5. Синхронні спостереження кута 8-II-2.
○ - середні з серії значення кута, спостережуваного на амплітудній осі /--- - приблизуюча пряма рівняння регресії/;
● - середні з серії значення кута, спостережуваного на квазіенергетичній осі /--- - приблизуюча пряма рівняння регресії/;

— - почасовий хід температури повітря на станції; — — — - середньодобова температура /хід на дату спостережень/.

Аналіз графіку показує, що не дивлячись на певний розкид результатів, простежується аналогія між почасовим ходом амплітудних спостережень кута і температури повітря на станції. Це підтверджується наявністю кореляційного зв'язку між обома рядами вимірів. Хід результатів спостережень на квазіенергетичні осі практично не підтвердив наявності такого зв'язку.

Наведений дослід дозволяє зробити припущення, що локальні куті бічної рефракції мають компонент, спричинений асиметричним турбулентним процесом, дія якого в певній мірі компенсується спостережними кутів на квазіенергетичні осі коливних напрямків.

Геометрична структура згаданого процесу була розглянута на слідуєчому досліді. Коливні зображення штрихової марки спостерігались в полі зору нерухокої труби теодоліта з сіткою ниток-гребінцем на лінії ІІ-8 /див. мал. 2/ 8.09.84 р. Вимірювання окладались з 12 пар щогодинних відліків по осям крайових зон азимутальних коливань зображень візирного штриха марки. Результати досліді наведені на мал. 6.



Мал. 6. Графік почасового зміщення крайових осей асиметричних короткоперіодичних азимутальних коливань.

квів у разі квазіструминних турбулентних флуктуацій густини приземного повітря.

На протязі декількох днів виконувались незалежні одне від одного паралельні спостереження кутів полігону візуванням на амплітудні та квазіенергетичні осі коливних зображень візирних цілей. Визначені за умови однобічності вимірів відносно прогнозованого моменту переходу температури повітря через середньодобове значен-

Амплітудна ось коливань /крива АВ/ має досить виразне однобічне відхилення в почасовому ході. Крива СД - імовірно втілення квазіенергетичної осі - побудована за принципом асиметрії відстаней від крайових осей, пропорційних ширинам відлікових інтервалів цих осей.

Подальші випробування мали на меті збір інформації про технічну доцільність спостережень візуванням на квазіенергетичні осі коливних напрям-

ня нев'язки амплітудного способу мали ознаки систематичного впливу, який був значно послаблений в результатах паралельної обробки нев'язок квазіенергетичного способу.

Виробничі випробування способу редукування куткових вимірів до моменту переходу температури повітря на висоті візирного променя через середньодобове значення, а також способу візування на квазіенергетичні осі коливних зображень об'єктів, спостережуваних в турбулентній атмосфері приземного повітря, проводились на об'єктах Спеціалізованого тресту "Підводтрубопровід" на протязі 1985-1987 р.р. Було досягнуто зниження рівня абсолютних величин нев'язок в середньому на 50-70%.

В и с н о в к и. Основні результати теоретичних та експериментальних розробок зводяться до наступного:

1. З умови візуального зміщення джерела променя в процесі заломлення виведене рівняння, яке показує наявність в поточному значенні локального кута бічної рефракції довго та короткоперіодичних складових, сполучених, відповідно, з наявністю на шляху променя топографічних та турбулентних полів рефракції.

2. Теоретично підтверджений принцип переважної ваги в формуванні локальних кутів бічної рефракції найближчого до приймача візирного променя фактора утворення рефракції, яким в приземному повітрі є в більшості турбулентне поле.

3. Визначені основні рефракційні властивості турбулентних процесів в теоретичному плані:

- поля турбулентної рефракції формуються сукупністю динамічних, малих за об'ємом, але з великим запасом енергії та множинних турбулентних утворень, що спричиняють потужні короткоперіодичні флюктуації показника заломлення;

- структурна деформація та азимутальне переміщення, яких зазнають однорідні турбулентні утворення під впливом горизонтальних градієнтів метеоелементів, формують квазіструминну асиметричну структуру короткоперіодичних коливань зображень спостережуваних об'єктів, що візуально сприймаються зміщеними дією бічної рефракції;

- структурна асиметрія турбулентних коливань, продукована дією горизонтальних градієнтів метеоелементів, підпорядковуються закономірностям ізоцевості.

4. Експериментально досліджені з застосуванням насадки-компенсатора горизонтальних зміщень візирних цілей та сітки ниток - гребінця оптичні властивості коливних зображень, що дало змогу встановити:

- надійність візуальної евристичної вибірки центру коливань спостережуваного в приземному повітрі об'єкту;
- наявність асиметрії коливального процесу, що перебуває під бічною дією сумарного градієнту метеоелементів;
- ефект розтягування по азимуту асиметричних коливань зображень спостережуваних об'єктів.

5. Запропонований та досліджений варіант редукування куткових вимірів в умовах ландшафтної межі між суходолом і водою до моменту переходу температури повітря в горизонтальному шарі повітря на станції через середньодобове значення.

6. Застосовані для досліджень рефракції в куткових вимірах високоточний ординатометр і теодоліт зі стабілізованим початковим напрямком виявили ефективність їх використання.

7. Показав ефективність застосування в умовах асиметричної турбуленції спосіб візування на квазіенергетичні осі коливних зображень спостережуваних об'єктів.

8. Результати теоретичних досліджень та експериментальних розробок підтверджені в виробничих умовах. Отримані результати можуть бути використані в куткових вимірюваннях при виконанні геодезичних робіт в приземному шарі повітря.

Основні положення дисертації опубліковані в роботах:

1. К вопросу о боковой рефракции // Докл. и сообщения секций и комиссий Географического общества УССР. Картография, вып. I. - Киев: Наукова думка, 1974. - С. 45-52.

2. Применение метода электрогидродинамических аналогий при картографо-геодезических исследованиях // Комплексное и тематическое картографирование Украинской ССР. - Киев: Наукова думка, 1974. - С. 188-189.

3. Применение топографических карт для прогнозирования боковой рефракции // Тез. докл. Шестой всесоюз. конф. по тематическому картографированию "Задачи картографического обеспечения охраны природы и окружающей среды СССР", Киев, 1975. - М., 1975. - С. 166-168.

4. Графо-аналитический метод определения поправки за боковую рефракцию света при угловых измерениях//Докл. и сообщения секций и комиссий Географического общества УССР. Картография, вып.2.- Киев: Наукова думка, 1976.- С.37-43.
5. Геодезические наблюдения за боковой рефракцией//Там же.- С. 43-46. /совтор Милосердов М.М./.
6. Топографо-геодезический контроль состояния подводных переходов трубопроводного транспорта//Тез. докл. Респ. н-техн. конф. "Геодезические и фотограмметрические работы в строительстве", Киев, 1977.- Киев: Знание, 1977.- С.19.
7. Компенсация боковой рефракции створным методом//Инж. геодезия, 1978, вып. 21.- С.104-106.
8. Поправка в напрям за висоту спостережуваної точки над еліпсоїдом//Вісн. Київ. ун-та. Географія, 1983, вип. 25.- С. 49-51.
9. Высокоточный ординатометр.- Киев: Реклама, 1984.- С.1.
10. Насадка-компенсатор горизонтальных смещений визирных целей.- Киев: Реклама, 1984.- С.1.
11. Застосування високоточного ординатометра в кутових вимірах//Вісн. Київ. ун-та. Географія, 1985, вип. 27.- С.55-59. /спів-автор Нашкевич З.І./.
12. Середньотемпературна поправка в кутові виміри за рефракцію//Вісн. Київ. ун-та. Географія, 1987, вип. 29.- С. 60-64.
13. Дослідження дії турбулентної рефракції в кутових вимірах//Вісн. Київ. ун-та. Географія, 1988, вип. 30.- С. 71-72. /співавтори Азоян А.А., Вовченко В.В., Колтунов В.В./.

Підписано до друку 24.02.94. Об'єм 1,0 д. а.
формат 60x84 $\frac{1}{16}$. Тираж 70.

Ab 29.980

Ab 29.980