

Ю.П. Дейнека, С.Л. Петров  
Національний університет “Львівська політехніка”

## ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ЗМІЩЕНЬ ПЕРЕКРИТТЯ ВОДОЗЛИВНОЇ ГРЕБЛІ ДОБРОТВІРСЬКОЇ ТЕС

© Дейнека Ю.П., Петров С.Л., 2007

*За результатами двох циклів геодезичних вимірювань виявлені та проаналізовані горизонтальні зміщення плит перекриття водозливної греблі Добротвірської ТЕС.*

*As a result of two circles of geodesic accounting, were found and analyzed horizontal movement of floor slab panel of overfall dam Dobrotvir power-station.*

**Постановка проблеми.** Серед інженерних споруд, для яких необхідно виконувати систематичний геодезичний контроль за їх горизонтальними зміщеннями, виділяють гідротехнічні споруди і, насамперед, греблі. Це зумовлено дією значних горизонтальних сил з боку верхнього б'єфа, призначенням греблі та наслідками в разі її руйнації. Гребля Добротвірської ТЕС знаходиться в експлуатації понад 50 років і тому забезпечення геодезичного контролю за її технічним станом є необхідним і важливим заходом.

**Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями.** Здійснення робіт з моніторингу горизонтальних зміщень греблі Добротвірської ТЕС має важливе господарське та природоохоронне значення.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, присвячених розв'язанню даної проблеми.** Геодезичні спостереження за станом водозливної греблі Добротвіського водосховища поновлені в 1984 р. [7] і спричинено це тим, що з боку верхнього б'єфа в бетонній обшивці греблі розкрились температурно-осадкові шви, а між першим і другим блоками відбулося сколювання частини бетону. З того часу розроблені методики робіт і виконані декілька десятків циклів спостережень за горизонтальними та вертикальними зміщеннями бетонних блоків водозливної греблі [1, 2, 3], зроблено дослідження результатів вимірювань із застосуванням статистичних методів [4, 6] і динамічних моделей [5, 7] та одержані прогнози залежності горизонтальних і вертикальних зміщень греблі від зміни рівня води у водосховищі [5, 7] та від зміни температури води і повітря, рівня води у водосховищі та витрат води [4, 6].

**Невирішені частини загальної проблеми.** Останнім часом на проїжджій частині водозливної греблі водосховища Добротвірської ТЕС зауважено звуження отворів для водозливу, причому це зменшення отворів є настільки очевидним, що деякі отвори майже повністю закрились. Попередній висновок, зроблений з цього приводу, вказував на те, що зазначена вище ситуація на водозливній греблі склалася внаслідок зміщення верхньої та (або) нижньої плит перекриття водозливної греблі.

**Постановка завдання.** У зв'язку з відзначеним вище виникає декілька запитань, а саме. Чи дійсно звуження отворів для водозливу є наслідком зміщенням плит перекриття водозливної греблі? Якщо це так, то яка саме плита рухається – верхня, нижня чи обидві? І, нарешті, яка величина зміщень, їх швидкість та напрям?

Оскільки візуальне обстеження проїжджої частини греблі та видимих частин нижньої плити перекриття практично не прояснило ситуацію, то зупинились на геодезичних вимірюваннях, мета яких – встановити сам факт зміщення (величину, напрям, швидкість) та визначити, яка саме плита рухається.

**Виклад основного матеріалу.** Схема спостережень за горизонтальними зміщеннями плит перекриття водозливної греблі показана на рис. 1. На проїжджій частині водозливної греблі є шість водозливних отворів, біля яких закріплені контрольні марки у вигляді цвяхів, застрелених в бетонну верхню та залізобетонну нижню плити: на верхній плиті марки 1, 2, 3, 4, 5, 6, на нижній – марки 1', 2', 3', 4', 5', 6'.

Геодезичні роботи з метою визначення планового положення плит перекриття та їх можливих горизонтальних зміщень полягали в періодичних знаходженнях координат контрольних марок, за різницями яких обчислювались величини зміщень марок.

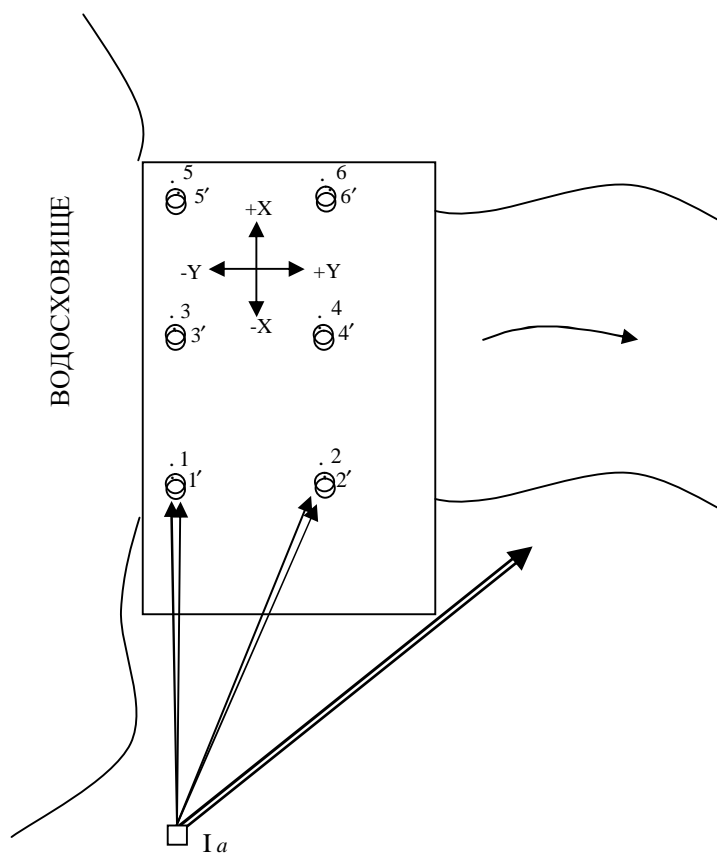


Рис. 1. Схема спостережень за горизонтальними зміщеннями плит перекриття водозливної греблі Добротвірської ТЕС:

1,2,К,6 – контрольні марки на верхній плиті водозливної греблі; 1',2',К,6' – контрольні марки на нижній плиті водозливної греблі;  $I_a$  – опорний пункт;  $\Rightarrow$  – орієнтирний напрям;  $\longrightarrow$  – напрям візування на контрольні марки

Для визначення координат кожної з 12-ти контрольних марок як опорний пункт спостережень використано створний пункт  $I_a$ , закладений в 1984р. на земляній частині греблі; він має пристрій для примусового центрування. Пункт знаходиться на віддалі  $\approx 80$ м від водозливної греблі і протягом більше 20-ти років використовується як опорний створний пункт для визначення

планових зміщень бетонних блоків водозливної греблі. Причому періодично перед кожним циклом спостережень методом мікротріангуляції перевіряється стабільність положення його в плановому відношенні [2,7]. І досі ці спостереження підтверджують стабільність опорного пункту Іа. За орієнтирний напрям з пункту Іа прийнято напрям на хрест церкви в с. Старий Добротвір.

Вимірювання виконували електронним тахеометром SET 330R (серійний номер №130261), детальні дослідження якого дали такі основні результати [8]: точність вимірювання кутів становить  $3'' \pm 0,6''$ , а ліній –  $\pm (2 + 2 \cdot 10^{-6} S)$  мм.

Під час вимірювань тахеометр примусово центрувався на опорному пункті Іа з умовними координатами:  $X=100,000$ м,  $Y=200,000$ м. При цьому вісь  $X$  напрямлена вздовж греблі, а вісь  $Y$  – вздовж течії ріки. Над кожною маркою під час наведення на неї центрувався відбивач за допомогою спеціальної мінітички, завдяки чому помилка за центрування відбивача практично зводилась до нуля. На кожну контрольну марку виконувалось три наведення (прийоми). Отже, планові координати  $X$  та  $Y$  одержувались тричі, а потім обчислювались середні їх значення.

Виконано два цикли спостережень: 16.05.2006р. і 24.05.2007р. Результати визначення координат контрольних марок наведені в табл. 1.

Таблиця 1

**Координати контрольних марок, одержані в циклах спостережень**

№ контрольної марки	Координати							
	X, м				Y, м			
	Цикл 1 16.05.2006 р.							
	1прийм	2прийм	3прийм	середнє	1прийм	2прийм	3прийм	середнє
1	183,3443	183,3447	183,3444	183,3445	196,5570	196,5590	196,5586	196,5582
1'	183,2910	183,2903	183,2910	183,2908	196,5617	196,5617	196,5617	196,5617
2	183,3467	183,3448	183,3465	183,3460	202,2573	202,2573	202,2577	202,2574
2'	183,3104	183,3097	183,3095	183,3097	202,2668	202,2668	202,2668	202,2668
3	195,5890	195,5897	195,5899	195,5895	195,8260	195,8269	195,8274	195,8268
3'	195,5468	195,5466	195,5467	195,5467	195,8488	195,8488	195,8488	195,8488
4	195,8331	195,8329	195,8321	195,8327	201,4934	201,4943	201,4943	201,4940
4'	195,7344	195,7339	195,7347	195,7343	201,4849	201,4849	201,4849	201,4849
5	206,2908	206,2907	206,2908	206,2908	195,2313	195,2324	195,2325	195,2320
5'	206,2720	206,2721	206,2727	206,2723	195,1598	195,1598	195,1609	195,1601
6	206,4412	206,4422	206,4414	206,4416	200,8747	200,8747	200,8747	200,8747
6'	206,3904	206,3905	206,3905	206,3905	200,8671	200,8676	200,8671	200,8673
	Цикл 2 24.05.2007 р.							
1	183,3437	183,3439	183,3440	183,3439	196,5647	196,5659	196,5664	196,5657
1'	183,2903	183,2910	183,2923	183,2912	196,5682	196,5661	196,5676	196,5673
2	183,3465	183,3465	183,3466	183,3465	202,2614	202,2614	202,2618	202,2615
2'	183,3116	183,3117	183,3117	183,3117	202,2721	202,2721	202,2721	202,2721
3	195,5883	195,5889	195,5886	195,5886	195,8344	195,8344	195,8347	195,8345
3'	195,5466	195,5469	195,5470	195,5468	195,8571	195,8576	195,8576	195,8574
4	195,8316	195,8319	195,8319	195,8318	201,5045	201,5045	201,5045	201,5045
4'	195,7342	195,7339	195,7339	195,7340	201,4960	201,4956	201,4956	201,4957
5	206,2990	206,2989	206,2990	206,2990	195,2422	195,2422	195,2422	195,2422
5'	206,2531	206,2533	206,2532	206,2532	195,1797	195,1802	195,1802	195,1800
6	206,4423	206,4424	206,4419	206,4422	200,8840	200,8840	200,8840	200,8840
6'	206,3899	206,3894	206,3899	206,3897	200,8743	200,8743	200,8743	200,8743

Оцінимо точність проведених вимірювань.

Обчислимо за формулою Бесселя середні квадратичні помилки визначення координати  $X$  для кожної марки

$$M_{x_j} = \sqrt{\frac{[V_x V_x]}{n-1}}, \quad (1)$$

де  $j$  – номер контрольної марки,  $n = 3$  – кількість вимірювань (прийомів), а  $V_x$  обчислимо за різницями координат  $X_i - X_{сер}$  ( $i$  – номер прийому).

Після цього знайдемо середню квадратичну помилку визначення координати  $X$

$$M_x = \sqrt{\frac{M_{x_1}^2 + M_{x_2}^2 + \mathbf{K} + M_{x_j}^2 + \mathbf{K} + M_{x_k}^2}{k}}, \quad (2)$$

де  $k$  – кількість контрольних марок ( $k=12$ ).

Аналогічні обчислення за формулами (1) і (2) виконаємо і для координати  $Y$ .

У результаті одержимо таку точність визначення планового положення контрольних марок: в 1-му циклі –  $M_x = 0,3$  мм,  $M_y = 0,4$  мм; в 2-му циклі –  $M_x = 0,4$  мм,  $M_y = 0,5$  мм.

За результатами середніх значень координат, одержаних в двох циклах, знайдемо, як різниці цих координат, величини абсолютних і відносних зміщень контрольних марок вздовж осей  $X$  та  $Y$ , які наведемо в табл. 2.

Таблиця 2

Середні значення координат і горизонтальних зміщень контрольних марок

№ кон- троль- ної марки	Координати				Абсолютні горизонтальні зміщення (мм) вздовж осей координат		Відносні горизонтальні зміщення (мм) вздовж осей координат	
	X, м		Y, м		X	Y	X	Y
	Цикл 1 16.05.06р.	Цикл 2 24.05.07р.	Цикл 1 16.05.06р.	Цикл 2 24.05.07р.				
1	183,3445	183,3439	196,5582	196,5657	-0,6	+7,5	1,0	1,9
1'	183,2908	183,2912	196,5617	196,5673	+0,4	+5,6		
2	183,3460	183,3465	202,2574	202,2615	+0,5	+4,1	1,5	1,2
2'	183,3097	183,3117	202,2668	202,2721	+2,0	+5,3		
3	195,5895	195,5886	195,8268	195,8345	-0,9	+7,7	1,0	0,9
3'	195,5467	195,5468	195,8488	195,8574	+0,1	+8,6		
4	195,8327	195,8318	201,4940	201,5045	-0,9	+10,5	0,6	0,3
4'	195,7343	195,7340	201,4849	201,4957	-0,3	+10,8		
5	206,2908	206,2990	195,2320	195,2422	+8,2	+10,2	27,3	9,7
5'	206,2723	206,2532	195,1601	195,1800	-19,1	+19,9		
6	206,4416	206,4422	200,8747	200,8840	+0,6	+9,3	1,4	2,3
6'	206,3905	206,3897	200,8673	200,8743	-0,8	+7,0		

**Аналіз матеріалів спостережень.** Аналізуючи наведені в табл. 2 результати, можна, насамперед, зазначити, що всі контрольні марки мають зміщення.

Зміщення всіх марок (крім марок 5 і 5') вздовж осі  $Y$  (перпендикулярно до греблі) в середньому на порядок більші, ніж вздовж осі  $X$  (вздовж греблі). До того ж всі марки як верхньої, так і нижньої плит зміщуються вздовж осі  $Y$  в напрямі за течією ріки, що зумовлено, напевно, тиском води з боку верхнього б'єфа. Зміщення марок (крім марок 2 і 2' та 4 і 4') вздовж осі  $X$  (вздовж греблі) відбуваються у протилежних напрямках.

Величини зміщень марок (крім марок 5 і 5') лежать в межах від 4,1 до 10,8 мм – вздовж осі  $Y$ , та від 0,1 до 2,0 мм – вздовж осі  $X$ . Зміщення марки 5 сягають: вздовж осі  $Y$  +10,2 мм, вздовж осі  $X$  +8,2 мм, а зміщення марки 5': +19,9 мм і -19,1 мм відповідно.

Якоїсь закономірності у русі верхньої та нижньої плит перекриття немає: в деяких випадках (для деяких марок) більше змістилась верхня плита, а в деяких випадках – навпаки, нижня. Так само немає закономірності і в напрямі зміщення плит.

**Висновки.** На основі результатів геодезичних повторних спостережень (16.05.2006р. і 24.05.2007 р.) за горизонтальними зміщеннями перекриття водозливної греблі можна зробити такі висновки.

1. Звуження отворів для водозливу є наслідком зміщення плит перекриття водозливної греблі, причому рухаються обидві плити – як верхня, так і нижня.

2. Зміщення обох плит, в основному, відбувається в напрямі за течією ріки. Значення цих зміщень за 12 місяців досягли величин, що лежать в межах від 4,1 до 10,5 мм – для верхньої плити і від 5,3 до 19,9 мм – для нижньої плити.

3. Зміщення верхньої та нижньої плит вздовж греблі переважно відбуваються у протилежних напрямках і мають менші значення, ніж зміщення за течією ріки. Ці значення, в основному, не перевищують 1 мм, хоча в районі марок 5 і 5' верхня плита за 12 місяців змістилась на 8,2 мм, а нижня – в протилежному напрямі на 19,1 мм. Як результат, зміщення верхніх плит відносно нижніх (відносні зміщення плит) вздовж осей  $X$  та  $Y$  мають приблизно однакові значення (від 0,3 до 2,3 мм), за винятком марок 5 і 5', які відповідно мають зміщення: 27,3 мм – вздовж осі  $X$  і 9,7 мм – вздовж осі  $Y$ .

4. Середня швидкість зміщень у напрямі за течією ріки становить: для верхньої плити – 0,7 мм/місяць, для нижньої плити – 0,8 мм/місяць.

1. Дейнека Ю.П. Геодезичний контроль за станом споруд Добротвірської ДРЕС // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва в Україні. – Львів.– 1997. – С. 129–132. 2. Дейнека Ю.П. Методи та результати геодезичних спостережень за об'єктами теплової електричної станції // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів: Ліга-Прес. – 2000. – С. 139–141. 3. Дейнека Ю.П. Геодезичний моніторинг будівель та споруд Добротвірської ТЕС // Інженерна геодезія. – К. – 1998. – Вип. 40. – С. 44–48. 4. Дейнека Ю.П., Тартачинский Р.М., Церклевич А.Л. Статистический анализ горизонтальных смещений водосливной плотины водохранилища ГРЭС // Современное состояние и перспективы развития прикладной геодезии. – Елгава.– 1989.– Вып. 264. – С. 75–80. 5. Дейнека Ю.П., Церклевич А.Л. Моделювання і прогноз стану водозливної греблі на основі геодезичних вимірювань // Geodezja i geometria inżynierska w budownictwie i inżynierii. Tom. 1. Geodezja inżynierska. – Rzeszów. – 1996.– Ś. 17–22. 6. Дейнека Ю.П., Церклевич А.Л. Статистический анализ натуральных наблюдений за состоянием водосливной плотины ГРЭС // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 1990. – Вип. 51. – С. 26–32. 7. Дейнека Ю.П., Шапиро Н.Ф. Анализ результатов наблюдений плотины Добротворского водохранилища // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 1987. – Вип. 46. – С. 18–23. 8. Костецька Я., Петров С., Оліярник Б. Дослідження електронного тахеометра SET 330 R // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва.– Львів: Нац. ун-т “Львівська політехніка”. – 2006. – Вип. 1(11). – С. 63–68.