

УДК 528.32

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ДЕФОРМАЦІЯМИ МОРСЬКИХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД ГЕОДЕЗИЧНИМИ МЕТОДАМИ

І. Тревого, Я. Костецька

Національний університет “Львівська політехніка”

М. Звягіна

ДП “ЧорноморНДІпроект”

Ключові слова: деформації, нівелювання, осідання, нестворності, методики спостережень, схеми вимірювань, обернена вага, СКП.

Вступ

Систематичні спостереження геодезичними методами за станом морських гідротехнічних споруд, за достовірністю інженерних обстежень підводної частини та кам'яної призми дадуть змогу отримати дані для вживання своєчасних заходів інженерного захисту – усунення причин деформацій¹ або запобігання їм. А результати спостережень повинні відповідати поставленим до них вимогам у частині їх повноти, своєчасності та точності.

Повнота результатів залежить насамперед від правильного вибору місць закріплення спостережних точок на досліджуваній споруді – за можливості в місцях виникнення небезпечних зміщень споруд чи їхніх частин.

Своєчасність отримання інформації про стан досліджуваного об'єкта залежить винятково від циклічності спостережень.

Точність результатів залежить від двох факторів:

- 1) від методики (класу) вимірювань;
- 2) від розміру і якості² складеної схеми вимірювань.

Постановка проблеми

Досі нема науково обгрунтованих інструкцій, настанов чи практичних керівних матеріалів щодо виконання точних і високоточних інженерно-геодезичних вимірювань під час спостереження за деформаціями на морських гідротехнічних об'єктах.

Спостереження за деформаціями у цій сфері виконуються за методиками, теоретичний і технічний рівень яких оснований на інструкціях з нівелювання

I–IV класів різних років видання. При цьому називають певний клас, але з урахуванням конкретних умов вимірювань на об'єкті пропускають вимоги, які характеризують цей клас. Це означає, що вимога про задану точність визначення деформацій не використовується як вихідна для обгрунтування необхідної методики вимірювань.

Постановка завдання

Основним вихідним документом, на основі якого виробляється методика (або вибирається клас) інженерно-геодезичних вимірювань, є Технічні умови, які складає замовник (за участю підрядника). У Технічних умовах вказують:

- 1) об'єкт спостережень;
- 2) мету спостережень та задану точність із вказанням початку визначення деформацій;
- 3) періодичність (циклічність) спостережень;
- 4) роботи з побудови опорної будівельної мережі та закріплення осі споруди.

У районі будівництва морських гідротехнічних комплексів або окремих гідротехнічних споруд необхідно створити на суходолі високоточну планово-висотну будівельну мережу в системах координат УСК 2000 і WGS84 та в Балтійській 1977 р. (БС77) системі висот. Це забезпечить використання ГНСС-технологій під час вишукувань, промірних робіт та будівництва споруд.

За розробленими проектними матеріалами необхідно скласти проект схем спостережень за деформаціями і вибрати методи спостережень.

За схемами спостережень попередньо потрібно прорахувати точність спостережень за деформаціями морських гідротехнічних споруд геодезичними методами під час їх експлуатації.

Мета

Створена мережа повинна забезпечити будівництво гідротехнічної споруди, спостереження за осіданнями та плановими зміщеннями конструкцій або всієї споруди під час експлуатації, щільномірними вимірюваннями і вертикальністю колон естакад, всі види інженерних вишукувань, а також забезпечити вимоги

¹ Для скорочення тут і надалі під терміном “деформація” умовно розумітимемо не тільки зміну форми об'єкта спостереження, але і його осідання та горизонтальні зміщення.

² Термін “розмір і якість схеми вимірювань” ввів М. Є. Піскунов [2].

до облаштування тимчасового водомірного поста. Прив'язка робочих реперів нового водпоста за відсутності спостережень в районі будівництва за рівнями води до державної висотної мережі дасть змогу визначити на його футштоці місце нуля порту, який прийнятий для найближчого діючого водомірного поста зі схожими природними умовами. Нуль порту – вихідна поверхня похідної системи висот для проектування і будівництва, а позначки строкових рівнів контролюють проектні розміри будівництва.

Для отримання достовірних результатів, які об'єктивно характеризуватимуть деформацію неметалевої причальної споруди, необхідно виконувати інженерні дослідження підводної частини і кам'яної призми, геодезичні вимірювання з особливою ретельністю, які забезпечать середню квадратичну помилку (СКП) вимірювань найвіддаленішої точки відносно вихідної:

- а) для горизонтальних зміщень $\pm 5,0$ мм;
- б) для вертикальних деформацій $\pm 3,0$ мм,

з такою циклічністю, яка виявить найнебезпечніші нерівномірні зміщення у початковій стадії й не допустить зміни геометрії споруди;

в) визначення відхилення труб стендерів від вертикальної осі $\pm 4,0$ мм.

Виклад основного матеріалу.

Відомості про об'єкт. Конкретним об'єктом досліджень є нафтомол, запроектований на виході з глибоководної бухти завдовжки 7 км, завширшки 6 км, захищеної з півночі, сходу та заходу і відкритої для хвиль у разі південних вітрів. Мол розміщений південніше від всіх огорожувальних споруд порту N, доступний для жорсткого впливу вітрів і хвиль, виконує огорожувальні (захисні) та причальні функції.

Загальна довжина молу 680 м, ширина 8 м за винятком ділянок технологічних площадок – там ширина 9 м. З боку моря та зі боку бухти побудовано по два причали для завантажень суден – танкерів. Причали 1 та 2 побудовані з морської сторони на знижених площадках.

Мол будувався кладкою стотонних бетонних масивів на кам'яній постелі, має 18 секцій різної довжини, верхню надбудову у вигляді контрфорсів, масивової кладки або масивової стінки гребінчастої форми з монолітною залізобетонною верхньою надбудовою чи на основі із залізобетонних колон – оболонок діаметром 1,6 м зі збірною залізобетонною верхньою надбудовою.

Для обслуговування танкерів є дві залізобетонні естакади з обладнаними шлангувальними пристроями (стендерами). Висота естакади над проїзною частиною приблизно 6,5 м. Конструктивні рішення споруди різні навіть у межах однієї секції. Наводимо три найхарактерніші розрізи, які виконані на секції № 3 і в районах першої та другої естакад (рис. 1–3).

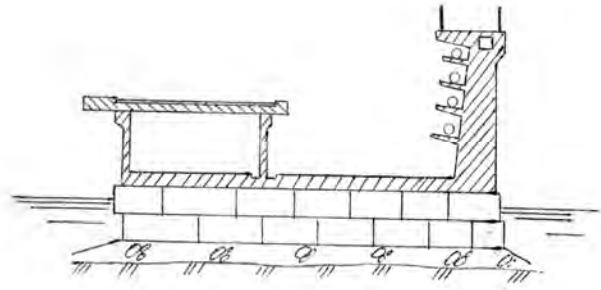


Рис. 1. Розріз естакади № 3

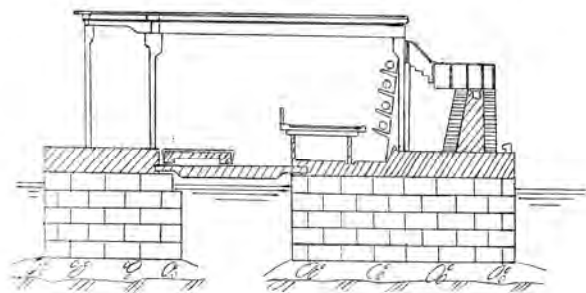


Рис. 2. Розріз естакади № 1

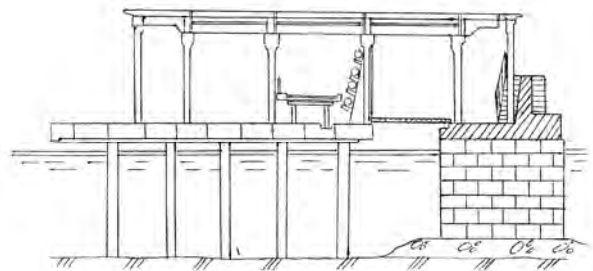


Рис. 3. Розріз естакади № 2

Додаткові надбудови призначені для збільшення стійкості молу та прокладання на них трубопроводів (діаметром від 350 до 700 мм). Одночасно вони ускладнюють вибір місця переходу нівелірної лінії від марок з боку бухти до марок на морській стороні із забезпеченням вимоги [3] про проходження візирного променя над підстильною поверхнею не нижче за 0,5 м. Передбачається облаштування майданчиків за типом міні-сигналу на масивній надбудові в найнижчих її частинах.

Гідротехнічні споруди такого типу завжди будуються від берега в море, тому кожна збудована ділянка молу слугує проїздом для доставляння дуже важких вантажів наступної черги будівництва, тобто повинна витримувати великі динамічні навантаження. Щоб зменшити нерівномірність осідання такої споруди під час будівництва, постіль (кам'яна призма) ущільнювалася вібрацією та направленими вибухами зарядів, які розміщувалися на висоті 2 м над постіллю. Отже, під час спорудження таких об'єктів

та навіть перед початком будівництва в морі на глибинах 9–14,5 м спостереження за деформаціями не передбачаються і неможливі.

Попередня геодезична підготовка. Очевидно, що попередні геодезичні роботи повинні розпочинатися ще до початку інженерно-геологічних вишукувань та до вивчення природних умов (гідрологічних, гідрометеорологічних тощо). Будівельна мережа згущення забезпечить всі види вишукувань, винесення у натуру осі споруди, її закріплення чотирма–п'ятьма знаками із визначенням координат у системах УСК 2000 і WGS84 (X, Y, H та B, L) і забезпеченням їх збереження до кінця будівництва.

Зауважимо, що геодезична наука рекомендує під час розв'язання практичних задач, пов'язаних з вивченням рівневих поверхонь, користуватись динамічними висотами. Але для будівництва та експлуатації вивчаються природні умови району робіт, і все довкілля повинно відображатися висотами в БС77. В цій системі на сусідньому водпосту визначають нулі похідних систем – єдиний нуль поста моря та нуль порту. А в системі єдиного нуля фіксуються всі строкові рівні води на водпостах, від нуля порту (середній із багатолітніх мінімальних рівнів) проектується всі гідротехнічні споруди, комплекси та термінали. Геодезична прив'язка визначеного мінімального рівня повинна бути однозначною, бо від цієї поверхні проектується задані глибини для заходу суден заданих типів і причал заданої конструкції.

Під кінець будівництва необхідно в місцях, де можливе виникнення загрозливих зміщень споруди або її частин, закласти спостережні марки. Такі місця – край споруди на стиках секцій.

Прогноз деформацій. Для споруди найнебезпечнішими є нерівномірні осідання. Виникають вони через неоднакове стискування ґрунтів під кам'яною призмою, спричиняючи крени, прогинання, перекося, кручення і тріщини. Загальні причини осідань зумовлені особливостями інженерно-геологічних і гідрологічних умов та фізико-механічними властивостями ґрунтів.

Вимивання піску в основі кам'яної призми є причиною планових зміщень. Додатково впливають динамічні хвильові навантаження, навали суден і меншою мірою те, що тіло молу в поперечному розрізі не симетричне. Прогноз деформацій виконували проектувальники.

Обґрунтування методу розрахунку деформацій і їх розрахунок виконав гідротехнік, доктор технічних наук Ф. Шихієв. Завдання вирішене методом послідовних наближень. Спочатку прийняли, що бокові

зміщення в піску відсутні, тому осідання можна отримати за результатами компресійних випробувань. Осідання

$$\Delta = d_{II} \times t_{II} + d_{ном} \times t_k \frac{S_k}{S_{r,k}}, \quad (1)$$

де лінійна відносна деформація піску (товщина шару

100 см) $d_{II} = \frac{e_n - e_k}{1 + e_k}$; t_{II} – висота шару піску над

кам'яною призмою; $d_{ном} = 0,8$ – лінійна відносна деформація кам'яної призми, прийнята відповідно до розрахунків, що виконувались в 1940 р. для південного молу в порту Сочі; t_k – висота кам'яної призми; σ_k – напруга, що діє на верхній позначці кам'яної призми; $\sigma_{p,k}$ – найбільша кінцева напруга, яка виникає у разі повного навантаження призми.

Обчислений за (1) для десяти курсів масивів результат осідання 53,7 см, а отриманий за нівелюванням 82 см. Ввівши додаткові поправки за бокові переміщення ґрунту основи, за додаткове проникнення кам'яної призми в сипкий пісок і за осідання шарів, що лежать нижче, отримали повне осідання 81 см.

Результат показав прийнятність методики визначення осідань основи підвищеного стискування. Наведені дані дали змогу прогнозувати подальші осідання не більше за 10 см.

Проект схем спостережень за деформаціями та вибір методу спостережень.

Під час виконання підготовчих (для необхідних видів інженерних вишукувань і будівництва) геодезичних робіт для району робіт створено високоточну мережу згущення з прив'язкою п'яти знаків на продовженні осі в районі кореня молу. Знаки необхідно було закладати з урахуванням їх збереження під час облаштування тимчасової під'їзної автодороги і забезпечення довжини цього базису не менш ніж 1/3 довжини молу.

Умови експлуатації причальних споруд пірсового й одночасно огорожувального (хвилезахисного) типу через їх насиченість металевими наземними елементами надбудов і стислі обставини, а також перебування біля причалів великотоннажних суден заввишки 12–15 м над причалами і марками не дають змоги використати методи ГНСС-вимірювань, як найточніші й найменш затратні, або координатні методи.

Отже, для спостережень за осіданнями можливо скористатись методом геометричного нівелювання.

Вимірювання планових зміщень через ті самі конструктивні особливості молу та умови експлуатації, а також з урахуванням того, що найімовірнішими і найнебезпечнішими для споруди є планові зміщення секцій в напрямку, перпендикулярному до її поздовжньої осі, вибрано створний метод.

Великою складністю створного методу в умовах розміщення об'єкта є те, що кінцева непорушна точка створу розміщена на протилежному боці бухти, на відстані від кореня молу понад 6,5 км. Кінцевою точкою створу вибрано зовнішній кут останньої від центра міста N (на окраїні) багатоповерхової житлової будівлі. Але в районі другої заниженої поверхні молу (причал № 2) вибраний створ уже пересік тіло молу з боку моря, і для вимірювання нестворності його марок був вибраний ще один створ.

Нестворності передбачено вимірювати методом рухомої марки. Якщо створи великої довжини, для зменшення впливу помилки погляду $m_{\text{взг}}$ як за методом рухомої марки, так і за методом вимірювання паралактичних кутів використовують особливі схеми і програми спостережень: частин створу і послідовних створів [1, 4]. В обох програмах передбачається вимірювання з точки на початку створу до точки в кінці створу та від кінцевої точки до початкової. В умовах молу вимірюють нестворності тільки до голови молу, а кінець створу (друга нерухома точка) розташований за багато кілометрів, тобто вимірювання в прямому напрямку до кінцевої точки і в зворотному від кінцевої точки напрямку неможливі. Добитися отримання результатів із заданою точністю можливо за рахунок збільшення кількості прийомів вимірювань порівняно з рекомендаціями [2–4].

Основні розрахункові формули та вибір одиниці ваги. Результати вимірювань з визначення осідань і горизонтальних зміщень отримуємо з деякими похибками.

Середня квадратична помилка (СКП) m_{S_i} осідання S_i марки i відносно вихідної позначки H_A репера A визначаються [2] за формулою:

$$m_{S_i}^2 = m_1^2 \frac{1}{P_{(H_i)_1}} + m_2^2 \frac{1}{P_{(H_i)_2}} \quad (2),$$

де μ_1 і μ_2 – СКП одиниці ваги, які характеризують методику нівелювання в першому та другому циклах спостережень; $\frac{1}{P_{(H_i)_1}}$ і $\frac{1}{P_{(H_i)_2}}$ – величини, обернені до ваги $P_{(H_i)_1}$ та $P_{(H_i)_2}$ позначок H_i марки i , отриманих в першому і другому циклах спостережень відносно вихідної позначки H_A .

Якщо спостереження виконуються так, що

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu, \quad (3)$$

і схема нівелірних ходів у першому і другому циклах залишилась постійною, тобто

$$\frac{1}{P_{(H_i)_1}} = \frac{1}{P_{(H_i)_2}} = \frac{1}{P_{H_i}} = \pi_{H_i}, \quad (4)$$

то

$$m_{S_i}^2 = \mu^2 \frac{2}{P_{H_i}}. \quad (5)$$

Для випадків, коли

$$\frac{1}{P_{(H_s)_1}} \neq \frac{1}{P_{(H_s)_2}} \quad (6)$$

СКП m_{S_i} обчислюють за формулою

$$m_{S_i}^2 = \mu^2 (\pi_{H_i} + \pi_{H_s}). \quad (7)$$

Відомо, що вага P_h перевищення h , наприклад, вимірюного на станції, виражається так

$$P_h = \frac{c}{m_h^2}, \quad (8)$$

де c – довільна величина.

Якщо прийняти, що

$$c = \mu^2 = m_h^2, \quad (9)$$

то отримуємо

$$P_h = 1 \quad (10)$$

Отже, кожна із величин, які входять у (9), є квадратом СКП перевищення h , вага P_h якого дорівнює одиниці. Перевищення h виміряно на станції. Але різновидів перевищень, які вимірюються на станції, багато. Наприклад, перевищення h_q , яке обчислене на станції за відліками Z_q і Π_q чорних шкал задньої та передньої рейок.

$$h_q = Z_q - \Pi_q; \quad (11)$$

те саме за відліками Z_k і Π_k червоних шкал

$$h_k = Z_k - \Pi_k. \quad (12)$$

Користуючись величинами (11) і (12), обчислюють перевищення h_{np} прямого ходу

$$h_{np} = \frac{1}{2}(h_q + h_k)_{np} \quad (13)$$

і те саме перевищення $h_{обр}$ для зворотного ходу

$$h_{обр} = \frac{1}{2}(h_q + h_k)_{обр}. \quad (14)$$

А через знайдені величини (13) і (14) обчислюють середнє перевищення h_{cp} на станції

$$h_{cp} = \frac{1}{2}(h_{np} - h_{обр})_{cp}. \quad (15)$$

Вище наведено перевищення, виміряні на станції за відліками Z і Π у ходах, прокладених однією лінією як у прямому, так і в зворотному напрямках, як рекомендовано в Інструкції [3] для нівелювання II і III класів. У ходах нівелювання I класу кількість ліній подвоюється (ліві та праві) і тому замість (15) обчислюють

$$h'_{np} = \frac{1}{2}(h_l - h_n)_{np}, \quad (16)$$

$$h'_{обр} = \frac{1}{2}(h_l - h_n)_{обр}, \quad (17)$$

із яких створюють h_{cp} за формулою

$$h'_{cp} = \frac{1}{2}(h'_{np} - h'_{обр})_{cp} \quad (18)$$

Наведені перевищення (11), (13), (15) і (18), які виміряні на тій самій станції, з дотриманням рівності пліч

$$(D_3)_i = (D_{II})_i, \quad (19)$$

відрізняються одне від іншого точністю результатів або вагою

$$P_{h_i} = \frac{\mu^2}{m_{h_i}^2}, \quad (20)$$

для обчислення якої необхідно знати СКП m_{h_s} .

Для знаходження m_{h_s} перейдемо від (11), (13), (15) і (18) до відповідних помилок

$$m_{h_1} = m_{h_2} = m_{\text{взг}} \sqrt{2}, \quad (21)$$

$$m_{h_{\text{сов}}} = m_{h_{\text{ов}}} = m_{\text{взг}}, \quad (22)$$

$$m_{h_{\text{сп}}} = m_{h_{\text{ов}}} = m_{h_{\text{взг}}} = \frac{m_{\text{взг}}}{\sqrt{2}}, \quad (23)$$

$$m_{h_{\text{сп}}} = \frac{1}{2} m_{\text{взг}}. \quad (24)$$

Як впливає з наведеного, найпростішим виразом шуканої помилки m_{h_i} є співвідношення (22). Отже, враховуючи (9), можна записати

$$c = \mu^2 = m_{h_i}^2 = m_{\text{взг}}^2, \quad (25)$$

де $m_{\text{взг}}$ – СКП погляду (З або П), m_{h_i} – СКП перевищення (13), виміряного на станції, у ході одного напрямку, за одного горизонту інструмента.

Але вимірювані перевищення (13) на різних станціях i ходу з дотриманням рівності (19) якісно відрізняються одне від одного в зв'язку з нерівністю відстані

$$(D_3 = D_{II})_i \neq (D_3 = D_{II})_{i+1} \quad (26)$$

D_i , які змінюються від станції i до станції $i+1$, тобто

$$P_{h_i} \neq P_{h_{i+1}}. \quad (27)$$

Враховуючи вирази (20) і (25), запишемо

$$P_{h_i} = \frac{\mu^2}{m_{\text{взг}}^2}. \quad (28)$$

Отже, для обчислення ваги виміряних перевищень P_{h_i} необхідно знати СКП $m_{\text{взг}}$ погляду на станції i та відстань D_i .

У помилку погляду [2, 4] входять: вплив інструментальних похибок, пов'язаних з використанням нівеліра та рейок, вплив зовнішніх умов, власні помилки спостерігача та ін. Одні D_i з них залежать від відстані D (майже всі джерела похибок, пов'язані з використанням нівеліра і впливу рефракції), інші джерела D_2 не залежать від відстані D (наприклад, більшість помилок, пов'язаних з використанням рейок).

Якщо під час нівелювання вжити всіх запобіжних заходів, які дадуть змогу зменшити вплив джерел

помилки D_2 , які не залежать від D , до малих значень, якими можна знехтувати, тобто коли виконуватиметься умова

$$\Delta_2 \leq (\bar{V}_i)_{\text{дон}}^3, \quad (29)$$

то тоді шукана помилка $m_{\text{взг}}$ складатиметься із похибок D_i залежних від D_i . Для її визначення під час нівелювання в умовах нафтомолу складемо табл. 1, в якій наведено відстані D_i , які трапляються на об'єкті дослідження.

Для обчислення величин, які входять до табл. 1 (гр. 3–18), використано формули:

$$m_{\text{совм}}^{\text{МКМ}} = \frac{m_{\text{совм}}^{\text{н}}}{\rho^n} D, \quad (30)$$

де $m_{\text{совм}}$ – СКП суміщення відображення кінців бульбашки контактного циліндричного рівня при трубі нівеліра НА-1 з ціною поділки на 2 мм $\tau = 10''$, яка прийнята для розрахунків, згідно з [1], такою, що дорівнює $\pm 0,2''$;

– СКП погляду через неточну оцінку поділки рейки на око визначена за формулою Л. А. Башлавіна:

$$m_{\text{оч}} = 0,0030t + 0,20 \frac{D}{\sqrt{x}}, \quad (31)$$

Для нівеліра НА-1, яким виконувалось нівелювання, збільшення труби $n^x = 44^x$, найменша поділка рейки $t = 10 \text{ мм}$;

СКП перевищення через неточне встановлення сітки ниток обчислена за формулою

$$m_{\text{н.с.}} = \pm 0,04 (J_3 - J_n) \frac{D}{\sqrt{x}}, \quad (32)$$

де J_3 і J_n – видимі в полі зору лінійні зміщення зображення штриха відносно вертикальної нитки у разі візування назад і вперед та прийнято $(J_3 - J_n) = \pm 5 \text{ мм}$, $n^x = 44^x$;

СКП m_i перевищення, що виникає через недотримання головної умови

$$m_i'' = \pm \frac{1}{2} (D_3 - D_{II}) \frac{i''}{r} \text{ мм}, \quad (33)$$

де i'' – кут між візирною лінією і віссю рівня.

Тоді шукана СКП погляду визначається за формулою

$$m_{\text{взг}} = \sqrt{m_{\text{совм}}^2 + m_{\text{оч}}^2 + m_{\text{н.с.}}^2 + m_i^2}. \quad (34)$$

Результати обчислень за формулою (34) наведено в табл. 1 (нижній рядок) для кожної відстані D_i , з якою стикаються під час нівелювання.

³ Задана точність, яка відома до початку спостережень, тобто це заданий допуск точності майбутнього визначення зміни функції F_{AE}

Таблиця 1

Визначення СКП погляду

№ з/п	Назва СКП	Величина помилок для відстаней D , мікронів															
		25	30	35	40	45	55	60	70	75	85	90	110	120	135	165	195
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Помилка, $m_{совм}$	24	29	34	39	44	53	58	68	73	82	87	107	116	131	160	189
2	Помилка оцінки поділки	412	435	458	480	502	548	570	615	638	682	705	795	840	907	1041	1176
3	Помилка за неточність встановлення сітки ниток	112	135	158	180	202	248	270	315	338	382	405	495	540	607	741	876
4	Помилка за перефокусування	Перефокусування труби на станції не дозволяється															
5	Помилка за кут "і" нівеліра	9	10	11	12	13	15	16	18	19	21	22	26	28	31	37	43
	Помилка погляду $m_{взг}$	442	456	485	514	541	604	634	695	726	786	818	942	1005	1098	1288	1480

Користуючись отриманими даними $m_{взг}$ та відповідними значеннями відстаней D , побудуємо графік (рис. 4).

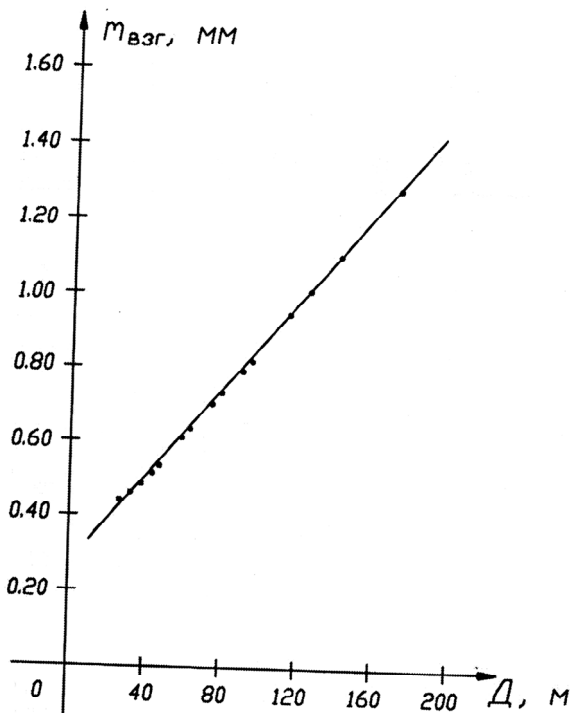


Рис. 4. Залежність значення СКП $m_{взг}$, мм від відстані D_m

На основі графіка отримано формулу:

$$m_{взгi} = m_i = \pm (0,26 + 0,00625 D) \text{ мм}, \quad (35)$$

у якій D виражається в метрах і якою встановлюється залежність шуканої помилки $m_{взгi}$ від відстані D .

Результати розрахунків за формулою (35) наведено в графі 3 (табл. 2) для відповідних D_i графі 2. У графі 4 виписано значення $m_{взгi}^2$, які необхідні для підставлення їх у формулу (28). Як одиницю ваги

прийнято перевищення h_{10} , для якого $m = m_{взг.10}$. Тому на об'єкті за помилку одиниці ваги прийнято СКП $m_{h10} = m_{взг.10}$. перевищення (13) або (14), виміряного на одній станції за одного горизонту інструмента в ході одного напрямку за довжини візирного променя $D = 85$ м. Обернену вагу виміряного перевищення $p_{hi} = 1$ для $D = 85$ м записано в графі 5 (табл. 2).

Значення оберненої ваги $\frac{1}{P}$ наведено в п'ятій графі табл. 2. Вони виражаються числом p_{hi} рівноточних перевищень (13) і (14). Підставляючи вибрану помилку

$$\Delta l = m_h = m_{взг} \quad (36)$$

у формулу (5) та розв'язуючи задачу відносно шуканої формули (35) з урахуванням визначення (4), отримаємо основну розрахункову формулу

$$m_{взг} = m_h = \frac{m_s}{2p_{hi}} \quad (37)$$

Аналіз формули показує, що попередньо обчислена СКП одиниці ваги $m_h = m_{взг}$, яка характеризує методику вимірювань, залежить як від заданої СКП найвіддаленішої щодо вихідної точки, так і від розміру та якості схеми вимірювань. Величину \bar{m}_s задано. Для отримання величини $p_{hi} = \frac{1}{P_{hi}}$ необхідна

схема нівелірної мережі, прокладеної через спостережні марки. Формула (37) буде з успіхом використана і для попереднього прорахунку основної характеристики методики створених спостережень. У такому разі формулу (37) записують так: $\bar{m}_b = \frac{\bar{m}_{s_q}}{\sqrt{2p_q}}$

Таблиця 2

Визначення оберненої ваги перевищень

№ з/п	D_i , м	$m_{\text{взг}}$, мм	$m_{\text{взг}}^2$	$P_{h_i} = \frac{1}{P_{h_i}}$
1	2	3	4	5
1	25	0,442	0,195364	0,316
2	30	0,456	0,207936	0,337
3	35	0,485	0,235225	0,380
4	40	0,514	0,264196	0,428
5	45	0,541	0,292681	0,474
6	55	0,604	0,364816	0,591
7	60	0,634	0,401956	0,651
8	70	0,695	0,483025	0,782
9	75	0,726	0,527076	0,853
10	85	0,786	0,617796	1,000
11	90	0,818	0,669124	1,083
12	110	0,942	0,887364	1,436
13	120	1,005	1,010025	1,635
14	135	1,098	1,205604	1,952
15	165	1,288	1,658944	2,685
16	195	1,480	2,190400	3,546

Отже, в загальному вигляді встановлюються основні розрахункові формули:

$$1) \bar{m}_h = \frac{m_s}{\sqrt{2P_{QAE}}}, \text{ де } Q_{AE} - \text{приріст координат } (D_h,$$

$D_x, D_y)$, m_h – попередньо прорахована помилка вибраної одиниці ваги $P_{QAE} = \frac{1}{P_{QAE}}$;

$$2) P_{QAE} = \frac{\bar{m}_{\Delta s}^2}{2\bar{m}_h^2} i;$$

$$3) [p] = \frac{2\bar{m}_{\Delta s}^2}{\bar{m}_h}.$$

На основі вказаних формул встановлюють вимоги до схеми вимірювань та до її характеристик. Потім визначається необхідна помилка m_h одиниці ваги.

Перспективи подальших досліджень

У майбутньому належить розробити процедури “Методики спостережень за деформаціями морських гідротехнічних споруд геодезичними методами”, “Опрацювання та оцінки точності результатів вимірювань”.

Висновки

1. Необхідно зберегти знаки на осі споруди, закладені до початку будівництва, повторна розбивка

осі не допускається, як і її зміщення відносно меж інженерно-геологічних досліджень.

2. Встановити ступінь стабільності території через порівняння змін позначок пунктів Державної висотної мережі різних років нівелювання у районі будівництва, а під час спостережень враховувати, що моніторинг причального фронту і різних терміналів ведеться на всій території порту.

3. На морських гідротехнічних об'єктах неможливо вести спостереження геодезичними методами до закінчення їх будівництва на воді.

4. Ми визначили основні розрахункові формули з урахуванням конструктивних особливостей споруди та попередньо обчислили помилку вибраної одиниці ваги. На основі цих формул встановлюють вимоги до схеми вимірювань і до її характеристик.

5. Розроблені та прийняті схеми нівелірних ходів та створених вимірювань не можуть змінюватись під час спостережень.

6. Якщо спостережна марка з невідомих причин буде втрачена, то нову марку встановлюють приблизно на тому самому місці.

7. Не допускається використання в деяких циклах спостережень менш точних приладів.

8. Якщо під час експлуатації споруди буде здійснена її реконструкція і зміниться конфігурація, попередній розрахунок потрібно повторити знову, визначивши рівноточні вимірювання.

Література

1. Справочник геодезиста / под ред. В. Д. Большакова и Г. П. Левчука. – М.: Недра, 1966. – С. 638–642.
2. Пискуно М. Е. Наблюдения за осадками и горизонтальными смещениями сооружений геодезическими методами: учеб. пособ. [Текст]. – М. : МИИГАиК, 1973. – 77 с.
3. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – М.: Недра, 1990. –С41, 47.
4. Справочник геодезиста (в двух книгах). Кн. 2. – Второе изд. – М.: Недра, 1975. – С. 1000–1002.

Основні теоретичні передумови спостережень за деформаціями морських гідротехнічних споруд геодезичними методами.

І. Тревого, Я. Костецька, М. Звягіна

Вибрано метод і виконано попередній розрахунок точності спостережень за деформаціями морських гідротехнічних споруд геодезичними методами.

Основные теоретические предпосылки наблюдений за деформациями морских гидротехнических сооружений геодезическими методами

И. Тревого, Я. Костецкая, М. Звягина

Выбрано метод и разработано предрасчет точности наблюдений за деформациями морских гидротехнических сооружений геодезическими методами.

Basic theoretical background for monitoring of marine hydroengineering structures by geodetic survey methods

I. Trevoho, Y. Kostetska, M. Zvyagina

There was selected the method and developed the preliminary calculation of observation accuracy for monitoring of marine hydroengineering structures by geodetic survey methods.

Геодезичне забезпечення розпланувальних та будівельно-монтажних робіт



- теоретичні і практичні аспекти геодезичного забезпечення розпланувальних та будівельно-монтажних робіт у спорудженні енергетичних та водогосподарських комплексів
- крім традиційних, висвітлюється використання нових технологій і засобів вимірювань та опрацювання

Волосецький Б. І.
Навчальний посібник.
Друге видання, доповнене.
Видавництво Львівської політехніки, 2015. 208 с.
ISBN 978-617-607-766-4