УДК 528.3

МЕТОДИКА СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ДЕФОРМАЦІЯМИ МОРСЬКИХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД ГЕОДЕЗИЧНИМИ МЕТОДАМИ

І. Тревого, М. Звягіна, О. Ванчура
Національний університет "Львівська політехніка"

Ключові слова: похибка одиниці ваги, інструментальні джерела похибок, оцінка точності результатів вимірювань, середня квадратична похибка (СКП), аналіз величин деформацій.

Вступ

Описано спостереження за деформаціями нафтомолу, який постійно діє в порту N на виході у відкрите море із глибокої бухти, виконує функції хвилезахисної та причальної споруди зі складених ярусами стотонних бетонних масивів. Довжина споруди 680 м, ширина 8 м. Відстань від голови споруди до будівель протилежного берега 6 км. Мол має по два глибоководних причали з боку бухти та з боку моря. Споруда неметалева, але має велику кількість металевих елементів забудови і трубопроводів як на поверхні (розміщених ярусами на вертикальній стінці), так і в потернах (у тілі молу).

Біля причалів одночасно можуть завантажуватись чотири судна, висота борту яких не менше ніж 15 м над поверхнею причалів. Через ці та інші перешкоди застосування ГНСС-технологій майже неможливе.

Постановка проблеми

Досі немає науково обґрунтованих керівних документів щодо виконання точних і високоточних інженерно-геодезичних вимірювань під час спостережень за деформаціями на морських гідротехнічних об'єктах. Тому їх виконують за методиками, теоретичний і технічний рівень яких ґрунтується на інструкціях з нівелювання I–IV класів [3], при цьому називають певний клас, але не враховують вимог, які його характеризують. Це означає, що вимога про задану точність визначення деформацій не повністю використовується як вихідна для обґрунтування необхідної методики вимірювань. Тому й оцінка точності результатів вимірювань потребує вдосконалення.

Постановка завдання

Оцінка заданої точності визначення деформацій через конкретну конфігурацію гідротехнічної споруди не буде надійною, якщо визначатиметься СКП у міліметрах на 1 км ходу. Тому розглядатимемо сукупність дій, з яких складається процес визначення одиниці ваги виміряних перевищень чи нестворностей та запобіжних заходів, дотримування яких під час вимірювань та опрацювання результатів сприятиме послабленню окремих джерел похибок **на похибку одиниці ваги**.

Під час математичного опрацювання результатів спостережень, а також розв'язання низки інших науково-технічних задач у морегосподарській галузі часто необхідно встановлювати залежність отриманих результатів від деякого фактора чи джерела похибок. Якщо залежність між результатами спостережень встановлено та описано формулою, то її можна використати для попереднього обчислення очікуваної точності виконуваних робіт і опрацювання їх результатів.

Мета

Потрібно дослідити вплив окремих джерел похибок на вибрану нами похибку одиниці ваги в схемах нівелірних ходів і створних вимірювань. Кожне із досліджуваних джерел похибок не повинно виходити за межі основних допусків (58), (59) для нівелірних і (63), (64), а також (66), (67) [2] у кутовій мірі – для створних вимірювань. Якщо яке-небудь із досліджуваних джерел достатньо небезпечне, потрібно буде передбачити запобіжні заходи, спрямовані на послаблення впливу виявленого джерела.

Розглянемо випадки, коли між значеннями двох змінних величин, однією з яких є інтервал часу t від першого циклу спостережень до n-го циклу, а другою – осідання S_h або горизонтальне зміщення S_q деформаційної марки, існує статистичний кореляційний зв'язок.

Поставимо завдання: встановити тісноту зв'язку (тобто ступінь близькості кореляційного зв'язку до функціонального) і з'ясувати форму цього зв'язку, що буде описано формулою, яка дасть змогу попередньо обчислити середні значення однієї змінної величини за заданими значеннями іншої.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Виклад основного матеріалу

Методика геодезичних вимірювань

А. Особливості спостережень за осіданнями

На вимірюване перевищення h_1, впливають: особисті похибки спостерігача, приладові й такі, що залежать від впливу зовнішнього середовища. Найбільшої уваги потребують приладові похибки. До них належать:

1. Похибка погляду через неточне встановлення бульбашки рівня у нуль-пункт. За нашими розрахунками [1], вона становить $0{,}52''$.

2. СКП погляду на рейку через неточну візуальну оцінку поділки рейки, за нашими дослідженнями, не може бути меншою за $0,2$ *мм* ($m_c \le 0,2$ *мм*).

3. Для відліку задньої та передньої рейок необхідно хрест сітки ниток (сітки штрихів) завжди наводити на середину рейки і, за нашими розрахунками, не допускати відхилення вправо чи вліво більш ніж на 3 *мм*.

4. Похибка погляду на рейку через зміну величини кута *"i"* на станції, за нашими розрахунками, не повинна перевищувати $1{,}3''$, а нерівність віддалей до рейок не повинна бути більшою за 3 *м*.

5. Похибка за нахил рейки під час встановлення її на робочу точку буде в допуску за належного використання рівня на рейці.

Крім розглянутих джерел похибок геометричного нівелювання, є ще низка інших, які також потрібно враховувати.

Б. Особливості створних вимірювань

На визначення величини нестворності впливають джерела як приладових похибок, так і пов'язаних із впливом зовнішнього середовища. До приладових джерел похибок, які потребують найбільшої уваги під час створних вимірювань, належать:

1. Похибка центрування теодоліта (електронного тахеометра) над опорним А нафтомолу за максимальної довжини створу (AE=*8000 м*) і ширини малого створу *30 м*, за нашими розрахунками, становить *0,39 мм*, тому на центрування теодоліта (*ET*) на опорному пункті *A* необхідно звертати особливу увагу. Крім того, для нафтомолу неможливо застосувати умову, щоби *т. E* містилась на середині створу.

2. Вплив колімацій зорової труби теодоліта є дуже суттєвим джерелом кутових похибок під час створних спостережень в умовах нафтомолу. За нашими розрахунками, її СКП не повинно перевищувати $1{,}6''$ та свідчить, що це джерело похибок є найнебезпечнішим.

Подібно можна відстежити інші джерела похибок, оцінити їх вплив та підібрати необхідний теодоліт (*ET*), встановити вимоги перевірки та юстування його частин, а також розробити та рекомендувати конкретні запобіжні заходи, дотримання яких дасть змогу забезпечити попередньо обчислену похибку одиниці ваги.

Результати геодезичних вимірювань

А. Спостереження за осіданнями марок

Польові роботи – це прокладання нівелірних ходів через деформаційні марки та репери. В період спостережень на окремій станції необхідно дотримуватись основних умов.

Для встановлення нівеліра посередині між спостережними знаками попередньо виконують розмічування станцій і позначення фарбою місць установлення нівеліра. В умовах нафтомолу середину дуже важно знайти. Іноді сума відстаней до рейок дорівнює подвійній відстані між марками. Нівелювання повинно виконуватись у період чітких і спокійних зображень.

Роботу на першій станції потрібно починати через 30–40 хвилин після того, як нівелір встановлено на штатив і захищено парасолею. За цей час інструмент набуває температури навколишнього середовища.

Контроль на станції: розбіжність між перевищеннями (чорна і червона сторони) має бути меншим за 3 *мм*.

Для визначення висот та осідань марок нафтомолу за 46,9 місяця виконано 16 циклів спостережень. За результатами спостережень обчислено поточні та сумарні осідання. Дані цих обчислень для кожної із 13 осадочних марок всіх 16 циклів зводили в окрему таблицю, куди були внесені опорні пункти НП2 та РП2. Останні нівелювались для кожного циклу від вихідних реперів та ставали вихідними для урівноважень (див. рис. 1) у кожному окремому циклі.

На рис. 1 хід № 1 між реперами РП1 та РП2 прокладено у двох напрямках, і це дає змогу схему ходів складати із чотирьох полігонів. Споруди такого типу сполучені із суходолом тільки кореневою частиною, а в цьому випадку ширина тіла споруди лише 8 м, воно розділене вздовж на дві частини високою стінкою, тому кількість створених на нафтомолу полігонів для оцінювань точності була максимально можливою.

Нев'язки сум перевищень w_i по чотирьох зімкнених полігонах наведено в графах 3, 5, 7 та 9 табл. 1.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

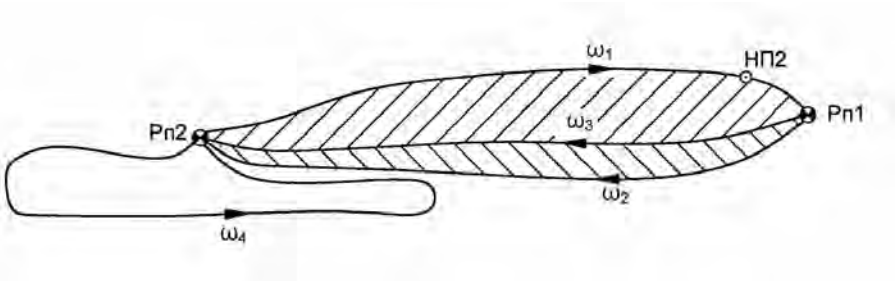

Рис. 1. Схема розміщення полігонів

Таблиця 1

Визначення нев'язок у полігонах та оцінка точності вимірювань

№ циклів	Полігон 1		Полігон 2		Полігон 3 (який оточує)		Полігон 4		$[P\omega^2]$	m_h, мм
	P_1	ω_1	P_2	ω_2	P_3	ω_3	P_4	ω_4		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,08	+6	0,05	–4	–0,08	+2	0,15	+2	4,60	1,07
2	0,08	+4	0,05	+3,5	+0,08	+7,5	0,15	+1	6,52	1,28
3	0,08	+05	0,05	+5,5	+0,08	+6	0,15	+5,5	8,95	1,50
4	0,06	–1	0,06	–3	–0,06	–4	0,15	+2	2,16	0,74
5	0,06	+3,5	0,06	–1,5	–0,06	+2	0,15	–1,5	1,45	0,60
6	0,06	+2,5	0,06	–5,5	–0,06	–3	0,15	+1	2,88	0,85
7	0,06	+4,5	0,06	–4,5	–0,06	0	0,15	+6	2,96	0,86
8	0,06	+0,5	0,06	–3,5	–0,06	–3	0,15	–0,5	1,32	0,57
9	0,06	+6	0,06	–3	–0,06	+3	0,15	0	2,83	0,84
10	0,06	–4,5	0,06	+6	–0,06	+1,5	0,15	–1,5	3,86	0,98
11	0,06	–6,5	0,06	–2	–0,06	+5,5	0,15	+0,5	5,18	1,14
12	0,06	+2	0,06	–2	–0,06	0	0,15	–0,5	0,51	0,36
13	0,06	–4	0,06	+2	+0,06	–2	0,15	+1,5	1,78	0,67
14	0,06	+3,5	0,06	+2	+0,06	+5,5	0,15	–4	5,19	1,14
15	0,06	–2,5	0,06	+2	+0,06	–0,5	0,15	–2,5	1,55	0,62
16	0,06	–2	0,06	0	+0,06	–2	0,15	+2	1,08	0,52
$[[P\omega^2]] = 52,82$ $(m_h)_{ср.} = 0,90$										

Оскільки периметри полігонів під час спостережень у всіх 16 циклах не були однаковими, то в графах 2, 4. 6 і 8 цієї ж табл. 5 наводимо вагу полігонів, тобто величини, обернені до кількості рівноточних перевищень, для визначення яких використано дані табл. 2 [1]. Результататати нівелювання в ході № 1, прокладеному в двох напрямках, зведено в табл. 2.

Б. Спостереження за горизонтальними зміщеннями

Планове положення деформаційних марок визначали, вимірюючи нестворності q_i. За період спостережень виконано 12 циклів вимірювань. За виміряними нестворностями обчислено значення поточних і сумарних зміщень.

Вимірюючи нестворності, на станції виконували вісім прийомів. Результати вимірювань нестворностей характеризуються СКП, виміряних в одному півприйомі й обчислених за формулою Бесселя.

Для кожного циклу спостережень вимірювання виконували двічі в різні дні. Обчислені за виміряними значеннями нестворностей СКП m для двох спостережень в кожному циклі наведено в табл. 2.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Середні значення $m_{ср}$ СКП m_1 і m_2, отриманих у результаті двох вимірювань, обчислені за формулою:

$$m_{ср} = \sqrt{\frac{1}{2}(m_1^2 + m_2^2)}$$

та наведені в табл. 3.

Табл. 2 та 3 складено за результатами вимірювань, виконуваних протягом 56,7 місяця. Значення, наведені в графах 7 і 8 табл. 3, є вихідними для оцінювання точності результатів вимірювань під час визначення зміщень секцій нафтомолу.

Таблиця 2

Визначення СКП для двох спостережень у кожному циклі, мм

№ циклів	СКП (*m*) нестворності									
	302		303		1		7		12	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1					8,8	11,4				
2	1,24		1,00		2,05				9,81	
3	1,52	1,48	2,04	1,73	3,06	1,81			2,04	2,62
4	1,45	1,15	1,73	1,45	3,01	1,80			2,04	2,62
5	1,27	0,90	1,71	0,85	1,43	1,43	1,83	1,43	0,98	0,63
6	0,57	1,58	1,50	1,83	1,50	1,85	1,31	1,04	2,29	1,60
7	2,45	1,20	2,84	2,75	1,31	2,66	1,28	0,53	2,21	2,18
8	1,06	0,81	0,53	1,84	1,73	2,14	2,85	1,96	1,15	1,35
9	0,63	0,63	1,44	1,50	2,36	1,55	2,40	1.85	1,05	1,63
10	0,73	0,63	1,13	1,06	2,34	2,92	1,48	1,28	0,36	0,93
11	0,98	0,52	1,17	0,88	1,26	1,48	0,98	0,86	0,63	0,63
12	0,90	0,73	1,63	1,22	1,52	2,32	1,10	0,52	0,52	0,11

Таблиця 3

Середні значення СКП результатів із двох вимірювань нестворностей, мм

№ циклів	СКП ($m_{ср}$)					СКП нестворностей найслабше визначеної марки 12	μ_q
	302	303	1	7	12		
1	2	3	4	5	6	7	8
1			10,18				
2	1,24	1,00	2,05		9,81	10,03	6,6
3	1,51	1,89	2,49		2,35	4,19	2,8
4	1,31	1,60	2,48		2,35	4,00	2,6
5	1,08	1,35	1,43	1,64	0,83	2,90	1,9
6	1,38	1,67	1,68	1,18	1,97	3,58	2,3
7	1,88	2,79	2,21	0,98	2,20	5,17	3,4
8	0,95	1,40	1,95	2,44	1,26	3,76	2,5
9	0,63	1,46	2,00	2,14	1,37	3,60	2,3
10	0,68	1,10	2,65	1,42	0,71	3,35	2,2
11	0,78	1,03	1,38	0,92	0,63	2,20	1,4
12	0,82	1,44	1,98	0,86	0,45	2,75	2,1

Аналіз результатів спостережень за деформаціями (застосування методу математичної статистики)

Залежності між змінними величинами бувають різними – лінійними, параболічними або періодичними. Розв'язання задачі почнемо з побудови графіка. Крива залежності покаже приблизно вид шуканої функції – чи пряма, чи парабола деякого порядку, чи крива, яка відображає періодичний характер функції. Допустимо, це буде неперіодична (параболічна) функція. Задачу можна буде розв'язати тільки тоді, коли функція розкладається у ряд, який швидко сходиться.

Допустимо, є ряд виміряних значень $y_1, y_2, \ldots, y_n$ з вагою $P_1, P_2, \ldots, P_n$ деякої невідомої нам функції $y = f(x)$, яка відповідає ряду безпомилкових значень аргумента $x_1, x_2, \ldots, x_n$. Насамперед обчислимо $x_0 = \frac{[x]}{n}$, після чого можемо написати

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

$$f(x) = f(x_0 + \xi) =$$

$$= f(x_0) + f'(x_0)\xi + \frac{1}{2} f''(x_0)\xi^2 + ...$$

Оскільки функція f невідома, то будуть невідомими і всі коефіцієнти розкладу, тому запишемо

$$\boldsymbol{y} \approx \boldsymbol{k}_1 + \boldsymbol{k}_2 x + \boldsymbol{k}_3 x^2 + \boldsymbol{k}_4 x^3 + ... \quad (1)$$

У наведеному виразі (1) залишається невідомою кількість членів розкладу, тобто кількість шуканих коефіцієнтів розкладу. Розв'яжемо поставлену задачу.

А. Спостереження за осіданнями

Як приклад розглянемо осідання спостереженої марки 6, встановленої на секції 15 нафтомолу. Складемо табл. 4, в якій наведемо сумарні осідання марки 6 за даними матеріалів спостережень.

За даними цієї таблиці складемо графік залежності осідань S_h від часу t (рис. 2).

Таблиця 4

Сумарні осідання слабковизначуваної марки 6

№ циклів	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
час, t, міс	0	1,8	3,7	6,3	8,3	10,7	14,8	18,9	20,9	23,0	26,5	29,9	32,1	34,6	42,2	46,9
Осідання S_h, мм	0	–1	–4	–3	–2	–4	–3	–5	–8	–6	–9	–8	–7	–8	–8	–10

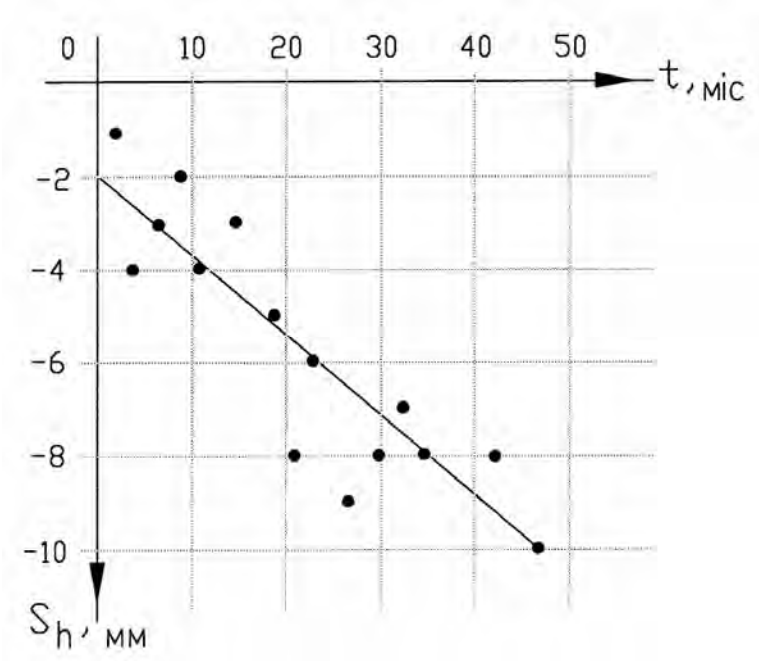

Рис. 2. Графік залежності осідань марки 6 від часу t

Робимо висновок, що залежність осідань від часу *t* у першому наближенні є лінійною функцією, яка виражається формулою

$$S = 2{,}0 + 0{,}1706t. \quad (2)$$

З графіка видно, що найбільші відхилення окремих осідань від знайденої прямої не перевищують 2,5 мм, а СКП визначення висот за програмою спостережень прийнята 3 мм. Отже, знайдена пряма задовольняє вимоги поставленої задачі.

Б. Спостереження за горизонтальними зміщеннями

Розглянемо горизонтальні зміщення марки 1, закріпленої на 13-й секції нафтомолу [2]. Складемо табл. 5, в якій наведемо значення зміщень S_q, які відбулися за час $t_{міс}$, починаючи з 22.02.1988 р.

За даними табл. 5 складемо графік залежності функції S_q від аргумента *t*.

Графік показує, що шукана крива є параболою, порядок якої нам невідомий. У геодезичній літературі трапляються приблизно схожі графіки, які виражаються функцією:

$$f(x) = a + bx + cx^2 + dx^3. \quad (3)$$

Для розв'язання поставленої задачі з урахуванням виразу (3) формулу (1) запишемо так

$$S_q = at + bt^2 + ct^3. \quad (4)$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Таблиця 5

Графік зміщень, які відбулися з інтервалом часу t

№ циклів	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
час t, *міс*	0	5,1	11,9	15,2	19,9	21,9	24,7	30,8	36,4	44,4	50,1	56,7
Зміщення S_q, *мм*	0	–5	–7	–16	–6	–6	–9	0	–2	–8	–6	–9
S_q, *мм* отримане за формулою (82)	0	–5,7	–8,6	–16,7	–5,3	–8,1	–5,6	–3,8	–1,6	–8,8	–3,2	–10,0

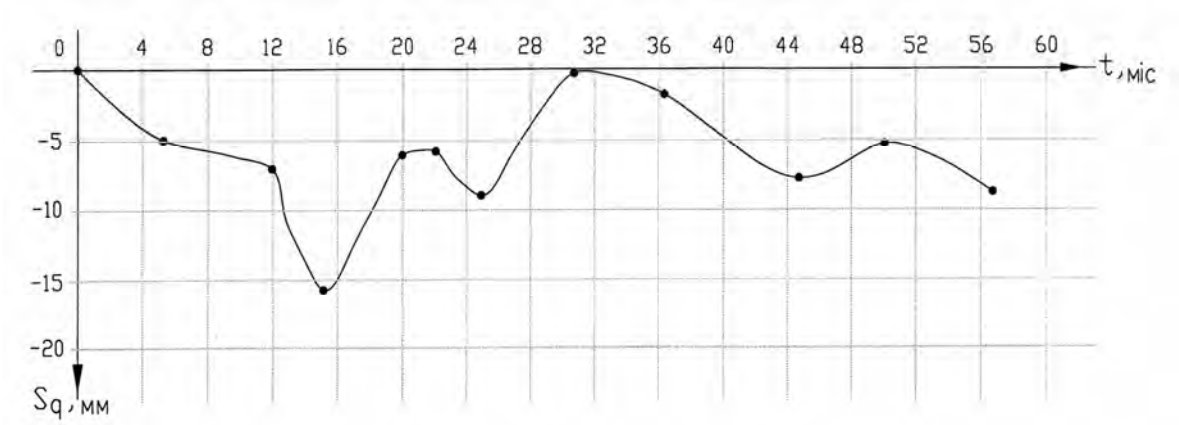

Рис. 3. Графік зміщень, які відбулися за інтервали часу t

І за даними табл. 5 складемо рівняння похибок для 11 циклів (від другого до дванадцятого). Щоб коефіцієнти рівняння не були великими, зменшимо S_q і t у десять разів.

1. $0{,}51a + 0{,}260b + 0{,}1327c + 0{,}5 = 0.$
2. $1{,}19a + 1{,}416b + 1{,}6852c + 0{,}7 = 0.$
3. $1{,}52a + 2{,}310b + 3{,}5118c – 3{,}5118 = 0.$
4. $1{,}99a + 3{,}960b + 7{,}8806c + 0{,}6 = 0.$
5. $2{,}19a + 4{,}796b + 10{,}5035c + 0{,}6 = 0.$
6. $2{,}47a + 6{,}101b + 15{,}0692c + 0{,}9 = 0.$
7. $3{,}08a + 9{,}486b + 29{,}2181c = 0.$
8. $3{,}64a + 13{,}250b + 48{,}2285c + 0{,}2 = 0.$
9. $4{,}48a + 20{,}070b + 89{,}9154c + 0{,}8 = 0.$
10. $5{,}01a + 25{,}100b + 125{,}7515c + 0{,}6 = 0.$
11. $5{,}67a + 32{,}149b + 182{,}2843c + 0{,}9 = 0.$
12. $118{,}90a + 513{,}96b + 2458{,}52c + 20.67 = 0.$
13. $513{,}96a + 2414{,}28b + 12118{,}48c + 78{,}20 = 0.$
14. $2458{,}52a + 12118{,}48b + 62609{,}52c + 359{,}30 = 0.$

Складемо та розв'яжемо нормальні рівняння способом червоних чисел і виведемо рівняння кривої (рис. 3)

$$S_q = –1{,}437t + 0{,}670t^2 – 0{,}079t^3. \qquad (5)$$

Надаючи аргументу *t* значення із рядка 2 (табл. 5), ми за цим рівнянням отримаємо значення горизонтальних зміщень марки 1, внесені в рядок 4 цієї таблиці. Отже, формула дає змогу попередньо обчислювати середні значення горизонтальних зміщень для марки 1 за заданими значеннями часу *t*. Але в умовах експлуатації нафтомолу можуть виникати непередбачувані фактори, а саме – шторми, навали суден на причал тощо.

Допустиму похибку Δ, з якою визначено зміщення точки, підрахуємо за формулою

$$\pm\Delta = tm\sqrt{p}\,, \qquad (6)$$

де t = 3 – коефіцієнт переходу від СКП до допустимих похибок, $m=\mu_q$ = 3,2 мм – СКП одиниці ваги під час визначення нестворностей, $p = \frac{1}{[p^1]}$ – вага врівноваженої нестворності, $tm = 9{,}8$ *мм* [2].

Підставляючи для марки 1 значення *m* із граф 6 і 7 (табл. 2) і значення $[p^1]$ = 1,19 із [2], можемо отримати значення допустимих похибок Δ для усіх циклів спостережень і порівняти їх із попередньо обчисленими.

Оцінка точності результатів вимірювань

За обчисленими даними виконаємо оцінку точності результатів вимірювань.

А. Вимірювання осідань

СКП $m_{взг} = m_{hi}$ визначимо за формулою

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

$$m_{взг} = m_{h_i} = \sqrt{\frac{[pw^2]}{r}}, \qquad (7)$$

де $p = \frac{1}{[p]}$ – вага периметра полігона, ω – нев'язка перевищень, r – кількість полігонів, враховуючи той, який оточує. Але в схемі вимірювань тільки чотири полігони, тому значення m_{h_1}, отримані за формулою (7), ненадійні. Визначимо СКП одиниці ваги за формулою

$$(m_{h_1})_{ñð} = \sqrt{\frac{[[pv^2]]}{rn}}, \qquad (8)$$

де n – кількість циклів. Підставляючи числові значення графи 11 (табл. 2), отримаємо $(m_{h_i})_{ср} = \sqrt{\frac{52{,}82}{4 \cdot 16}} = \pm 0{,}90$ *мм*.

Порівнюючи отримане значення m_{h_1} із попередньо обчисленим μ_h = ±*0,9 мм*, робимо висновок, що якість вимірювань взагалі відповідає заданим основним допускам, хоч окремі значення m_h із графи 11 ці допуски перевищують.

Б. Вимірювання горизонтальних зміщень

СКП одиниці ваг μ_{q1} визначимо зі співвідношення

$$m_{q_E} = \sqrt{m_{q_1}^{\ 2} + m_{q_2}^{\ 2} + \ldots m_{q_n}^{\ 2}}, \qquad (9)$$

де m_{q_E} – СКП визначення нестворності найслабше визначеної точки, m_{q_1} ....,m_{q_n} – СКП визначення нестворностей перехідних точок (марок) для визначення нестворності цієї екстремальної точки

$$m_{q_n} = m\sqrt{\frac{1}{p_n}} = m\sqrt{p'_n}. \qquad (10)$$

Підставляючи (10) в (9), отримаємо $m_{q_E} = \sqrt{m^2 p_1^{\ 1} + m^2 p_2^{\ 1} + \ldots + m^2 p_n^{\ 1}} = m\sqrt{[p^1]}$, звідки

$$m_q = \frac{m_{q_E}}{\sqrt{[p^1]}}. \qquad (11)$$

Підставляючи значення m_{qE}, отримані за формулою Бесселя та записані в графі 7 (табл. 1), у формулу (11), знайдемо значення СКП одиниці ваги для кожного циклу спостережень і запишемо в графу 8 цієї ж таблиці.

Порівнюючи отримані значення СКП одиниці ваги μ_q із попередньо обчисленим значенням μ_q = 3,2 мм, робимо висновок, що спостереження всіх циклів, за винятком I та II, виконано із потрібною точністю.

Сумісну оцінку точності спостережень, які виконували способами прямого та іноді оберненого створів, виконати неможливо, оскільки їх не виконували від другої (кінцевої) точки, тобто через водну перешкоду відстанню 6 км, тому і нестворності в прямих і обернених створах визначались би щодо різних створних напрямків.

Подальші спостереження неможливо виконувати за вибраними схемами у зв'язку з добудовою ще однієї секції в голові нафтомолу.

Урівноваження результатів вимірювань

Для урівноваження результатів періодичних вимірювань можна використовувати як строгий, так і наближені методи. Якщо вибраний другий спосіб забезпечить отримання поправок $(v_{пр})_i$ у кожний виміряний елемент, які відрізняються від поправок $(v_{звор})_i$, отриманих строгим способом врівноваження, не більше від відповідного допуску, то використання такого наближеного способу допустиме. В іншому випадку використання приблизного способу буде технічно необґрунтованим.

Вирівнювальні обчислення опрацьовано тільки для тих циклів спостережень за осіданнями та зміщеннями, які виконували за тією самою схемою спостережень.

Для визначення висот марок використано метод вузлової точки. Висоту репера 2 визначено за відомою формулою

$$H_2 = H_1 + \frac{h_1 P_1 + h_2 P_2 + h_3 P_3}{P_1 + P_2 + P_3}, \qquad (12)$$

де H_1 – висота вихідного репера 1; h_1, h_2, h_3 – перевищення, отримані в ходах 1, 2, 3; P_1, P_2, P_3 – ваги цих ходів, взяті зі схеми вимірювань [2].

На репер 2 спирається полігон, допустиму нев'язку $f_{доп}$ в якому, як і нев'язки для ходів, прокладених між реперами 1 і 2, визначено за формулою $f_{доп} = 10\sqrt{L(км)}$, *мм*.

Для визначення нестворності в кожному циклі спостережень беремо середнє із двох значень, кожне із яких визначається вісьмома повними прийомами.

На підставі даних спостережень за металевими пластинами визначено зміщення уздовж поздовжньої осі нафтомолу за період між двома циклами спостережень, а також сумарні зміщення.

Висновки

Описану в цій і в попередніх статтях [1, 2] методику спостережень за деформаціями морських гідротехнічних споруд геодезичними методами пропонуємо взяти за основу для розроблення

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

відомчого технічного документа СОУ (стандарту організацій України).

Запропонована методика визначення висот через обмежені умови вибору способів виконання геодезичних робіт [1, 2] – для визначення осідань це геометричне нівелювання, а для визначення планових зміщень – створний метод.

Встановлено, що деформації не загасають і спостереження необхідно виконувати два рази на рік – приблизно на початку березня та на початку вересня. Якщо через непередбачувані причини (шторм, швартування надтяжких великогабаритних танкерів тощо) відбудуться відчутні деформації, спостереження необхідно виконувати одразу після закінчення впливу фактора, який їх спричинив, незалежно від того, коли вони стались.

Література

1. Тревого І. Основні теоретичні передумови спостережень за деформаціями морських гідротехнічних споруд геодезичними методами / І. Тревого, Я. Костецька, М. Звягіна // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів, 2017. – Вип. II (34). – С. 77–85.
2. Тревого І. Визначення основних характеристик методики спостережень за деформаціями морських гідротехнічних споруд / І. Тревого, М. Звягіна // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів, 2018. – Вип. I (35). –С. 94–103.
3. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. – М.: Недра, 1990.
4. Пискунов М. Е. Методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений / М. Е. Пискунов. – М.: Недра, 1980. – С. 18.
5. Справочник геодезиста (в двух книгах). Книга 2. – Второе изд. – М.: Недра, 1975. – С. 734–738, 621–722.
6. Справочник геодезиста / под ред. В. Д. Большакова и Г. П. Левчука. – М.: Недра, 1966. – С. 438–439.
7. Красовский Ф. П. Избранные сочинения. Т. III. – М.: Геодезиздат, 1955.
8. ДБН В.1.3-2:2010, Київ. Геодезичні роботи. Мінрегіонбуд України, 2010.
9. Двуліт П. Д. Основи морської геодезії та навігації: конспект лекцій / П. Д. Двуліт, О. М. Денисов. – Львів: Вид-во Львівської політехніки.
10. Рябчій В. Визначення середніх за результатами нерівноточних вимірювань однієї величини / В. А. Рябчій, В. В. Рябчій // Вісник геодезії та картографії. – Київ, 2015. – № 1(94). – С. 15–22.

Методика спостережень за деформаціями морських гідротехнічних споруд геодезичними методами

І. Тревого, М. Звягіна, О. Ванчура

Розроблено методику геодезичних вимірювань під час спостережень за осіданнями та горизонтальними зміщеннями елементів морської гідротехнічної споруди з урахуванням того, як дотримувались вимоги до основних допусків окремо до кожного циклу спостережень. Розв'язано задачі врівноваження та оцінки точності.

Методика наблюдений за деформациями морских гидротехнических сооружений геодезическими методами

И. Тревого, М. Звягина, Е. Ванчура

Разработано методику геодезических измерений при наблюдениях за осадками и горизонтальными смещениями элементов морского гидротехнического сооружения с учетом того, как соблюдены требования к основным допускам отдельно для каждого цикла наблюдений. Решены задачи уравнивания и оценки точности.

Methodology of monitoring deformations of marine hydroengineering structures by geodetic methods

I. Trevoho, M. Zvyahina, O. Vanchura

Methods of geodetic measurements when monitoring settlements and horizontal displacements of marine structure elements are developed, taking into account how the requirements to basic tolerances have been observed in each monitoring cycle separately. Data for accuracy assessment of measurement results are prepared.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua