

УДК 550.834

С. Дейнеко¹, канд. геол. наук
E-mail: mailto:sideiukr.net,
С. Вижва², д-р геол.-мінерал. наук, проф.
E-mail: vyzhva_s@ukr.net,
Г. Нестеренко¹, директор
E-mail: atomEP@ukr.net,
А. Берневек¹, голов. спеціаліст
E-mail: atomEP@ukr.net,
С. Іващенко¹, голов. спеціаліст
E-mail: mamont_88@ukr.net

¹Державне підприємство "Київський інститут інженерних вишукувань і досліджень "Енергопроект", пр. Перемоги, 4, м. Київ, 01135, Україна
²Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

СЕЙСМОАКУСТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ СТАНУ ҐРУНТІВ ДНІСТРОВСЬКОГО СХИЛУ (У ЗОНІ РОЗМІЩЕННЯ НАПІРНО-СТАЦІОНАРНОГО ВУЗЛА)

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О. Є. Кошляковим)

Дністровська ГАЕС, як і більшість ГЕС, побудована у складних структурно-тектонічних та інженерно-геологічних умовах. На стан споруд, розміщених на крутому схилі, впливають техногенні (струшування території при скиданні води) та природні (велика кількість опадів сприяє інтенсифікації зсувних процесів) фактори. Для контролю за станом безпеки системи "ґрунт–споруда" розпочато сейсмоакустичний моніторинг.

Наведено результати сейсмоакустичних досліджень, виконаних у мережі стаціонарних свердловин на Дністровському схилі. Отримано вихідні характеристики швидкості розповсюдження пружних хвиль у породах геологічного розрізу території досліджень. Результати вимірів 2016 р. служитимуть як базові для порівняння з результатами вимірів наступних років з метою виявлення можливих змін у стані ґрунтів та, у випадку необхідності, виконання необхідних заходів для укріплення схилу.

Ключові слова: ґрунт, гідротехнічна споруда, моніторинг, сейсмоакустичні дослідження, міжсвердловинне сейсмічне прозвучування, сейсмічна томографія.

Дністровська ГАЕС, як і більшість ГЕС, побудована у складних структурно-тектонічних та інженерно-геологічних умовах у межах території з інтенсивністю сейсмічного впливу 7 балів [1] відповідно до карти ЗСР 2004-С. На стан споруд, розміщених на крутому схилі, де перепад висот становить більше 100 м, впливають техногенні фактори (струшування території при скиданні води) та природні (велика кількість опадів сприяє інтенсифікації зсувних процесів). Вплив наведених факторів може призвести до порушення безпеки системи "ґрунт–споруда". Для контролю за станом ґрунтів розпочато сейсмоакустичний моніторинг – прозвучування товщі ґрунтів міжсвердловинного простору для визначення швидкісних характеристик. У статті наведено результати сейсмоакустичних досліджень, виконаних у 2016 р. у мережі стаціонарних свердловин на Дністровському схилі. Отримано вихідні характеристики швидкості розповсюдження пружних хвиль у породах геологічного розрізу території досліджень: у нижньосарматських вапняках середня швидкість поздовжньої хвилі ($\bar{V}$) дорівнює 1,80 км/с; у тортонських глинах і пісках $\bar{V}=1,21$ км/с; у бронницьких аргілітах та алевролітах $\bar{V}=2,70$ км/с; у бернашовських пісковиках $\bar{V}=3,37$ км/с; у лядівських аргілітах та алевролітах (РЄ3ld) $\bar{V}=2,72$ км/с; у косоутських пісковиках (РЄ3cs) $\bar{V}=3,57$ км/с.

Результати вимірів 2016 р. служитимуть як базові для порівняння з результатами вимірів наступних років для виявлення можливих змін у стані ґрунтів та, у випадку необхідності, виконання необхідних заходів для укріплення схилу.

У роботі використано матеріали досліджень ДП КІВД "Енергопроект", отримані в рамках договору про співпрацю між КІВД та Київським національним університетом імені Тараса Шевченка.

Дністровський комплексний гідровузел включає Дністровську ГЕС-1, Дністровську ГЕС-2 та Дністровську ГАЕС. Станція виконує функцію буферного гідровузла і працює в базовому режимі на вирівняних витратах.

У тектонічному відношенні територія Дністровського комплексного гідровузла розташована в межах Волино-

Подільської монокліналі південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи.

У геологічній будові виділяються два структурні поверхи: нижній – складнодислокований кристалічний фундамент і верхній – осадовий чохол. Основні структурні комплекси – архейський, докембрійський, крейдовий і неогеновий, перекриті відкладами верхньоміоценових і четвертинних терас долини р. Дністер (еолово-делювіальних, пролювіальних та ін.) [2].

Згідно зі "Схемою інженерно-геологічного районування території України" територія розміщення ГЕС розташована в регіоні А (Волино-Подільська плита і Передкарпатський прогин), в області А-4 – структурно-денудаційна рівнина Подільської височини.

У сейсмотектонічному відношенні територія досліджень розташована в межах Прикарпатсько-Дністровської сейсмотектонічної провінції платформної частини України в межах Немирівсько-Жмеринської зони виникнення вогнищ землетрусів з незначним проявом сейсмічності, що виділена за комплексом геолого-геофізичних і сейсмотектонічних методів [4].

За гідрогеологічним районуванням [3] територія досліджень знаходиться в крайній південно-східній частині Волино-Подільського артезіанського басейну 1-го порядку, у межах Полісько-Подільського гідрогеологічного району 3-го порядку.

У зоні водоводів і шахт гідроагрегатів досліджуваний геологічний розріз представлений неопротерозойськими пісковицями, аргілітами та алевролітами могилів-подільської серії, перекритими верхньоплейстоценовими піщано-глинистими відкладами.

У зоні водоприймача свердловинами викрито піщано-глинисті ґрунти і вапняки міоценового віку, що перекриваються техногенними відкладами.

Основна концепція управління безпекою гідротехнічних споруд Дністровської ГАЕС полягає в реалізації вимог щодо необхідності ув'язати в одне ціле питання безпеки системи "основа–споруда" на всіх стадіях: вишукування, проектування, будівництва та експлуатація [1].

Ефективність контролю напрямку залежить від того, наскільки своєчасно здійснюються спостереження, а

створена база даних є головним першоджерелом для аналізу фактичного стану споруд на кожний період часу.

Слід відмітити, що на початку будівництва було прийнято рішення про необхідність систематичного контролю стану не тільки гідротехнічних споруд, але й стану масиву ґрунтів. Особливого значення надавалось контролю за станом Дністровського та Сокирянського схилів.

Саме ці елементи нині є найбільш уразливими, навіть небезпечними, щодо дотримання проектних або нормативних критеріїв безпеки зі стійкості.

Для оцінки сучасного стану ґрунтів на ділянці Дністровського схилу в зоні розміщення напірно-стаціонарного вузла в обладнаних свердловинах (рис. 1) виконано сейсмічне прозвучування міжсвердловинного простору.

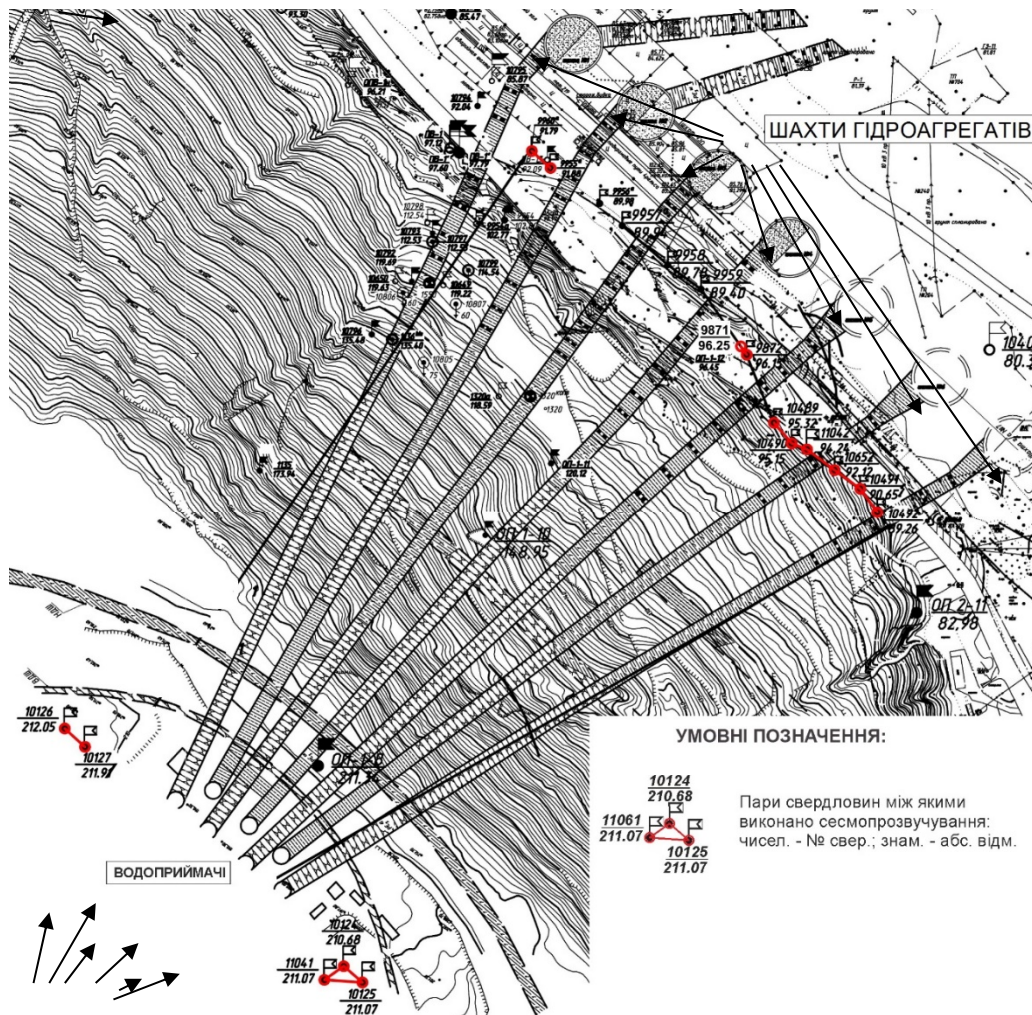


Рис. 1. Дністровський схил. Зона розміщення напірно-стаціонарного вузла

Фізичною основою інженерної сейсμοакустики є зв'язки, які існують між структурними особливостями та станом геологічного середовища, що вивчається, з одного боку, та із структурною полем пружних хвиль, їхніми кінематичними та динамічними властивостями з іншого. Найчастіше характеристиками поля пружних хвиль, що вивчаються, є: типи та кількість упевнено виділених пружних хвиль; час пробігу пружних хвиль від пункту збудження коливань (ПЗ) до пункту їхнього прийому (ПП); швидкості розповсюдження позовжних хвиль V_p .

Методика міжсвердловинної сейсмічної томографії (МСТ) полягала в збудженні пружних коливань в одній свердловині та реєстрації їх в іншій [5, 6]. З метою досягнення найбільшої щільності променів, найповнішого за кутовими координатами покриття досліджуваної області (один із важливих критеріїв якості вирішення томографічної задачі) використана зустрічна віяльна система спостережень. Ця система реалізована послідовним переміщенням джерела вздовж усього інтервалу досліджень по глибині (від забою до устя свердловини) із заданим кроком (крок приймачів) при фіксованому положенні гірлянди приймачів пружних коливань (Р-хвиль). Такі спо-

стереження повторювались для різних положень гірлянди фіксованих приймачів, які переміщувались по стволу свердловини з вибраним кроком збудження. У результаті була зареєстрована серія вертикальних хвильових полів, які відповідають сітці променів, що рівномірно покриває досліджуваний простір (рис. 2).

Для контролю за просторовим положенням у всіх свердловинах виконана інклінометрія (інклінометр DevProbe1 фірми Geotomographie GmbH, Німеччина).

Схему розташування свердловин, в яких виконано сейсμοпрозвучування, наведено на рис. 1.

На рис. 2 наведена схема спостережень, використана при сейсмічному прозвучуванні ґрунтів міжсвердловинного простору. Основні параметри системи спостережень (крок прийому, крок збудження) вибрано з урахуванням сейсмогеологічних особливостей ділянки і необхідної детальності досліджень. При міжсвердловинному прозвучуванні інтервал прийому становив 1 м, збудження – 1 м.

Джерелом збудження пружних коливань при виконанні досліджень використовувалося невибухове електрогідравлічне джерело сейсмічних хвиль "SBS-42", потужність якого 1 кДж. Сейсμοакустичні дослідження вико-

нані цифровою сейсмічною станцією "Лакколіт-24М" виробництва фірми "ЛОГИС" (Росія) та комплектом апаратури фірми Geotomographie GmbH (Німеччина).

При проведенні сейсмопрозвучування необхідною умовою є необхідність заповнення свердловин водою та відсутність порожнин між обсадною колоною і затру-

бним простором (якісна затрубна цементация). Первинні заміри рівня води у свердловинах показали, що воду тримає тільки св. № 10490. Надалі, при заповненні свердловин водою, виявили св. № 11042, яка досить повільно втрачала воду, решта ж свердловин втрачали воду від декількох метрів за півгодини, до 100 % поглинання залитої води.

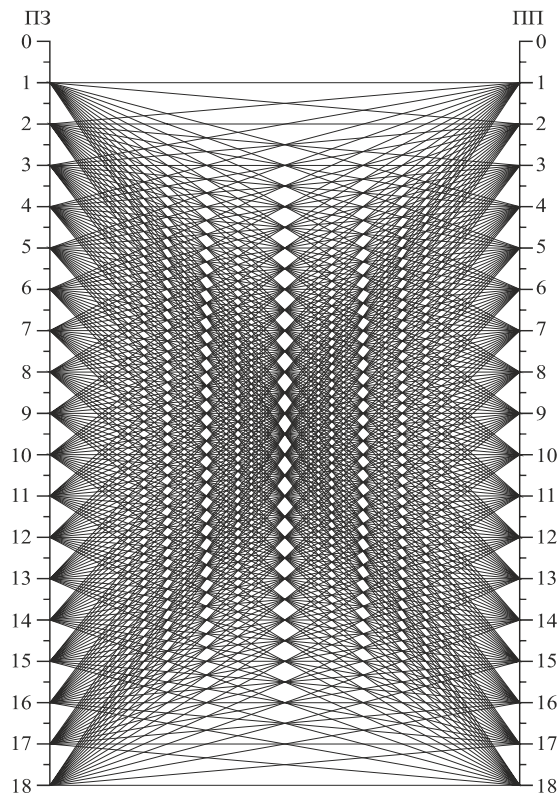


Рис. 2. Схема спостережень МСТ: ПЗ – пункт збудження пружної хвилі; ПП – пункт прийому

Свердловини, розташовані в зоні водоприймача, повністю поглинали залиту воду, роботи виконувались при постійному доливанні води, що значно ускладнювало проведення досліджень.

Залежно від декількох факторів (робота насосів, великі відстані між досліджуваними свердловинами, наявність у них води) корисний сигнал не завжди переважав над рівнем перешкод. В інтервалах, де відсутні порожнини в затрубному просторі й свердловина тримає воду, зареєстровано якісну хвильову картину.

Первинні матеріали являють собою цифрові сейсмограми, зареєстровані сейсмостанцією у форматі SEG-Y. Після операції мультиплексування (підсумовування) сейсмограми візуалізуються і набувають стандартного виду, зручного для обробки. Типову сейсмограму показано на рис. 3.

У деяких випадках, коли свердловина не тримала воду, якість матеріалів погіршувалась, на сейсмограмі неможливо виділити корисний сигнал (рис. 4).

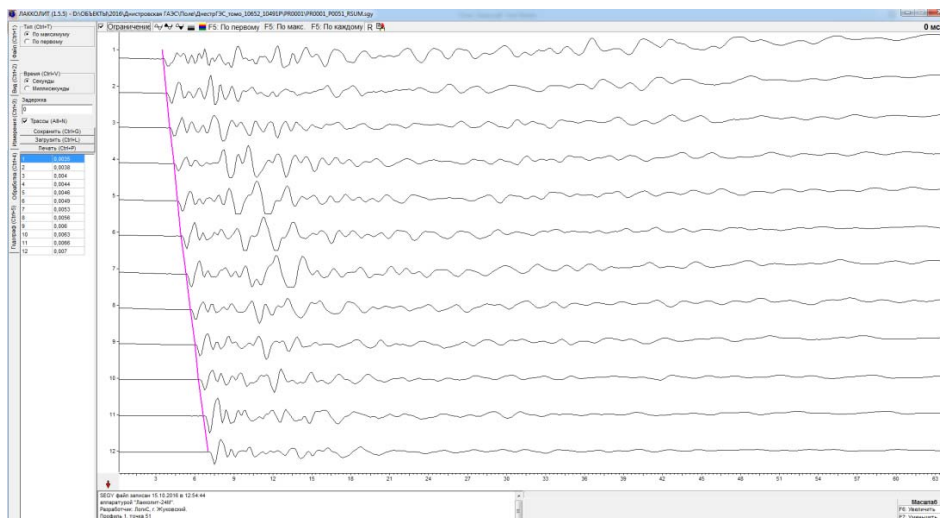


Рис. 3. Приклад зареєстрованої сейсмограми

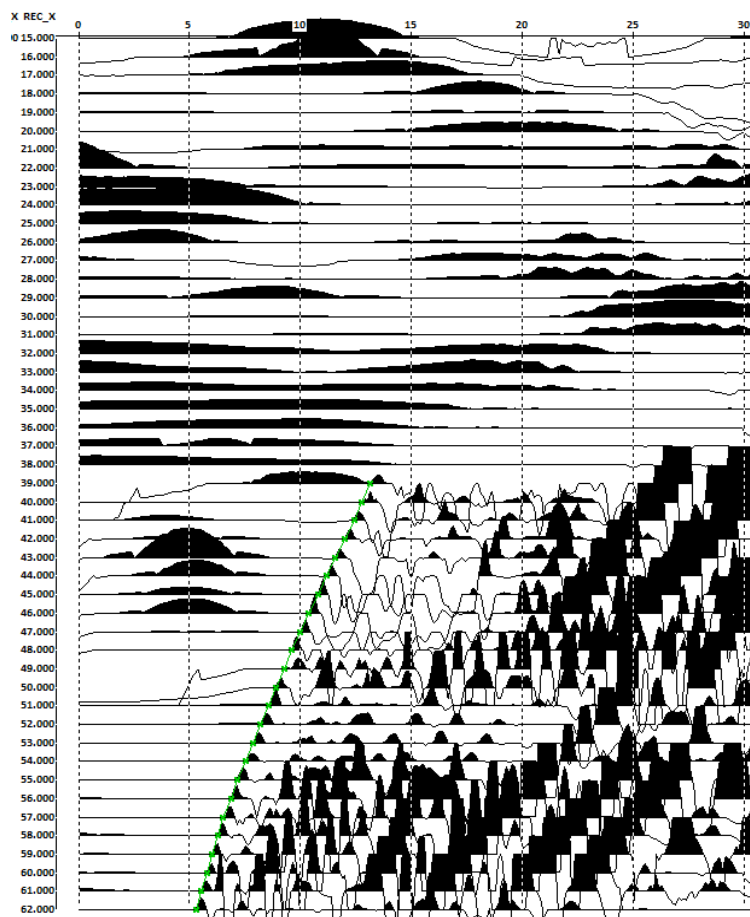
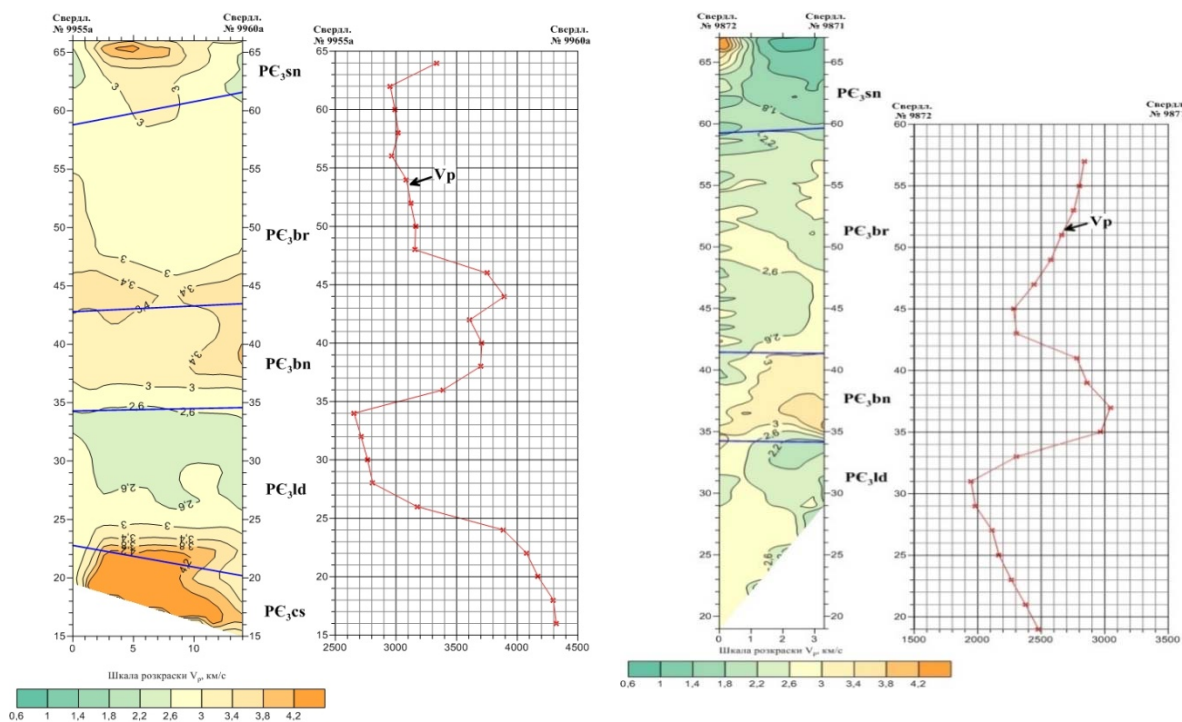


Рис. 4. Характерна хвильова картина при прозвучуванні між свердловинами, що частково заповнені водою (до 40 м)

Після обробки польових матеріалів результати сейсмічної томографії та прозвучування представлені у вигляді сейсмічних томограм і графіків V_p (рис. 5, а-г).



а

б

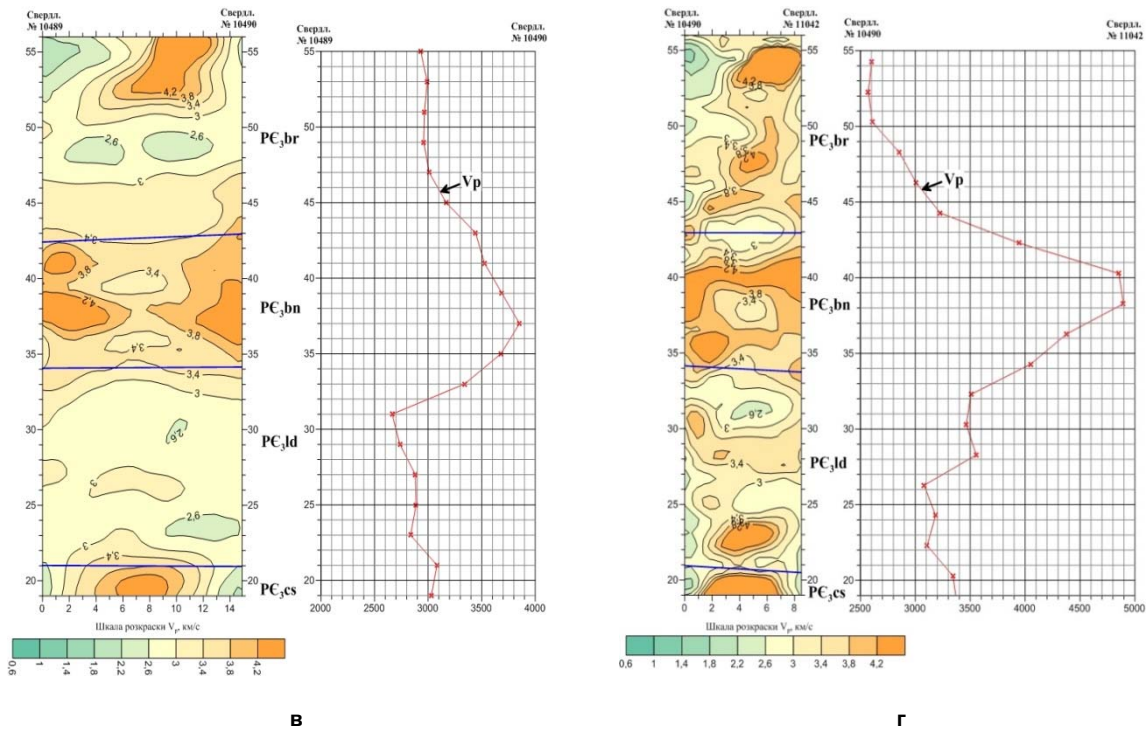


Рис. 5. Результати сейсмічної томографії та міжсвердловинного прозвучування:

а – свердловини 9955а–9960а; б – свердловини 9872–9871; в – свердловини 10489–10490; г – свердловини 10490–11042.

Умовні позначення: V_p – швидкість поздовжньої хвилі (на томографічному розрізі в км/с; на графіках у м/с);

N_1s_1 – нижньосарматські вапняки; N_1t – тортонські глини і піски; PC_3br – бронницькі аргіліти та алевроліти; PC_3bn – бернашовські пісковики; PC_3ld – лядівські аргіліти та алевроліти; PC_3cs – косоутські пісковики

На томограмах досить чітко виділяються високошвидкісні інтервали ($\bar{V}=3,37\text{--}3,57$ км/с), приурочені до пісковиків, та інтервали з пониженими значеннями швидкості ($\bar{V}=2,70\text{--}2,72$ км/с), що характерні для аргілітів та алевролітів.

Статистичні параметри V_p для виділених літотипів порід наведено в табл. 1 і будуть використані для порівняння та аналізу в наступних циклах моніторингу.

Таблиця 1. Статистичні параметри швидкостей поздовжніх хвиль в основних літотипах гірських порід (за даними сейсмічного прозвучування)

Індекс	Вік і тип гірських порід	І цикл		
		$\bar{V}^*$, км/с	σ^* , км/с	W^* , %
N_1s_1	Нижньосарматські вапняки. Зона II–III	1,80	0,41	23,0
N_1t	Тортонські глини та піски. Зона II–III	1,21	0,26	22,0
PC_3br	Бронницькі аргіліти та алевроліти. Зона II	2,70	0,24	8,8
PC_3bn	Бернашовські пісковики. Зона III	3,37	0,36	10,6
PC_3ld	Лядівські аргіліти та алевроліти. Зона III	2,72	0,22	8,3
PC_3cs	Косоутські пісковики. Зона III	3,57	0,61	17,2

*Умовні позначення: $\bar{V}$ – середнє значення швидкості розповсюдження поздовжніх хвиль з вибірки $\bar{V} = \sum V_i / N$; σ – середньоквадратична похибка (стандарт) $\sigma = \sqrt{\sum (V_i - \bar{V})^2 / (n - 1)}$; W – коефіцієнт варіації $W = \sigma / \bar{V} \times 100\%$.

У результаті досліджень першого циклу моніторингових спостережень отримано вихідні характеристики швидкості розповсюдження пружних хвиль у породах геологічного розрізу території досліджень. Одержано показники пружних властивостей для основних літологічних типів гірських порід:

- у нижньосарматських вапняках (N_1s_1) середня швидкість поздовжньої хвилі ($\bar{V}$) дорівнює 1,80 км/с;
- у тортонських глинах і пісках (N_1t) $\bar{V}=1,21$ км/с;
- у бронницьких аргілітах та алевролітах (PC_3br) $\bar{V}=2,70$ км/с;
- у бернашовських пісковиках (PC_3bn) $\bar{V}=3,37$ км/с;
- у лядівських аргілітах та алевролітах (PC_3ld) $\bar{V}=2,72$ км/с;
- у косоутських пісковиках (PC_3cs) $\bar{V}=3,57$ км/с.

Сейсмічне прозвучування надалі використовуватиметься як моніторингові спостереження для виявлення

можливих змін стану ґрунтів. Результати моніторингових спостережень дозволять, у випадку необхідності, своєчасно вжити відповідні заходи із забезпечення нормального режиму роботи об'єкта.

Список використаних джерел

- ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво у сейсмічних районах України. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – К.: ДП "Укрархмбудінформ", 2014. – 110 с.
- Державна геологічна карта України масштабу 1:200 000, аркуш М-35-XXXIV (Могилів-Подільський) (у межах України). Пояснювальна записка. – К.: Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, Державна геологічна служба. УкрДГРІ, 2007.
- Карус Е. В. Межскважинное прозвучивание / Е. В. Карус, О. Л. Кузнецов, И. С. Файзулин. – М.: Недра, 1986. – 149 с.
- Сбор информации об общей характеристике сейсмичности территории Украины с целью районирования на непригодные для размещения АЭС участки с неблагоприятными условиями, для использования при разработке кадастра площадей под строительство энергоблоков

новых атомных станций: отчет о НИР / Г. Ф. Нестеренко, О. Н. Сафронов, Е. П. Иванченко, Г. Н. Бушмакина. – К. : МНХЦ Геодинамических исследований НАН Украины, КИИЗИ "Энергопроект", 2009. – 54 с.

5. Сейсмическая томография; пер. с англ. / под ред. Г. Нолета. – М. : Мир, 1990. – 416 с.

6. Специализированная гидрогеологическая карта грунтовых вод Украинской ССР. Масштаб 1:500 000. – К., 1995.

7. Чугунников В. С. Управление безопасностью Днестровской ГАЭС путем проведения постоянного мониторинга / В. С. Чугунников // Гидроэнергетика України. – 2012. – № 1. – С. 31–38.

References

1. DBN B.1.1-12 2014. (2014). Budivnytstvo u seysmichnyh rayonah Ukrainy. Ministerstvo regionalnogo rozvytku, budivnytstva ta ytylovo-komunalnogo gospodarstva Ukrainy. Kyiv: DP "Ukrarhminbudinform, 110 p. [in Ukrainian].

2. Derjavna geologichna karta Ukrainy mashtabu 1:200 000, arkush M-35- XXIV (Mogylyv-Podilskiy) (v mejah Ukrainy). Poyasnuvalna zapiska.

(2007). Kyiv: Ministerstvo ohorony navkolyshnogo pryrodnoho seredovysha Ukrainy, Derjavna geologichna slujba. UkrDGRI. [in Ukrainian].

3. Karus, E. V., Kusnetsov, O. L., Fayzulin, I. S. (1986). Mejskvajinnoe prozvuchivanie. M. : Nedra, 149 p. [in Russian].

4. Nesterenko, G. F., Safronov, O. N., Ivanchenko, E. P., Bushmakina, G. N. (2009). Sbor informacii ob obshey harakteristike seismichnosti Ukrainy s celyu rayonirivania na neprigodnie dla razmeshenia AES uchastki s neblagopriyatnymi usloviami, dla ispolzovania pri razrobotke ploshadok pod stroitelstvo energoblokov novyh atomnyh stanciy: otchet NIR. Kyiv: MNIHC Geodinamicheskikh issledovaniy NAN Ukrainy, Kiizi "Energooproekt", 54 p. [in Russian].

5. Noleta, G. (Eds.). (1990). Seismicheskaya tomografiya. M. : Mir, 416 p. [in Russian].

6. Specializirovannaya gidrogeologicheskaya karta gruntovykh vod Ukrainy SSR. Mashtab 1:500 000. (1995). Kyiv. [in Russian].

7. Chugunnikov, V. S. (2012). Upravlenie bezopasnostyu Dnestrovskoy GAES putem provodenia postoyannogo monitoringa. Gidroenergetika Ukrainy, 1, 31–38. [in Russian].

Надійшла до редколегії 15.01.17

S. Deineko¹, PhD (Geol.), Head of Geophysics department

E-mail: sidei@ukr.net,

S. Vyzhva², Dr.Sci (Geol.), Prof.

E-mail: vsa@univ.kiev.ua,

G. Nesterenko¹, director

E-mail: atomEP@ukr.net,

A. Bernevek¹, Chief Specialist

E-mail: atomEP@ukr.net,

S. Ivaschenko¹, Chief Specialist

E-mail: mamont_88@ukr.net

¹GP Kilzi "Energooprojekt", 4 Peremogy Av., Kyiv, 01135, Ukraine

²Taras Shevchenko National University of Kyiv

Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

SEISMOACOUSTIC MONITORING OF THE STATE OF THE SOILS OF THE DNIESTRIAN SLOPE (IN THE ZONE OF ACCOMMODATION OF THE PRESSURE-STATIONARY UNIT)

The Dniester hydroelectric power station, like most HPPs, is built in complex structural-tectonic and engineering-geological conditions. The condition of structures located on a steep slope is affected by man-made (shaking of the territory when discharging water) and natural (large amount of precipitation contributes to the intensification of landslide processes) factors. To monitor the state of safety of the "soil-construction" system, seismoacoustic monitoring was started.

The article presents the results of seismoacoustic studies of stationary wells on the Dniester slope. Initial characteristics of the speed of propagation of elastic waves in rocks of the geological section of the study area were received. The results of the measurements of 2016 serve as basic ones, in order to compare with the results of measurements of the following years in order to identify possible changes in the state of soils, and, if necessary, to take the necessary measures to strengthen the slope.

Keywords: soil, hydraulic engineering structure, monitoring, seism acoustic research, cross-hole seismic testing, seismic tomography.

С. Дейнеко¹, канд. геол. наук

E-mail: sidei@ukr.net,

С. Выхва², д-р геол. наук, проф.

E-mail: vyzhva_s@ukr.net,

Г. Нестеренко¹, директор

E-mail: atomEP@ukr.net,

А. Берневек¹, глав. специалист

E-mail: atomEP@ukr.net,

С. Иващенко¹, глав. специалист

E-mail: mamont_88@ukr.net

¹Государственное предприятие "Киевский институт инженерных изысканий и исследований "Энергопроект", пр. Победы, 4, г. Киев, 01135, Украина

²Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВ ДНЕСТРОВСКОГО СКЛОНА (В ЗОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ НАПОРНО-СТАЦИОНАРНОГО УЗЛА)

Днестровская ГАЭС, как и большинство ГЭС, построена в сложных структурно-тектонических и инженерно-геологических условиях. На состояние сооружений, расположенных на крутом склоне, влияют техногенные (сотрясения территории при сбросе воды) и природные (большое количество осадков способствует интенсификации оползневых процессов) факторы. Для контроля за состоянием безопасности системы "грунт–сооружение" начат сейсмоакустический мониторинг.

Приведены результаты сейсмоакустических исследований, выполненных в сети стационарных скважин на Днестровском склоне. Получены исходные характеристики скорости распространения упругих волн в породах геологического разреза территории исследований. Результаты измерений 2016 года служат как базовые для сравнения с результатами измерений последующих лет с целью выявления возможных изменений в состоянии грунтов и, в случае необходимости, выполнения мероприятий для укрепления склона.

Ключевые слова: грунт, гидротехническое сооружение, мониторинг, сейсмоакустические исследования, межскважинное сейсмическое прозвучивание, сейсмическая томография.