

## ПРОВЕДЕННЯ СЕЙСМІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ НА ТИМЧАСОВО ОРГАНІЗОВАНИХ ПУНКТАХ У РАЙОНІ РОЗТАШУВАННЯ ЗАПОРІЗЬКОЇ АЕС

Показано актуальність проведення тимчасових інструментальних сейсмологічних спостережень в районі розташування Запорізької АЕС. Наведено терміни та етапи виконання спостережень, типи реєструючої апаратури – широкосмуговий сейсмометр GURALP CMG-40TD та акселерометри GURALP CMG-5TDE, топологію тимчасових пунктів сейсмічних спостережень та конструктивні особливості їх облаштування. Приведено основні результати обробки цифрових записів сейсмічних подій, складено каталоги основних типів подій – телесейсмічних, регіональних, вибухів. Проведено аналіз даних, накопичених за період спостережень, відзначено, що рівень техногенних шумів на тимчасових пунктах сейсмічних спостережень досить високий, що обмежує чутливість мережі.

**Ключові слова:** сейсмічний моніторинг, Запорізька АЕС, топологія мережі, тимчасовий пункт сейсмічних спостережень, акселерометр, сейсмометр, сейсмічна подія, цифровий запис.

### *Вступ*

Запорізька АЕС, в числі інших АЕС України, приступила до розробки і реалізації системи сейсмологічного моніторингу в районі станції на виконання «Плану заходів з оцінки сейсмічної небезпеки і перевірки сейсмостійкості діючих АЕС», прийнятого наприкінці 2009 р. у ДП НАЕК «Енергоатом». Значний об'єм робіт, передбачений згаданим Планом, виконували фахівці Інституту геофізики ім. С.І.Суботіна НАН України на основі господарських договорів з ВП «Запорізька АЕС» ДП НАЕК «Енергоатом» [Сапужак, 2011].

Протягом 2010-2013 р.р. було розроблено технічне завдання на проект мережі сейсмічних спостережень, проведено аналіз архівних і фондів матеріалів з сейсмічності, геологічної будови та геодинамічної активності району розташування ЗАЕС, рекогносцирувальні польові роботи для вибору місць можливого розміщення пунктів спостережень майбутньої сейсмологічної мережі та тестові вимірювання мікросейсмічних шумів і техногенних впливів у районі розташування станції, камеральна обробка та інтерпретація результатів спостережень і дослідження динамічних характеристик зареєстрованих природних і техногенних шумів. Аналогічні роботи проводилися попередньо для інших атомних електростанцій України [Вербицький та ін., 2009, 2012]. В результаті робіт запропоновано схему системи сейсмічного моніторингу, яка складається з 6 пунктів спостережень з використанням свердловинних сейсмометрів і пункту збору та обробки зареєстрованої інформації, їх топологію, специфікацію апаратури і кошторис орієнтовної вартості обладнання і програмних засобів.

Особливість ситуації на Запорізькій АЕС полягає в тому, що для району і майданчика енергокомплексу не проведений комплекс робіт, який передбачає програма дослідження геолого-тектонічних умов і сейсмічної небезпеки, як це зроблено на усіх інших АЕС України. Висновки робіт з дослідження геолого-тектонічних умов і сейсмічної небезпеки майданчика ЗАЕС повинні ґрун-

туватися, зокрема, і на результатах інструментальних сейсмічних спостережень за певний період часу, тому, одночасно з проектуванням стаціонарної системи сейсмічного моніторингу, Замовник ініціював також проведення тимчасових інструментальних сейсмологічних спостережень.

### *Організація спостережень*

Для виконання вказаного завдання в червні 2012 р. Інститутом геофізики ім.С.І.Суботіна НАН України та підприємством "Регіональний центр геофізичних досліджень" було укладено договір за темою "Сейсмічні спостереження на тимчасово організованих пунктах в районі розташування Запорізької АЕС" з Генпідрядником Замовника ТЗОВ "Фундаментстроймакс". Термін дії договору складає 1 рік, роботи передбачалося виконувати у два етапи.

Протягом першого етапу згідно календарного плану в одному з запропонованих Замовником місць, а саме у бомбосховищі на території профілакторію Запорізької АЕС, був організований тимчасовий пункт спостережень для ведення реєстрації сейсмічних подій сертифікованим сейсмометром GURALP CMG-40TD. Вибір місця для облаштування тимчасового пункту сейсмічних спостережень обумовлений заляганням корінних порід в даному місці на найменшій глибині в районі ЗАЕС (біля 8 м). Для проведення інструментальних спостережень в автономному режимі і накопичення сейсмічних даних був розроблений апаратно-програмний комплекс (АПК), обладнаний засобами зв'язку для управління і контролю функціонування.

Комісією за участю представників ЗАЕС, ТОВ «Фундаментстроймакс» та ІГФ НАН України 20.06.2012 р. був складений тристоронній Акт про початок проведення інструментальних спостережень відповідно до Програми сейсмічних і неотектонічних досліджень 75.200.11-01.03.00-ПМ.

Для покращення якості спостережень, в рамках 2-го етапу Договору, в районі розташування Запорізької АЕС було організовано три тим-

часових пункти спостережень для проведення реєстрації сейсмічних подій акселерометрами GURALP CMG-5TDE, наданими Замовником. Для встановлення приладів Замовником підготовлені і зацементовані у корінних породах забетоновані труби діаметром 168 мм. Довжина труб на різних пунктах спостережень залежить від глибини залягання корінних порід і становить 8, 15 і 35 м. На верхніх частинах труб забетоновані постаменти для встановлення акселерометрів. Над ними до поверхні встановлені два бетонних кільця з накриттям і металевим люком, усередині яких будуть проведені комунікації для живлення апаратури і передачі сейсмологічних даних.

Безперечно, таке облаштування постаментів для проведення реєстрації сейсмічних подій не є найкращим, однак жорсткий зв'язок з корінними породами обов'язково покращить чутливість акселерометрів, а спостереження не одним, а трьома приладами, при проведенні обробки отриманих записів, дозволить, при необхідності, уточнити епіцентри місцевих сейсмічних подій.

В кінці 2012 р. бетонні конструкції тимчасових пунктів спостережень були готові, і, згідно наших рекомендацій, на них були встановлені закуплені Замовником акселерометри CMG-5TDE. У січні 2013 почалася тестова реєстрація на двох пунктах тимчасових спостережень, а з лютого на Запорізькій АЕС вже почала функціонувати сейсмічна мережа з трьох тимчасових пунктів, оснащених акселерометрами GURALP CMG-5TDE і одного пункту, укомплектованого сейсмометром GURALP CMG-40TD, який знаходиться поблизу пункту спостережень №1 згідно з картою, представленою на рис. 1.



**Рис. 1.** Карта розташування пунктів спостереження акселерометрами GURALP CMG-5TDE

Місця розташування пунктів спостереження на карті позначено червоними точками, у дробовому числі біля них: чисельник – № пункту, знаменник – глибини залягання корінних порід в метрах.

Всі сейсмічні дані за період проведення спостережень з червня 2012 р. до травня 2013 були повністю оброблені та проаналізовані, особливо в околі часу, коли, за даними Світової

сейсмологічної мережі, відбувалися сильні сейсмічні події (телесеїсмічні сейсмічні події (епіцентральною відстань > 1000 км) з  $M > 6.6$  ( $K > 14$ ) і регіональні (зона Вранча, Чорне море, епіцентральною відстань 250-1000 км) з  $M > 4$  ( $K > 10$ )).

Проведення обробки отриманих записів показало невисоку якість результатів, обумовлене високим рівнем шумів. Такий результат можна було очікувати, оскільки тимчасові пункти сейсмічних спостережень №1 та у бомбосховищі, розташовані на території профілакторію з міркувань максимального наближення до корінних порід, виявилися під впливом шумів, викликаних водосховищем, пункт №2 – безпосередньо на території майданчика АЕС біля енергоблоків, №3 – біля автотраси на Енергодар з пожевленим рухом та АЗС.

Деякого поліпшення співвідношення «сигнал-перешкода» було досягнуто в результаті спеціальної обробки та фільтрації. За результатами тимчасових сейсмічних спостережень були складені каталоги зареєстрованих телесеїсмічних сейсмічних подій з  $M \geq 6.5$  (31 подія) і регіональних сейсмічних подій з  $M > 4$  (14 подій), з них 7 подій – глибокофокусні землетруси з зони Вранча. Крім того, протягом часу спостережень було зареєстровано також ряд вибухів з місцевих кар'єрів, зокрема вибухи у кар'єрі у районі м. Дніпрорудне (близько 30 км від ЗАЕС), які відбулися 2.02.2013 р. о 14 год. 47 хв.

Враховуючи викладене, для отримання якісних сейсмічних даних Замовнику необхідно інтенсифікувати введення в дію запроєктованої системи сейсмічного моніторингу.

### Висновки

1. Для проведення інструментальних спостережень в автономному режимі і накопичення сейсмічних даних було розроблено і відлагоджено АПК, обладнаний засобами зв'язку для управління і контролю функціонування.

2. Аналіз даних, накопичених за період спостережень, показав, що рівень техногенних шумів на пункті спостережень досить високий, а практичну користь можуть становити сейсмічні записи тих подій, рівень зареєстрованих коливань яких перевищує рівень шуму принаймні в 5 разів.

3. Проведення вибіркової обробки отриманих записів показало невисоку якість результатів, обумовлену високим рівнем шумів. Такий результат не був несподіваним, враховуючи, що сейсмометр встановлений на бетону підлогу бомбосховища, а не на постамент, обладнаний на корінних породах. Крім того, профілакторій розташований на березі Каховського водосховища, також дає суттєвий внесок у загальну шумову картину.

4. Облаштування в районі розташування Запорізької АЕС додатково трьох тимчасових

пунктів спостережень для проведення реєстрації сейсмічних подій акселерометрами GURALP CMG-5TDE, наданими Замовником, на жаль, також не забезпечили необхідної якості спостережень. Це може бути обумовлено як особливостями конструкції постаментів, на яких встановлені акселерометри, хоча вони і зацементовані в корінні породи, так і типом сейсмічних приладів.

5. В результаті тимчасових сейсмологічних спостережень був складений каталог сейсмічних подій з  $M \geq 6.5$  і зони Вранча  $M \geq 4.0$ .

6. В результаті високого рівня техногенних шумів в районі розміщення пункту тимчасових спостережень і на території, прилеглої до майданчика ЗАЕС, місцевих землетрусів з  $M \leq 4.0$  не було зареєстровано.

#### Література

Вербицкий С.Т., Кендзера А.В., Сафронов О.Н., Бушмакина Г.Н. Сейсмологический мониторинг района размещения Южно-Украинского энергокомплекса и предварительные результаты наблюдений // Материалы IX Між-

народної наукової конференції “Моніторинг геологічних процесів”, м.Київ, 14–17 жовтня 2009 р. – К., 2009. – С.44–46.

Вербицкий С.Т., Вербицкий Ю.Т., Пронишин Р.С., Сапужак І.Я. Разработка системы сейсмического мониторинга в районе розташування Хмельницької АЕС/ Збірник матеріалів XVII Міжнародного наук.-техн. симп. “Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS – технології”, 10-15 вересня 2012 р. м.Алушта (АР Крим). – Львів, СПОЛОМ, 2012. – С. 267-269.

Вербицкий С.Т., Вербицкий Ю.Т., Пронишин Р.С., Сапужак І.Я. Разработка системы сейсмического мониторинга в районе розташування Рівненської АЕС. Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць “Будівництво в сейсмічних районах України”, Вип.76. – Київ: ДП НДІБК, 2012. – С.715-720.

Сапужак І.Я. Організація сейсмічного моніторингу атомних електростанцій України // Геодинаміка, №2 (11) / 2011. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2011. – С.278-280.

### ПРОВЕДЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ВРЕМЕННО ОРГАНИЗОВАННЫХ ПУНКТАХ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЗАПОРОЖСКОЙ АЭС

Вербицкий С.Т., Вербицкий Ю.Т., Пронишин Р.С., Сапужак И.Я.

Показана актуальность проведения временных инструментальных сейсмологических наблюдений в районе расположения Запорожской АЭС. Приведены сроки и этапы выполнения наблюдений, типы регистрирующей аппаратуры – широкополосный сейсмометр GURALP CMG-40TD и акселерометры GURALP CMG-5TDE, топологию временных пунктов сейсмических наблюдений и конструктивные особенности их устройства. Приведены основные результаты обработки цифровых записей сейсмических событий, составлены каталоги основных типов событий (телесеизмических, региональных, взрывов). Проведен анализ данных, накопленных за период наблюдений, отмечено достаточно высокий уровень техногенных шумов на временных пунктах сейсмических наблюдений, что ограничивает чувствительность сети.

**Ключевые слова:** сейсмический мониторинг, Запорожская АЭС, топология сети, временный пункт сейсмических наблюдений, акселерометр, сейсмометр, сейсмическое событие, цифровая запись.

### SEISMIC OBSERVATIONS AT THE TEMPORARY STATIONS IN THE AREA AROUND THE ZAPORIZHZHYA NPP

S. Verbytskyi, Yu. Verbytskyi, R. Pronyshyn, I. Sapuzhak

Relevance of temporary instrumental seismological observations in the area of the Zaporizhzhya nuclear power plant is shown. Terms and stages of the observations, the types of recording equipment (broadband seismometer GURALP CMG-40TD and accelerometers GURALP CMG-5TDE) are described, as well as the topology and the aspects of constructive design of temporary observation points. Main results of processing of digital records of seismic events are presented; the catalogue of events of major classes (teleseismic, regional, blasts) is compiled. An analysis of data acquired during the period of observation is done. It is noted also that sensitivity of the network was limited by a high level of technogene noise at temporary observation points.

**Key words:** seismic monitoring, Zaporizhzhya nuclear power plant, topology of network, temporary point, seismic observations, accelerometer, seismometer, seismic event, digital recording.