

М. С. ДЕМЕДЮК, І. С. СИДОРОВ, К. Р. ТРЕТЯК

ВПЛИВ РІКСЬКОГО ТЕКТОНІЧНОГО РОЗЛОМУ НА ДЕФОРМАЦІЇ НАПІРНОГО ТРУБОПРОВОДУ ТЕРЕБЛЯ-РІКСЬКОЇ ГЕС

Теребля-Рікська ГЕС введена в дію у 1956 р. в Карпатах у Хустському районі Закарпатської області. Сучасна тектонічна активність району, а також деякі особливості конструкції основних споруд ГЕС, особливо напірного трубопроводу, вимагали постійного геодезичного контролю за можливими деформаціями. Геодезичні спостереження за зміщеннями анкерних опор напірного трубопроводу проводяться з 1958 р. до теперішнього часу. Останнім часом вони виконуються у комплексі з геолого-

© Демедюк М. С., Сидоров І. С., Третяк К. Р., 1993.

геоморфологічними дослідженнями. Методика досліджень, що застосовувалась до 1989 р., давала можливість фіксувати тільки горизонтальні зміщення напірного трубопроводу [1]. З 1989 р. роботи здійснюються за спеціальною методикою, яка дає змогу одночасно фіксувати горизонтальні та вертикальні зміщення. Суть нової методики викладена в [2] (рис. 1). У цій статті зупинимось лише на основних її положеннях. За цією методикою просторові деформації напірного трубопроводу виявляють

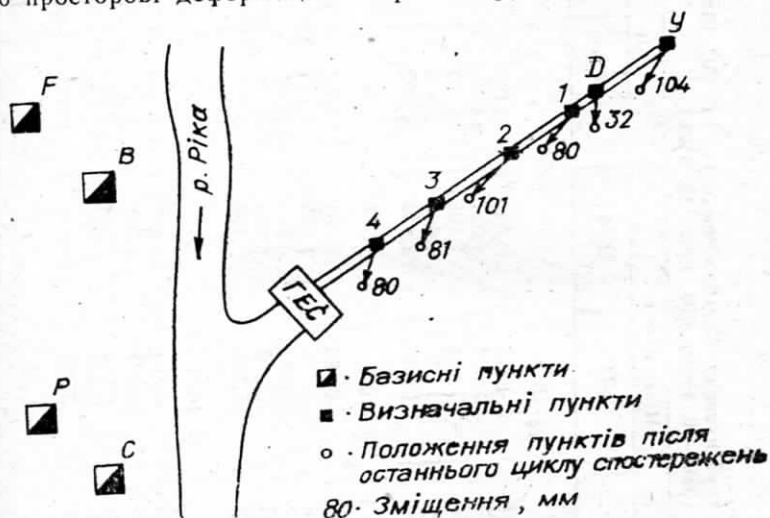


Рис. 1. Схема напірного трубопроводу Теребля-Рікської ГЕС і вектори зміщень анкерних опор.

за допомогою спеціальної просторової геодезичної мережі, що складається з визначальних пунктів, для яких можливе одночасне фіксування трьох просторових координат. Найдоцільніше використовувати зв'язані системи просторових лінійних засічок пунктів, що визначаються з вихідних. Оскільки напірний трубопровід розташований на крутому схилі долини, доцільно протилежний схил використати для встановлення вихідних пунктів. Для забезпечення контролю вимірів пропонується встановлювати не менше чотирьох таких пунктів. Для виявлення місць, найсприятливіших для закладки вихідних пунктів, необхідно виконати геолого-геоморфологічне обстеження території. За даними лінійних вимірів у просторовій мережі параметри деформацій напірного трубопроводу обчислюються за такими кінцевими формулами:

$$\gamma_x = (u_1 + u_2) / 2\Delta X; \quad (1)$$

$$\gamma_y = (v_1 + v_2) / 2\Delta Y; \quad (2)$$

Параметри компонент деформацій напірного трубопроводу Тереля-Рікської ГЕС (05. 1989—06. 1989), (06. 1989—10. 1989), (10. 1989—06. 1990), (06. 1990—10. 1990)

Назва прогону	Назви цикліз							
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	1-8
$\gamma_x \cdot 10^{-4}$								
$Y-D$	0,175	0,987	2,584	1,126	4,540	4,082	0,049	-2,344
$D-1$	12,185	4,460	12,972	3,644	27,867	14,305	11,038	29,347
1-2	0,093	0,845	2,829	1,454	2,135	1,467	1,651	-2,387
2-3	0,927	1,924	1,636	1,547	1,449	2,478	0,197	-6,852
3-4	0,367	0,588	3,833	0,283	2,450	1,292	1,575	-4,712
$\gamma_y \cdot 10^{-4}$								
$Y-D$	0,860	0,103	-0,493	-0,460	0,581	-0,525	0,938	0,944
$D-1$	13,580	2,518	-6,314	-4,772	1,503	-0,627	9,089	17,675
1-2	1,050	-0,086	-0,243	-0,547	0,212	-0,373	0,918	0,952
2-3	1,415	-0,294	-0,035	0,272	-0,395	-0,424	0,252	0,834
3-4	2,367	0,951	-0,302	1,743	-2,418	0,859	-0,313	2,813
$\gamma_z \cdot 10^{-4}$								
$Y-D$	-2,858	1,932	-1,834	4,108	-4,908	5,766	-1,321	-0,852
$D-1$	-20,752	3,154	-7,333	16,741	-17,048	9,641	-6,713	-12,126
1-2	2,175	0,599	0,055	5,912	-3,839	2,693	-2,178	5,805
2-3	2,286	-0,756	2,956	2,863	-1,972	3,356	-1,820	6,954
3-4	0,046	0,621	10,808	3,050	-10,876	0,121	-7,068	16,366

Назва прогнозу	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	1-8
<i>m</i>								
Y-D	0,44	-0,67	0,44	-0,02	-0,35	0,48	0,54	0,63
D-1	0,43	0,75	-0,76	-0,20	-0,61	0,64	-0,22	0,51
1-2	-0,27	-0,83	0,17	-0,87	-5,20	-0,51	0,76	-0,62
2-3	0,23	0,41	0,09	0,32	-0,29	0,75	-0,80	0,62
3-4	-0,19	0,25	0,43	0,65	-1,54	0,17	0,28	0,49
<i>n</i>								
Y-D	0,89	0,50	-0,73	0,94	-0,92	0,88	-0,66	0,77
D-1	-0,65	0,40	-0,11	-0,96	0,39	0,70	0,83	-0,55
1-2	-0,94	-0,45	0,95	-0,08	0,93	-0,86	0,62	-0,78
2-3	0,95	0,91	-0,90	0,94	-0,95	0,53	-0,30	0,75
3-4	-0,95	-0,86	0,76	0,75	0,94	0,96	0,94	-0,72
<i>l</i>								
Y-D	0,89	0,50	-0,73	0,94	-0,15	0,06	-0,53	-0,06
D-1	-0,65	0,40	-0,11	-0,96	0,69	-0,32	0,51	-0,66
1-2	-0,94	-0,45	0,96	-0,08	0,37	-0,02	-0,21	0,06
2-3	0,95	0,91	-0,90	0,94	-0,13	-0,46	0,52	-0,21
3-4	-0,95	-0,86	0,76	0,75	0,33	0,23	0,18	-0,50

Закінчення табл.

Назва прогону	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	1-8
$\gamma \cdot 10^{-4}$								
$\gamma-D$	2,990	2,172	3,209	4,285	6,712	5,579	1,621	2,667
D-1	27,633	6,014	16,180	17,786	32,703	17,263	15,796	36,343
1-2	2,417	1,040	2,891	6,112	4,398	3,089	2,884	6,347
2-3	2,843	2,688	3,379	3,266	2,479	4,193	1,848	9,799
3-4	2,395	1,280	11,472	3,524	11,407	1,556	7,247	17,262
$\Delta \cdot 10^{-4}$								
$\Delta-D$	0,020	0,189	-0,048	1,145	-0,655	0,522	-0,208	0,955
D-1	-2,881	3,684	7,177	-11,132	0,723	4,161	5,110	-7,858
1-2	-2,008	0,005	0,341	-0,787	0,175	-0,367	0,110	-2,613
2-3	0,878	0,962	-2,332	0,476	-0,025	-0,653	0,614	-0,156
3-4	1,333	-3,305	1,319	-0,548	0,475	2,313	0,724	-0,805
θ								
$\theta-D$	0,4	0,4	1,0	1,8	0,6	0,4	0,4	11,0
D-1	2,2	4,5	2,2	6,3	15,8	4,5	1,3	5,3
1-2	1,5	0,7	0,4	0,2	0,2	0,9	0,1	2,5
2-3	1,0	0,6	1,2	0,6	0,5	0,2	0,4	0,8
3-4	0,3	1,5	1,1	0,4	2,1	2,3	0,7	0,9

$$\gamma_z = (t_1 + t_2) / 2\Delta Z; \quad (3)$$

$$\gamma = \sqrt{\gamma_x^2 + \gamma_y^2 + \gamma_z^2}; \quad (4)$$

$$\Delta = [(u_2 - u_1) \cos \alpha + (v_2 - v_1) \cos \beta (t_2 - t_1) \cos \varphi] / L \quad (5)$$

$$\Theta = \arcsin(\omega^2 / L^2 = \Delta^2); \quad (6)$$

$$m = A / \sqrt{A^2 + B^2 + C^2}; \quad (7)$$

$$n = B / \sqrt{A^2 + B^2 + C^2}; \quad (8)$$

$$l = C / \sqrt{A^2 + B^2 + C^2}; \quad (9)$$

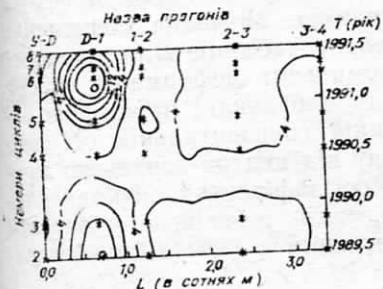


Рис. 2. Просторово-часовий розподіл відносних зміщень γ_x .

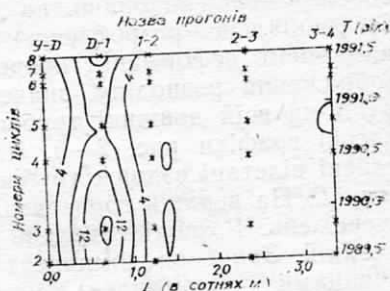


Рис. 3. Просторово-часовий розподіл відносних зміщень γ_y .

де $\gamma_x, \gamma_y, \gamma_z, \gamma$ — відносні зміщення за осями X, Y, Z , і загальне зміщення; Δ — дилатація — відносне стиснення або розтяг; Θ — кут розвороту прогону трубопроводу; $\cos \alpha, \cos \beta, \cos \varphi$ —

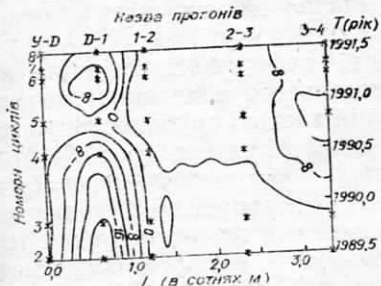


Рис. 4. Просторово-часовий розподіл відносних зміщень γ_z .

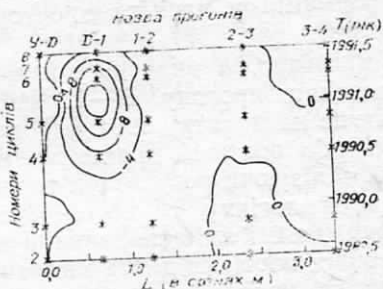


Рис. 5. Просторово-часовий розподіл відносних стиснень і розтягів Δ .

направляючі косинуси окремого прогону; $u_1, u_2, v_1, v_2, t_1, t_2$ — зміщення за координатами X, Y, Z двох кінців прогону трубопроводу; L — довжина прогону. Всі обчислені параметри компонент деформацій відносяться до центру тяжіння конкретного прогону трубопроводу.

За цією методикою у період 05. 1989—06. 1991 рр. виконано вісім циклів лінійних вимірів: 05. 1989, 06. 1989, 10. 1989, 06. 1990, 10. 1990, 03. 1991, 04. 1991, 06. 1991 рр. Перші три цикли виконані електронним тахеометром ЕОТ-2000, а з четвертого по восьмий цикл — світловіддалеміром СТ-5 «БЛЕСК».

За формулами (1)—(9) визначені параметри компонент деформаций для семи інтервалів часу: 05. 1989—06. 1989, 06. 1989—10. 1989, 10. 1989—06. 1990, 06. 1990—10. 1990, 10. 1990—03. 1991, 03. 1991—04. 1991, 04. 1991—06. 1991 рр.

Обчислення компонент деформаций для вказаних періодів спостережень виконано на персональному комп'ютері РС-ХТ за спеціально розробленою програмою. Значення обчислених компонент деформаций представлені у таблиці. Для наочного зображення розподілу значень компонент деформаций u_x , u_y , u_z , Δ на всій довжині трубопроводу побудовані просторово — часові графіки рис. 2—5. На нижній горизонтальній осі позначені відстані вздовж трубопроводу від центра верхнього прогону L . На верхній горизонтальній осі зафіксовані періоди спостережень. Розподіл значень деформаций зображено у вигляді ізоліній. Значення компонент деформаций є безрозмірними величинами і представлені в одиницях 10^{-3} .

Аналізуючи графіки, зазначимо:

а) всі значення компонент деформаций є аномальними на ділянці прогону $D-1$, який відповідає зоні стику дериваційного тунелю і напірного трубопроводу;

б) аномальні значення компонент деформаций охоплюють за довжиною 100-метрову зону, де інтенсивність зміни параметрів деформаций у часі та просторі значно менша, ніж у нижній частині;

в) розподіл значень компонент деформаций свідчить про стиснення прогону $D-1$. Максимального значення стиснення досягло на початку 1991 р. У нижній частині трубопроводу стиснення або розтягів практично не спостерігається (рис. 5).

Аналізуючи результати геодезичних вимірів і опираючись на геоморфологічну і тектонофізичну інтерпретацію виявлених деформаций і зміщень, можна припустити, що на напірний трубопровід постійно діють направлені силові напруги. Дуже можливо, що вказані напруження викликані зміщенням блоків земної кори на виявленому в районі Теребля-Рікської ГЕС тектонічному розломі. Виявлені тектонічні напруження поділяємо на фонові і локальні. Фонові напруження зумовлюють загальне зміщення напірного трубопроводу, можливо навіть цілого станційного вузла. Чисельно вони виражені приведеними векторами зміщень (див. рис. 1). Якщо вірним є припущення, що фонові напруження охоплюють весь станційний вузол, то останні не повинні суттєво впливати на експлуатацію споруд ГЕС.

Локальні напруження суттєво відрізняються від фонових, вони сконцентровані на ділянці стику тунелю і напірного трубопроводу і охоплюють прогин $D-1$. Дані геодезичних вимірів підтверджуються гідрогеологічними спостереженнями. Саме на цій ділянці простежується різке коливання рівня ґрунтових вод, яке найприродніше пояснюється втратою герметичності тунеля і підживленням ґрунтових вод за рахунок просочування води з нього. Локальні напруження можуть суттєво вплинути на деформації тунелю і трубопроводу.

Щоб судити про реальну небезпеку нагромадження локальних деформаційних напружень, необхідно розрахувати допустимі навантаження, які відповідають межі пружності напірного трубопроводу. Ці напруження можна розрахувати за такою формулою:

$$P = hE / \sqrt{3(1-\nu)^2 R}, \quad (10)$$

де ν — коефіцієнт Пуасона; E — модуль Юнга; h — товщина стінки трубопроводу; R — радіус труби. У випадку для сталі $\nu=0,25$, а $E=2,06 \cdot 10^5$ МПа, враховуючи, що $h=0,02$ м, а $R=1,10$ м, отримаємо $P_v=0,0223 \cdot 10^5$ МПа.

За отриманим значенням абсолютних деформацій можна обчислити локальні напруження, що виникли за період 05.1989—10.1990 рр. на всіх прогонах напірного трубопроводу. Обчислення проведемо згідно з формулою Гука:

$$P = E \Delta L / L, \quad (11)$$

де ΔL — абсолютна деформація; L — довжина прогону. Значення напружень наступні: $P_{D-1}=0,0025 \cdot 10^5$, $P_{1-2}=0,005 \cdot 10^5$; $P_{2-3}=0,00005 \cdot 10^5$, $P_{3-4}=0,0002 \cdot 10^5$ МПа. Усі значення обчислених напружень знаходяться у межах допустимих навантажень. Однак слід пам'ятати, що обчислені напруження виникли за період 05.1989—10.1990 рр. і є наслідком впливу локальних тектонічних навантажень. Можливість спостерігати вплив локальних деформацій виникла тільки після створення просторової мережі, тобто з 05.1989 р. Фонові зміщення спостерігаються з 10.1959 р. Оскільки фонові і локальні деформаційні поля мають однакову тектонічну природу, то з високим ступенем ймовірності можна припускати їхню взаємну кореляцію. Допускаючи пропорціональний взаємозв'язок фонових і локальних деформацій, можна обчислити деформаційні локальні напруження, що виникли за період 10.1959—10.1990 рр. Довжини векторів зміщень за період 10.1959—10.1990 рр. мають співвідношення 5:1 або 6:1. Відповідно локальні навантаження за період 10.1959—10.1990 рр. будуть у п'ять або шість разів більші навантажень за період 05.1989—10.1990 рр., або в числових значеннях:

$$P_{D-1}=0,0125 \cdot 10^5, \quad P_{1-2}=0,0025 \cdot 10^5, \\ P_{2-3}=0,00025 \cdot 10^5, \quad P_{3-4}=0,0010 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

При цьому середня швидкість зростання сили стиснення для прогонів буде:

$$\tau_{D-1}=0,00040 \cdot 10^5, \quad \tau_{1-2}=0,00081 \cdot 10^5, \\ \tau_{2-3}=0,00008 \cdot 10^5, \quad \tau_{3-4}=0,00003 \cdot 10^5 \text{ МПа на рік.}$$

Знаючи швидкості нагромадження напружень на окремих прогонах, важливо розрахувати запас часу, при якому можуть накопичитись критичні деформаційні навантаження, що відповідають межі пружності. Розрахунок виконаємо за формулою

$$T = (P_v - P_n) \tau_n, \quad (12)$$

де P_n — напруженість, нагромаджена на 05.1991 р; τ_n — швидкість нагромадження напруженості. Запас часу для відповідних прогонів буде $T_{D-1}=24,5$, $T_{1-2}=24,7$, $T_{2-3}=2700$, $T_{3-4}=710$ років.

Таким чином, комплексні геодезичні і геолого-геоморфологічні дослідження, проведені у районі Теремля-Рікської ГЕС, дали змогу виявити складну картину деформацій напірного трубопроводу, розділити всі фіксовані деформації на фонові і локальні, показати, що локальні деформації є реальною загрозою верхньої частини напірного трубопроводу, особливо стику останнього з будівлею дросельних затворів, а також розрахувати запас часу, за який деформаційні навантаження досягнуть критичних значень.

1. Демедюк Н. С., Третьяк К. Р. О Рикском тектоническом разломе Карпат // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1991. Вып. 54. С. 2. Третьяк К. Р. Проектирование, оптимизация и уравнивание специальных пространственных геодезических сетей для исследования деформаций напорных трубопроводов деривационных гидроэлектростанций // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1991. Вып. 53. С. 67—80.

Стаття надійшла до редколегії 10. 12. 91