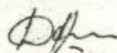


КИЇВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

На правах рукопису

УДК 528.482

ААМР АЗ13 ДОШІ



ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ІНЖЕНЕРНИХ  
СПОРУД САР ГЕОДЕЗИЧНИМИ МЕТОДАМИ

05.24.01 - Геодезія

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття вченого ступеня  
кандидата технічних наук



00810458 (Q)

AB 29.979

Робота виконана в Одеському інженерно-будівельному інституті на кафедрі інженерної геодезії

Науковий керівник - кандидат технічних наук доцент  
Ірківський Ростислав Георгійович

Науковий консультант - кандидат технічних наук доцент  
Войтенко Степан Петрович

Офіційні опоненти - доктор технічних наук професор  
Суботін Іван Єгорович

- кандидат технічних наук доцент  
Тартачинський Роман Максимович

Провідна організація Укргеоінформ ГУТКК при Кабінеті  
Міністрів України

Захист відбудеться "7" Квітня 1994 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої Ради Д.01.18.02 по спеціальності 05.24.01 - Геодезія при Київському державному технічному університеті будівництва і архітектури /252037, м.Київ-37, Повітрофлотський проспект, ЗІ/ ауд. 466/

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці Київського державного технічного університету будівництва і архітектури /252037, м.Київ-37, Повітрофлотський проспект, ЗІ/.

Автореферат розіслано "2" Березня 1994 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої Ради  
доктор фізико-математичних наук

В.С.Кислюк

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Економічна і соціальна політика САР спрямована на випереджуючі темпи розвитку галузей народного господарства, які забезпечують реальне збільшення національного прибутку.

У паливно-енергетичній галузі, в промисловому виробництві, сільському господарстві, меліорації, поряд із забезпеченням нормальної експлуатації діючих об'єктів програмами передбачено будівництво нових гідроелектростанцій, елеваторів, промислових підприємств, газопроводів, зрощувальних каналів, ліній електромереж. В житлово-цивільному будівництві зводяться багатопверхові будинки. Все це вимагає впровадження сучасних індустріальних технологій будівельно-монтажних робіт з розробкою методів і засобів інженерно-геодезичного забезпечення будівництва і експлуатації споруд.

Найвідповідальнішим видом інженерно-геодезичних робіт є спостереження за деформаціями інженерних споруд. Вони дозволяють кількісно оцінити просторово-часовий стан будинків і споруд, виявити їх практичну стійкість, закономірності у поведінці підвалин, відхилення від нормальних умов в період будівництва і в процесі експлуатації. Результати геодезичних спостережень є необхідною інформацією для оперативної розробки заходів щодо своєчасного попередження і усунення причин і джерел деформацій, а, отже, і попередження подальших деформацій, можливих руйнувань окремих будівельних конструкцій або усієї споруди.

В САР відсутній узагальнений досвід дослідження деформацій інженерних споруд національними кадрами геодезистів. Вивчення і аналіз зарубіжних досліджень показали, що на методику геодезичних спостережень за деформаціями споруд впливають: вид споруди, форма і геометричні параметри, конструктивні особливості, фізико-географічні умови, наявність приладів і обладнання, геологічні умови. Тому необхідна розробка теорії, практики, методики, способів робіт і оцінки точності результатів інженерно-геодезичних вимірів деформацій інженерних споруд в умовах САР.

За основу досліджень цих питань автором узяті результати робіт зарубіжних учених. Дослідження автора враховують конструктивні особливості побудованих і проєктованих в САР споруд, необхідну точність, матеріально-технічне забезпечення геодезичних вимірювань, їх надійність, ефективність і економічність, а також метеорологіч-

ні та інші чинники кліматичних умов САР.

Із деформацій, що спостерігаються на об'єктах САР, найменше вивчені вимірювання горизонтальних зміщень. Враховуючи метеорологічні особливості умов САР і наявний парк приладів, автором виконано ряд експериментів, спрямованих на відпрацювання методики створених вимірювань із заданою точністю, і розроблені рекомендації щодо застосування найбільш ефективних методик геодезичних робіт.

Метою роботи є: розробка рекомендацій для вибору методики геодезичних спостережень за вертикальними і горизонтальними зміщеннями і деформаціями інженерних споруд САР, визначення необхідної точності геодезичних робіт і одержаних результатів, математико-статистичний їх аналіз і прогнозування. Для досягнення поставленої мети були визначені такі вдання досліджень:

1. Вивчити методи і точність геодезичних робіт щодо вимірювання осідань, зсувів і кренів споруд.
2. Виконати аналіз існуючих методів створених вимірювань і провести експериментальні дослідження їх точності на об'єктах САР.
3. Дослідити результати горизонтальних і вертикальних зміщень об'єктів Євфратської ГЕС, використовуючи для цього відповідні методи імовірісно-статистичного аналізу.

Наукова новизна. Зараз в САР відсутній практичний досвід геодезичних вимірювань деформацій інженерних споруд. Дослідження для забезпечення використання в САР конкретних геодезичних методів проведено уперше. На підставі цих досліджень установлено:

1. пріоритет використання геодезичних методів для вимірювання деформацій інженерних споруд САР;
2. вирішення проблеми дослідження деформацій споруд виконується у САР уперше;
3. вибір найбільш оптимальних методів вимірювання деформацій стосовно до умов їх використання і технічного оснащення геодезичних служб у САР;
4. експериментальні дослідження точності геодезичних вимірювань деформацій найбільш характерних в умовах САР;
5. доведення результатів досліджень до практичного використання на конкретних державно-господарчих об'єктах.

Предметом захисту є:

- результати виконаних експериментальних досліджень точності створених вимірювань, точності візування і впливу похибок зовнішніх умов;
- пропозиції для вибору відповідних методів геодезичних вимірювань деформацій в умовах САР;
- імовірісно-статистична оцінка деформацій об'єктів Євфратської ГЕС.

Практична цінність роботи. Результати виконаних автором досліджень створюють необхідні передумови для широкого впровадження в Сирійській Арабській Республіці геодезичних методів вимірювання різних видів деформацій інженерних споруд. Запропоновані автором методи математичної обробки вимірювань дозволяють одержати найбільш надійні характеристики деформацій і прогнозувати їх характер.

З виконаних автором досліджень найбільш практичне значення мають:

- аналіз і розробка рекомендацій щодо умов застосування різних методів вимірювання деформацій споруд;
- методика розрахунку точності геодезичних вимірювань;
- розроблені рекомендації щодо застосування методів і засобів геодезичних вимірювань на підставі виконаних експериментів.

Апробація роботи. Основні результати цих досліджень повідомлені і схвалені на науково-технічних конференціях Одеського і Київського інженерно-будівельних інститутів у 1990-1993 роках.

Публікації: Основні положення і результати досліджень за темою дисертації опубліковані у чотирьох роботах.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох глав, основних висновків, списку літератури обсягом 181 сторінка машинопису і додатків, обсягом 23 сторінки. Дисертація містить в собі 39 рисунків, 28 таблиць, список літератури із 158 найменувань.

### ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі викладено актуальність проведених досліджень і загальна характеристика роботи.

Перша глава присвячена вивченню досвіду й аналізу зарубіжних досліджень деформацій інженерних споруд геодезичними методами.

При деформаціях уся споруда або її частина зміщується від проектного положення як по вертикалі - осідання, так і в горизонтальній площині - зсув. Велика заслуга в розробці методів і приладів для геодезичних вимірювань осідань і деформацій належить П.І. Ерайту, М.І. Піскунову, В.Е. Новаку, Ю.П. Гуляву, І.Є. Субботіну, А.Г. Григоренкові, Ю.В. Подішукі і ряду інших учених країн СНД. Перелічені роботи синтезують накопичений великий науковий і практичний досвід геодезичних вимірювань при дослідженні деформацій. Розроблені і впроваджені у виробництво сучасні методи високоточних вимірювань. Вони дозволяють застосовувати у конкретних випадках найбільш економічні і оптимальні методики і прилади для одержання вірогідної інформації не тільки про наявність деформацій, але й про деформаційні процеси для просторово-часового прогнозування деформацій.

Аналіз виконаних досліджень, літературних джерел та інших матеріалів показує, що методи, прилади та інші засоби для геодезичних вимірювань в основному залежать від умов об'єкта, його конструкції, вимог точності, методів виконання будівельно-монтажних робіт. В конкретних умовах вони вирішуються індивідуально. Існують не тільки можливості, але й необхідність удосконалення методики і методів геодезичних вимірювань в галузі дослідження деформацій.

Тому в основі досліджень автора лежать результати робіт в цій галузі зарубіжних учених і, в першу чергу, учених країн СНД. Дослідження автора, в свою чергу, враховують конструктивні особливості побудованих і проектуємих в САР споруд, вимоги точності, матеріально-технічне забезпечення геодезичних вимірювань, їх надійність, ефективність і економічність.

При обробці результатів вимірювань слід використовувати методи імовірісно-статистичного аналізу, наведені у спеціальній літературі, а також наукові розробки учених-геодезистів М.Г. Відуса, Ю.І. Маркузе, В.Д. Большакова, П.Т. Бугая, Г.І. Мецєрякова, П.А. Гайдава.

У другій главі розглянуто деформації інженерних споруд і виконано аналіз геодезичних методів вимірювання осідань, зсувів, кренів і вироблені рекомендації щодо методики їх застосування на інженерних спорудах САР. У дослідженні деформацій інженерних споруд інформація про осідання фундаментів є однією з найважливіших.

В результаті аналізу прийнятих у зарубіжному виробництві геоде-

зичних методів вимірювань абсолютних величин осідань: геометричного, тригонометричного і гідростатичного нівелювань, мікронівелювання, стереофотограмметричного методу - встановлено, що за точністю і методикою виробництва в САР при дослідженнях осідань можливе застосування всіх цих методів. Але, враховуючи сучасний стан матеріальної бази, прилади, обладнання і кадри геодезистів, рекомендується застосування методів геометричного, тригонометричного, рідше гідростатичного нівелювань і стереофотограмметричний метод.

Результати аналізу найбільш ефективних методів вимірювання зсувів: триангуляції, трилатерації, полігонометрії, прямої, зворотної і лінійної засічок, створів, комбінованого, окремих напрямів, мікротриангуляції - рекомендовано всі розглянуті методи використовувати при вимірюваннях зміщень споруд в САР залежно від конструкції, форми і параметрів споруди, топографічних умов місцевості, наявних приладів, кваліфікації фахівців, впливу зовнішніх умов та інших факторів. Оскільки метод створів відіграє дуже важливу роль для вимірювання зміщень головних споруд експлуатуються і ГЕС знаються в САР, то цей метод у подальшому розглядається більш докладно.

Аналіз найбільш раціональних способів вимірювання кренів споруд: координат, кутів, вертикального проєктування, геометричного нівелювання, із застосуванням клікометрії - показав, що перші чотири способи з успіхом можуть застосовуватися у даний час в САР для споруд значної висоти, таких, наприклад, як елеватори, димові труби цементного заводу у м. Тартус та інших об'єктах.

У зв'язку з відсутністю в САР нормативно-технічної документації для дослідження деформацій інженерних споруд автором виконаний загальний принцип розрахунку вимірювань при складанні проєктів виконання геодезичних робіт:

$$m_r = \frac{\Delta_g}{t^2} \quad /1/$$

де:  $m_r$  - середня квадратична похибка геодезичних вимірювань,  
 $\Delta_g$  - допустима величина деформації,  
 $t$  - параметр, який залежить від прийнятої довірчої імовірності P.

При  $P = 0,997$   $t = 3$  і  $m_r = 0,11 \Delta_g /2/$

Якщо за умовами спостережень для менш відповідальних об'єктів можна зменшити довірчу імовірність, наприклад

$$\text{при } P = 0,95 \quad t = 2 \quad \text{і} \quad m_r = 0,25 \Delta_g \quad /3/$$

Як видно з формули /2/ точність геодезичних вимірювань деформацій відповідальних інженерних споруд складає 1/3 від гранично допустимих розрахункових величин деформацій. П.І.Брайт на підставі досвіду отримав величину 10%, що добре узгоджується з висновками автора.

Однак методика вимірювання деформацій включає в себе багато факторів, що впливають на їх точність. Так, на точність вимірювань величин можуть впливати похибки центрування, редукції, фокусування, відліку, візування, зовнішніх умов та інші. Методиком вимірювань їх можна зменшити і, варіюючи похибками окремих джерел, можна дотримати загальну похибку вимірювань.

Автором запропонована методика розрахунку точності геодезичних вимірювань деформацій: прямий перевірковий розрахунок - для прийняття методики вимірювань і обернений проектний розрахунок - для визначення точності окремих вимірювань, виходячи із допустимої величини деформації. Прямий або перевірковий розрахунок полягає у визначенні точності геодезичних вимірювань деформації, як підсумкові з відомих складових похибок вимірювань. Якщо обчислена похибка перевищує допустиму, то необхідно змінити методику, інші прилади і ін.

Обернений розрахунок полягає у визначенні похибок окремих факторів за відомою точністю геодезичних вимірювань двома способами: за принципом рівного впливу всіх джерел похибок і за способом введення коефіцієнтів співвідношення точності. Середню квадратичну похибку кожного із джерел обчислюють з урахуванням їх індивідуальних коефіцієнтів, які отримані шляхом логічного аналізу всіх похибок вимірювань з урахуванням методики виконання робіт, аналізу точності раніше виконаних аналогічних робіт і т.ін. Знаючи ці похибки, розробляють методику, підбирають прилади, час спостережень та ін. При необхідності можна так варіювати коефіцієнтами, змінюючи їх величини, щоб не перевищити підсумкову похибку вимірювань, використовувачи наявний парк геодезичних приладів, з чому і полягає як достоїнство методу, так і змінна розробити оптимальну

методику вимірювань. Застосування проектного розрахунку особливо важливе для спеціалістів в САР за відсутності досвіду проектування і виконання робіт щодо геодезичного дослідження деформацій.

За запропонованою методикою виконаний розрахунок точності вимірювання осідання споруди геометричним нівелюванням, установлені оптимальні довжини візирних променів для різних методів вимірювань.

В третій главі виконано дослідження точності оптичного способу створних вимірювань, які за аналізом зарубіжних джерел найбільш універсальні при вимірюваннях горизонтальних деформацій будинків і споруд САР. Виконаний детальний аналіз похибок створного способу безпосереднього оптичного візування: центрування і редукції, візування, фокусування, колімаційної, відліку, зовнішніх умов. Ураховуючи випадковий характер похибок центрування і редукції і те, що на результат впливає похибка редукції при установці марок на кінцевій точці створу  $m_p$  і в контрольній точці  $m_p$ , а похибка центрування  $m_u$  тільки у вихідній точці, то їх сукупний вплив передається формулою

$$m_{\text{цр}}^2 = m_u^2 + 2m_p^2 \quad /4/$$

Для розробки конкретних рекомендацій щодо застосування створного способу оптичного візування в умовах САР були виконані експериментальні дослідження точності візування і зовнішніх умов. При дослідженнях використовувалася теодоліт Т2 фірми Вільд (Швейцарія) і рухома візирна марка з паралактичним гвинтом. У першому експерименті вимірювання виконувалися на створі довжиною 150 м з інтервалами через 25 м. Для зменшення впливу особистих похибок марка на кожному інтервалі вводилася у створ 10 разів - по 5 разів зліва і справа від створа. Обробка результатів виконана методами ймовірно-статистичного аналізу. На рис. I представлений графік похибки візування і її рівняння кореляційної залежності у довірчому інтервалі, яке має вигляд:

$$m_B = -0,025 + 0,0033 L, \text{ мм} \quad /5/$$

або в кутовій мірі

$$m_B'' = m_{B_i} / L_i \cdot \rho''$$

де  $L_i$  - відстань візування.

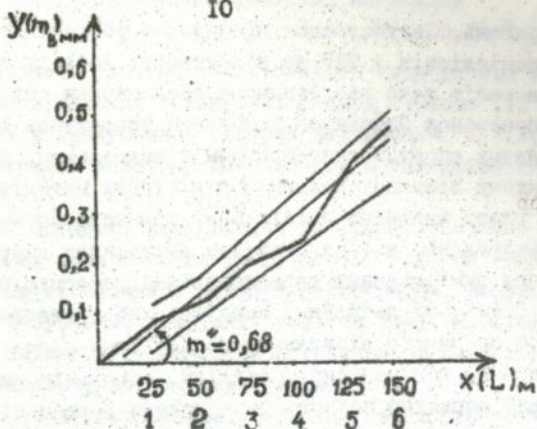


Рис.1. Графік похибки візування.

Економічне значення коефіцієнта кореляції  $r = 0,987$  підтверджує наявність прямолінійної залежності похибки візування від відстані. Але оскільки він отриманий із порівняльн: невеликої кількості інтервалів, то, користуючись критерієм Р.Фішера, була виконана його статистична оцінка, яка встановила, що обчислене значення коефіцієнта кореляції знаходиться в зоні довірчого інтервалу, що доводить наявність прямолінійної функціональної залежності похибок візування від відстані. За даними експериментальних досліджень автора точність візування теодолітами типу Т2 Вальд (Швейцарія) складає  $m_B = 0,68''$ . Дані досліджень добре узгоджуються з результатами досліджень М.Е.Піскунова /при  $V = 27,5\%$   $m_B = 0,62''$ . Тому при розрахунках точності створних вимірювань в умовах САР похибку візування слід розраховувати за формулою /5/.

Для ослаблення впливу зовнішнього середовища на точність створних вимірювань була поставлена задача визначення найвигіднішого часу вимірювань. Створ був вибраний так, щоб його частина 120 м знаходилася в екстремальних умовах - на відстані одного метра від бетонної стіни споруди, що протягом дня прогрівається сонцем. Це дало можливість дослідити на цій ділянці дію бокової рефракції. Слід відзначити, що вона сильно впливала і на зображення марки в кінці створу /коливання/. Вимірювання виконувались протягом шести днів по створу з інтервалами 25, 50, 75, 100, 125, 150,

175 і 275 м. В створ, який задавала візирна вісь теодоліта, візирна марка вводилась по , разів справа і зліва від напрямку створу. Вимірювання виконувались щоденно у трьох циклах: з 6 до 8 години, з 9 до 11, з 12 до 14. Графік ходу математичних чекань як середніх відліків по кожному циклу представлений на рис.2.

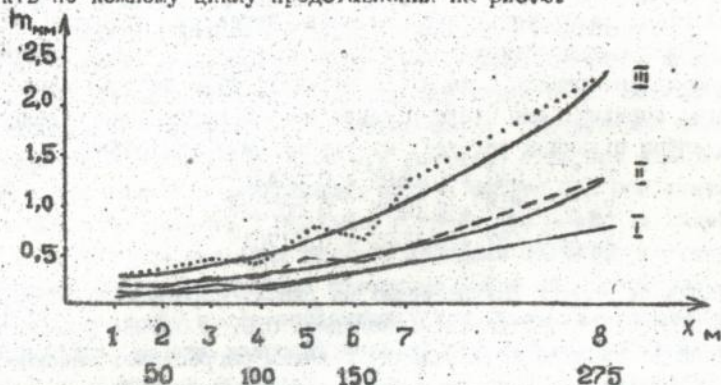


Рис.2. Графік впливу пошкобок зовнішніх умов

Бачно лінія I виражає: прямолінійну залежність в циклі ранкових спостережень в інтервалі 6-8 годин ранку. Лула виконана статистична перевірка піз: нульової гіпотези з використанням Г критерію:

$$F = \frac{(N-n)\{\bar{\eta}^2(y/x) - \bar{r}^2(y/x)\}}{(n-2)\{1 - \bar{\eta}^2(y/x)\}} \quad /6/$$

де:  $N = n \cdot S$  - кількість реалізацій,

$\bar{r}$  - емпіричний коефіцієнт кореляції, обчислений за формулою:

$$r_{(x,y)} = \frac{R_{(x,y)}}{m_x m_y} \quad /7/$$

Коефіцієнт прямолінійної кореляції  $r = 0,983$  є переконливою оцінкою висуненої гіпотези, тому що достатньо близький до 1.

Разом з тим обчислене кореляційне відношення  $\eta = 0,992$  і критерій  $= 7,5$  указує, що висунута нульова гіпотеза не підтверджується, тому що.

$F > F_q$  при прийнятому рівні значущості  $q_r = 1\%$ , або 7,5 3.4. Це вказує на те, що ближча апроксимація буде виражатися криволінійною залежністю.

Аналіз ходу математичних чекань у II і III циклах свідчить про криволінійну залежність і не припускає перевірку нульової гіпотези.

Ураховуючи прискорене зростання похибок  $Y$  при рівномірному збільшенні інтервалів  $X$  за лінії регресії були вибрані параболи другого порядку, які після рішення систем нормальних рівнянь являють собою рівняння регресії на кожний цикл вимірювань:

$$\begin{aligned} Y_1 &= 0,040 + 0,030X + 0,0032X^2 \\ Y_2 &= 0,067 + 0,027X + 0,0073X^2 \\ Y_3 &= 0,187 + 0,002X + 0,0170X^2 \end{aligned} \quad /8/$$

Для наочності криві /8/ наведені на рис.2. Кореляційні відношення рівнянь регресії складають відповідно: 0,996, 0,996, 0,992, що підтверджує правильність підбору рівнянь регресійної залежності похибок вимірювання нестворності на різних відстанях.

Аналіз показує, що після сходу сонця з 6 до 8 години ранку похибка вимірювання нестворності мінімальна за величиною. В кутовій мірі вона складає  $m_H = 0,49'' - 0,70''$ , що добре узгоджується з даними дослідження точності візування /  $m_B = 0,68''$ /. Вона виражається фактично прямолінійною кореляційною залежністю у вигляді невеликого викривлення при віддаленні до спостережуваної точки. До 10 годин ранку похибка також не перевищує точності візування, хоча й дещо зростає, що пояснюється підвищенням температури й поступовим посиленням впливу зовнішніх умов. Уже, починаючи із 150 м після 9 години ранку дані II і III циклів свідчать про значний вплив похибок зовнішнього середовища. Таки чином, в умовах САР вимірювання горизонтальних зміщень на відкритих частинах споруд рекомендується виконувати в період з 6 до 9 години ранку.

При проведенні експерименту вимірювання виконувались і в IV циклі за 2 години до заходу сонця з 18 до 21 години. Однак, в ясній дні поверхня бетону за день сильно нагрівається. Обробка результатів IV циклу не дала позитивних результатів. Тому вимірювання в умовах жаркого клімату САР рекомендується проводити в ранкові години, через дві години після сходу сонця і закінчувати не пізніше 9 години ранку.

За запропонованою у другій главі методиком розрахунку геодезичних вимірювань виконані прямі і обернені розрахунки точності створних вимірювань за програмами: загального створу, рівних частин створу, послідовних і часткових створів. На стадії проектування вимірювань установлюють довжину створу, вивчають можливості застосування приладів і пристроїв. Аналіз споруд САР показує, що найбільш оптимально виконувати розрахунки точності створів довжиною від 200 до 250 м з контрольними точками через 25 м. Оптимальним є застосування теодоліта Т2 і рухомі марки. Центрування оптичне. Прямий розрахунок показує, що прийнята методика створних вимірювань забезпечує точність вимірювання зсувів споруд САР при довжині створу до 250 м на піщаних і насипних ґрунтах при довірчій ймовірності  $P = 0,997$ . Для скальних ґрунтів програма загального створу забезпечить точність при довжині створу до 150 м або при ймовірності  $P = 0,95$  - до 250 м. Із порівняння двох способів оберненого розрахунку видно, що при розробці проекту геодезичних робіт за створними вимірюваннями необхідно розрахунок точності виконувати способом введення коефіцієнтів співвідношення точності. Можна констатувати, що прийнята методика вимірювання зсувів споруд забезпечує середню квадратичну похибку менше 1 мм в програмі загального створу на довжині створу до 250 м.

Результати розрахунків за програмою рівних частин і послідовного створу показують, що ці методи можна використовувати тільки при вимірюванні зміщень на насипних ґрунтах. Якщо за умовами вимірювань цей спосіб необхідно застосовувати на піщаних ґрунтах, то вимірювання рекомендують виконувати в 2-3 прийоми. Результати розрахунків для способу часткових створів показують, що при прийнятій методиці цей спосіб не забезпечує вимірювання зсувів навіть точок споруд на ґрунтах при ймовірності  $P = 0,95$ . Превалюючий вплив мають похибки центрування і редукації. Навіть за примусового центрування точність визначення точки в середині створу по цілку 1 мм. Тому у виробничих умовах спосіб слід застосовувати, якщо неможлива реалізація іншої програми.

Результати розрахунків точності різних програм створних вимірювань наведено на рис.3. Аналіз їх показує, що прийнята для умов САР методика створних вимірювань забезпечує необхідну точність

вимірювання змішень споруд, зведених на піщаних і насипних ґрунтах, за програмами: загального створу, рівних частин створу, послідовних створів. Методику розрахунку точності вимірювання змішень споруд, зведених на скельних і підсільних породах рекомендується встановлювати на підставі оберненого розрахунку способом введення коефіцієнтів співвідношення точності.

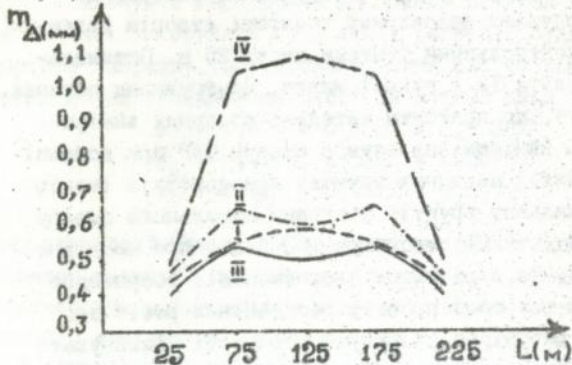


Рис.3. Графік похибок створних вимірювань:

I - загального створу, II - рівних частин створу,  
III - послідовного створу, IV - часткових створів.

Для підтвердження результатів теоретичних досліджень були виконані експериментальні дослідження точності реального створу за різними програмами. Конструкція створних знаків дозволяла нагвинчувати марку на верх знака, що забезпечувало дослідження точності і в методі напівжорсткого центрування, яке легко створити в реальних умовах. Експериментальні дослідження полягали в відпрацюванні на створі різних програм вимірювань з метою визначення точності в способі оптичного візування в реальних умовах САР. Згідно з рекомендаціями для максимального послаблення впливу зовнішніх умов вимірювання виконувались з 6 до 9 години ранку в прямому і зворотньому напрямках. Наведемо деякі особливості вимірювань в різних програмах. В програмі загального створу на створних знаках марка вводилась у створ по 6 разів при положенні галактичного гвинта зліва і справа від осі створу. В програмі частин створу загальний створ був розбитий на приблизно дві рівні частини - 110 і 135 м; відліки

бралися як і в програмі загального створу; при обробці результатів використовували виміряну нестворність середньої точки з програми загального створу. В програмах послідовного і часткових створів для зменшення похибок центрування застосовували трьохтитативну систему, коли в підставку марки вставляли теодоліт, а марка центрувалась на подальшій точці; марка над точкою встановлювалася двічі: на штативі по оптичному центриру і нагвінчувалася на верх знака. Відхилення від загального створу і часткових створів, місце нуля марки для кожної точки обчислювалося за формулами:

$$\begin{aligned} \Delta &= a_n - MO = a_n - \bar{a} \\ MO &= \bar{a} = (a_n + a_n)/2 \end{aligned} \quad /9/$$

де  $a_n, a_n$  - середні з шести відліків при положенні паралактичного гвинта зліва і справа від створу.

Середні квадратичні похибки місця нуля  $MO$  марки і вимірних відхилень  $\Delta$  в програмах загального створу і часткових створів обчислювалися за формулами:

$$\begin{aligned} m_{MO} &= m_{\bar{a}} = \frac{1}{2} \sqrt{m_{a_n}^2 + m_{a_n}^2} \\ m &= \sqrt{m_{\bar{a}}^2 + m_{\Delta}^2} \end{aligned} \quad /10/$$

де  $m_{a_n}$  і  $m_{a_n}$  - середні квадратичні похибки середніх відліків за паралактичним гвинтом, обчислені за формулою Беселя.

Середня квадратична похибка місця нуля рухомої марки дорівнює 0,08мм.

Вагові середні значення нестворності з прямого і оберненого ходів в програмі загального створу обчислювалися за формулою:

$$\Delta_i = \frac{\Delta_{ni} P_{ni} + \Delta_{oi} P_{oi}}{P_{ni} + P_{oi}} \quad /11/$$

де:  $P_{ni} = \frac{C}{m_{ni}^2}$   $P_{oi} = \frac{C}{m_{oi}^2}$   
 $\Delta_{ni}, \Delta_{oi}$  - вимірні нестворності прямого і зворотнього ходів,  
 $m_{ni}, m_{oi}$  - середні квадратичні похибки вимірювання,  
 $P_{ni}, P_{oi}$  - ваги прямого і зворотнього вимірювань,  
 $C$  - постійний коефіцієнт.

В програмі частин створу до вимірних нестворностей додавали поправку ; за рахунок відхилення середньої точки  $B$  від загального створу за формулою

$$\Delta_{\Delta i} = \Delta_B \cdot \frac{d_i}{L_j} \quad /12/$$

- де:  $\Delta_5$  - нестворність точки 5, виміряна в програмі загального створу,  
 $d_i$  - відстань до визначуваної точки,  
 $L_j$  - довжина відповідної частини створу від вихідної точки до 5.

Аналіз результатів показує, що величини середніх квадратичних похибок не перевищують 0,53 мм і спостерігається чіткий функціональний зв'язок їх від відстані. Це свідчить про достовірність результатів і про те, що програми загального і частин створу за відпрацьованою методикою забезпечують потрібну точність вимірювання зсувів інженерних споруд.

В програмах послідовних і часткових створів обчислення нестворності за стандартними формулами при нерівних відстанях між точками створу значно ускладнюється, тому в експерименті виміряні нестворності приводились до загального створу за методикою аналога полігонометричного ходу, запропонованою С.П.Войтенко і Г.М.Літвіним

Обчислені середні квадратичні похибки вимірювання нестворностей у всіх програмах свідчать, що в цілому використана методика забезпечує потрібну точність вимірювання зміщень в САР, оскільки

$$m_{\max} < m_{\text{дор}} \quad 0,64 \text{ мм} < 0,67 \text{ мм/}.$$

Нульова гіпотеза про нормальність розподілу перевірялась за критерієм А.М. Колмогорова і К.Пірсона, які підтвердили, що похибки вимірювань у всіх програмах підпорядковуються нормальному закону, а отже, не порушувалися умови вимірювань, і їх результати у всіх програмах належать одній генеральній сукупності. Застосуванням критерія М.С.Еартлета була підтверджена нульова гіпотеза про рівноточність результатів у всіх програмах створних вимірювань. Таким чином, імовірісно-статистичним аналізом результатів експерименту підтверджено, що незалежно від засобами вимірювань можна отримати потрібну точність вимірювання зміщень інженерних споруд. Установлена практична взаємозамінність за точністю різних програм створів за запропонованою методикою вимірювань. У способах послідовних і часткових створів обов'язкове застосування трьохштативної системи або примусового центрування.

В четвертій главі виконані обробка і аналіз результатів експериментальних досліджень деформацій інженерних споруд на прикладі Євфратського гідровузла для отримання обґрунтованих висновків про

їх характер, прогнозуванні, оцінці надійності вимірних величин і ступені прогнозування. Завдання полягало і в тому, щоб на прикладі багаторічних вимірвань деформацій Євфратського гідроузла виконати такі дослідження, які дозволять зробити вірогідні висновки про хід і розвиток деформацій інженерних споруд ГЕС і відпрацювати сучасні математичні методи досліджень деформацій з метою застосування їх на інших спорудах САР.

Виконані дослідження горизонтальних зміщень будинку ГЕС дозволяють зробити такі висновки: 1/ зміщення верху будинку відбуваються після різкого підняття рівня води у водосховищі; 2/ стабілізація верху будинку настає через 4-5 років після заповнення водосховища або після підняття рівня води у верхньому б'єфі; 3/ сезонні коливання положення верху будинку залежать від режимів температури, рівня води у водосховищі; 4/ максимальні сезонні коливання пунктів від розрахункових не перевищують  $\pm 4$  мм; 5/ за період експлуатації відбулося загальне зміщення верху будинку ГЕС в середньому на 13 мм.

На Євфратському гідроузлі з 1976 року виконуються систематичні, через два місяці, спостереження за осіданням. На лівому і правому берегах були закладені 2 куці глибинних фундаментальних реперів, виконаних у вигляді трикутника із сторонами порядку 40 м, на відстані 1,5 км від напорного фронту. Питання розробки методів аналізу, оцінки і сталості реперів вихідної основи достатньо досліджені і методично їх можна поділити на дві групи: 1/ методи, а яких лежить принцип незмінної позначки одного з найбільш урахуваніших реперів сітки, і 2/ методи, що ґрунтуються на принципі незмінності середньої позначки усіх реперів сітки або групи найбільш сталих реперів. Аналіз сталості реперів висотної основи виконано традиційно із застосуванням кореляційного аналізу і способом Костахеля. В способі Костахеля аналіз сталості виконується за групами реперів /куцями/ між циліами. Спосіб дає можливість в процесі роботи після кожного циклу визначати характеристики стабільності кожного репера. Тому спосіб Костахеля і рекомендується автором для практичного використання. В одну групу об'єднують всі перевищення відносно одного із групи реперів. Кількість груп відповідає кількості реперів висотної основи. В кожній групі обчислюють різниці перевищень реперів в кожному подальшому циклі відносно

рихідного нульового циклу. Для кожного циклу по кожній групі складають матрицю. Найбільш сталим вважається репер, для якого по стороні або стовпцю  $|V^2|$  буде мінімальною.

Разом з тим не виключена можливість осідання всіх реперів куца. Через недослідженість цього питання автор запропонував свій шлях розв'язку, використовувачи методи логічного аналізу. Виходимо з того, що: 1/ похибки вимірювання перевищень  $\Delta h$  мають випадковий характер; 2/ при розробленій методиці вимірювань вони не перевищують відомі границі  $|\Delta h| < \Delta_{пр}$ ; 3/ кількість похибок достатньо велика.

Оскільки перевищення між куцями реперів повинно бути постійним і вимірювання у всіх циклах повинні задовольняти критерію рівноточності, то його можна характеризувати середньою квадратичною похибкою  $m_h$ , яку для відпрацьованої методики вимірювань обчислюють попередньо. При вимірюваннях її експериментальне значення  $\tilde{m}_h$  може відрізнятись, але при збільшенні кількості циклів, згідно з центральною граничною теоремою Ляпунова, при відсутності систематичних похибок значення  $\tilde{m}_h$  повинно прямувати до його теоретичного значення  $m_h$ . Наявність систематичних похибок /осідання куца реперів/ може призводити до викривлення емпіричного значення  $\tilde{m}_h$ .

Виміряні перевищення між сталими реперами куців утворюють статистичний ряд  $h_1, h_2, \dots, h_n$ . Якщо в ряду є систематичні похибки, то застосуємо критерій Аббе для перевірки висунутої гіпотези. Утворимо послідовні різниці:

$$\Delta h_i = h_i - h_0 \quad /13/$$

$$\Delta_i = h_i - \bar{h} \quad /14/$$

де  $h_0, h_i$  - виміряні перевищення в нульовому і  $i$ -му циклах вимірювань,  
 $\bar{h}$  - середня значення перевищень або відхилень.

Обчислимо дисперсії

$$m_{\Delta h}^2 = |\Delta_h^2| / 2(n-1) \quad /15/$$

$$m_{\Delta}^2 = |\Delta_i^2| / (n-1) \quad /16/$$

Систематичні похибки відсутні, якщо статистика  $\delta = m_{\Delta h}^2 / m_{\Delta}^2$

менша статистики  $\bar{\sigma}_q$ , узятій із статистичних таблиць за заданим рівнем значності  $\alpha = 1 - P$  і кількості циклів  $n$ , тобто  $\bar{\sigma} \leq \bar{\sigma}_q$ .

Висновки критеріїв Аббе і Костехеля ідентичні. Отже, імовірно-статистичні методи дозволяють надійно встановити чинники стабільності реперів висотної основи.

Згідно проекту геодезичних робіт на гідровузлі виконується великий обсяг спостережень за осіданнями споруд, у найбіль відповідальних місцях яких закладені осадкові марки, розміщені таким чином, щоб мати повну картину деформацій, можливість виявлення перекосів, прогинів на поздовжніх і поперечних осях, в місцях можливих максимальних осідань, з обох сторін температурного шва в будинку ГЕС, в місцях несприятливих геологічних і гідрогеологічних умов тощо. Положення осадкових марок на поверхні ґрунтових гребель визначалось геометричним нівелюванням III класу, а в будинку ГЕС - II класом. За період 1977-1992 років було виконано 52 цикли спостережень. Отримана інформація використана для вірогідних відомостей про характер і ступінь деформацій і прогнозування їх у розрізку. Імовірно-статистичними методами аналізу осідань піддалин будинку ГЕС встановлено, що з 1975 року пройшла стабілізація осідань будинку, що свідчить про нормальні умови експлуатації будинку і прогнозований характер його осідання. Незначні її коливання відображують характер роботи гідровузла в залежності від рівня води у водосховищі.

Аналіз результатів показав, що найбільшому осіданню до 200 - 250 мм за 16-річний період піддалися поверхневі марки руслової греблі. Виявлено його нерівномірний характер. Більш інтенсивному осіданню піддалися марки, розміщені біля верхнього б'єфу. Нерівномірні осідання є основною причиною деформацій споруди. Тому для вживання заходів щодо їх зупинення і попередження необхідно методами імовірно-статистичного аналізу встановити їх характер, інтенсивність і виконати прогнозування на предмет їх стабілізації. Крім того аналіз прогнозованого теоретичного осідання і його екстраполяція дозволить регулювати періодичність спостережень і значно скоротити їх кількість. Для апробації цих актуальних завдань було виконано з використанням ГМ "Напі ІОЗО" прогнозування ходу осідань марок, що зазнають інтенсивного нерівномірного осідання. Для впе-

леного висновку про прогресуючий або затухаючий характер осідань були встановлені деякі їх статистичні закономірності. Закономірність ходу осідань окремих характерних марок і їх груп, опосереднених за циклами спостережень, апроксимується поліномом другого ступеня виду:

$$s = at^2 + bt + c$$

/17/

де  $t$  - час у роках відносно першого циклу спостережень.

Апроксимація залежності осідання  $S$  від часу  $t$  виконана параметричним способом за методом найменших квадратів. Надійність апроксимації осідань марок підтверджується значеннями кореляційних відношень, які для всіх стриманих кривих регресії відповідають

$\eta = 0,89$ . Прогнозований час закінчення осідання марок відповідає екстремальним значенням мінімумів функцій /17/ і складає в середньому біля 16 років для цих марок, величини осідання яких за прогнозований період складуть 211-254 мм - при відсутності додаткових небажаних агресивних впливів на ґрунти основи.

#### ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведені автором теоретичні та експериментальні дослідження дозволили обґрунтувати застосування геодезичних методів вимірювання деформацій інженерних споруд САР:

1. Визначено склад споруд САР, що потребують дослідження деформацій.

2. В результаті виконаного аналізу геодезичних методів дослідження осідань, зсувів, кренів вироблені рекомендації щодо методики їх застосування на інженерних спорудах САР. Виведено емпіричні формули розрахунку параметрів деформацій і точності різних методів.

3. Запропонована методика розрахунку точності геодезичних вимірювань, яка дозволяє на основі імовірісно-статистичних методів виконати розрахунок точності вимірювання деформації споруди для прийняття методики вимірювань - прямий через проміжний розрахунок і визначити точність окремих вимірювань, виходячи із допустимої величини деформації - обернений проектний розрахунок.

4. Розрахунками точності вимірювання осідань споруд геометричним підєльнюванням встановлено оптимальні довжини візирних променів

для різних методик вимірювань.

5. Виконано детальний аналіз похибки створних вимірювань, розраховані додаткові параметри елементів геодезичних вимірювань в залежності від допустимих похибок вимірних деформацій.

6. Розглянута, відмінна від прийнятої в практиці, методика врахування впливу похибки центрування при створних вимірюваннях і отримана формула.

7. Виконано експериментальні дослідження точності візування в реальних умовах САР. З використання апарату ймовірностно-статистичного аналізу встановлена регресія залежності похибок візування від відстані, статистичними дослідженнями підтверджена достовірність установленої залежності.

8. Виконано експериментальні дослідження впливу зовнішніх умов на точність створних вимірювань. Установлено найвигідніший час створних вимірювань в умовах САР.

9. Виконано теоретичні розрахунки точності різних програм створних вимірювань методами прямих і обернених розрахунків, на підставі яких встановлено, що найперспективніше в умовах САР застосовувати програми оптичного створіння: загального створу, рівних частин, послідовних створів. Розроблено рекомендації щодо методики їх використання на об'єктах САР. Виконано експериментальні дослідження точності створних вимірювань в реальних умовах САР.

10. Теоретичними дослідженнями встановлено, що точність створних вимірів підвищується при обробці в способах часткових і послідовних створів по методиці аналога полігонометричного ходу.

11. Ймовірностно-статистичний аналіз експериментальних досліджень створних вимірів показав їх нормальний розподіл, рівноточність по різних програмах, достовірність отриманих результатів, що підтверджує правильність і надійність розробленої і запропонованої методики створних вимірювань в умовах САР.

12. Виконані ймовірностно-статистичні дослідження деформацій інженерних споруд Євфратської ГЕС:

а/ Встановлена ефективність застосування запропонованого критерія Аббе при дослідженнях стабільності фундаментальних реперів.

б/ Кореляційний аналіз підтвердив гіпотезу про однорідність процесу осідання по всій площі споруди і руслової греблі.

в/ Характер осідання надійно апроксимується логарифмічною функцією для основи споруди і поліномом другої степені для земляної руслової греблі.

г/ Осідання має затухаючий характер; прогностичний час припинення осідання відповідає 16 рокам і досягне 211-264 мм для марок з макси-

мальних осадков руслової земляної греблі і 65-70 мм для будинку ГЕС /при відсутності додаткових неврахованих агресивних впливів/; періодична нестабільність осідань залежить від: режиму експлуатації ГЕС, терміну року, рівня води в водосховищі/.

д/ Тривалість між циклами геодезичних вимірювань за деформаційними об'єктами ГЕС може бути збільшена в 2-3 рази.

Основные положения диссертационной работы отражены в следующих публикациях:

1. Доши Аамр. Вопросы геодезического обеспечения промышленного строительства в САР. Тезисы докладов 52-й научно-технической конференции. Киев. КИСИ, 1991г.
2. Доши Аамр. Исследование осадок и деформаций Евфратской ГЭС. Тезисы докладов 55-й научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов. Киев. КИСИ, 1992г.
3. Доши Аамр. Исследование осадок плотины Евфратской ГЭС. Сб. "Инженерная геодезия" /в печати/.
4. Войтенко С.П., Доши Аамр, Брковский Р.Г., Кравченко Н.И. Анализ устойчивости фундаментальных реперов при исследовании осадок сооружений критерием Аббе. Сб. "Инженерная геодезия" /в печати/.



Подписано к печати 24.02.94г. Формат 60x84 1/16.  
Объем 1,5 п.л. 0,8уч.изд.л. Заказ № 146. Тираж 80 экз.  
Горгопграфия Одесского управления по печати, цех № 3.  
Ленина, 49.

462789

AB29.979

**AB 29.979**