УДК 550.34. + 551.24

Юрій АНДРУЩЕНКО[1a], Олександр ЛЯЩУК[1b]

[1] Головний центр спеціального контролю НЦУВКЗ ДКА України, вул. Космічна, 1, смт Городок, Радомишльський р-н, Житомирська обл., 12265, Україна, тел. +38(096)2152823, ел. пошта: andruschenko_yuriy@ukr.net; [1a] https://orcid.org/0000-0001-8993-0113; [1b] https://orcid.org/ 0000-0002-8690-1808

https://doi.org/10.23939/jgd2021.02.084

ЛОКАЛЬНІ СЕЙСМОЛОГІЧНІ МЕРЕЖІ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ УКРАЇНИ ЯК СКЛАДОВІ ЧАСТИНИ НАЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ СЕЙСМОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Мета роботи – визначення можливості використання локальних сейсмологічних мереж атомних електростанцій як елементів системи сейсмологічного моніторингу території України. Оцінювання місцевої сейсмічності та уточнення кількісних параметрів сейсмологічних впливів здійснено на основі матеріалів сейсмологічних спостережень. Оперативне опрацювання та аналіз сейсмічних сигналів, зареєстрованих на елементах локальних сейсмологічних мереж АЕС, здійснює Головний центр спеціального контролю Державного космічного агентства України (ГЦСК ДКА України). Задля виконання "Плану заходів з оцінки сейсмічної небезпеки і перевірки сейсмостійкості діючих АЕС" на АЕС України розгорнуто мережі сейсмологічного моніторингу. Сьогодні до ГЦСК в безперервному режимі надходять дані із локальних сейсмологічних мереж Рівненської, Хмельницької та Запорізької АЕС. Геофізичну інформацію, яка надходить з АЕС до ГЦСК, опрацьовує оперативна чергова зміна центру за допомогою технічних та програмних засобів ГЦСК та забезпечує отримання достовірних даних про параметри, зареєстровані станціями сейсмічних джерел, їх локалізацію та енергетичні характеристики. Загалом, у 2017–2021 рр. станції сейсмологічних мереж АЕС зареєстрували 36 локальних землетрусів на території України. Епіцентри переважної більшості з них розташовані в межах Івано-Франківської, Тернопільської та Львівської областей. Досвід проведення інструментальних спостережень на сейсмічних станціях АЕС свідчить про їх високу ефективність та можливість використання як повноцінних елементів системи сейсмологічного моніторингу території України. Вперше проаналізовано функціональні можливості систем сейсмічного моніторингу АЕС України. За результатами первинної обробки сейсмічних даних 2017–2021 рр. створено каталог сейсмічних подій, зареєстрованих сейсмічними станціями АЕС. Удосконалено систему інтерпретації отриманих результатів, що дало змогу однаково добре визначати локальні, регіональні та телесейсмічні події різної природи та енергетичного рівня. Практичне значення одержаних результатів полягає в їх безпосередній спрямованості на розв'язання певних практичних задач опрацювання та інтерпретації сейсмологічних даних. Використання сейсмічних станцій АЕС як елементів загальної системи сейсмологічного моніторингу України дасть змогу підвищити надійність виявлення та локалізації джерел та імовірність правильної ідентифікації природи сейсмічних явищ, що покращить оцінку активності тектонічних структур України.

Ключові слова: атомна електростанція; сейсмічна подія; сейсмологічний моніторинг; сейсмоприймач; мікросейсми; епіцентр.

Вступ

Ядерна енергетика була і залишається найважливішим елементом у забезпеченні надійного та безпечного постачання електроенергії в Україні, а її розвиток триває. Під час будівництва та експлуатації атомних електростанцій необхідно дотримуватись сучасних вимог до сейсмостійкого проєктування та застосування сучасних міжнародних підходів до оцінювання сейсмічної небезпеки енергоблоків [Рыжов та ін., 2012, 2013, 2017]. Згідно із вимогами до сейсмостійкого проєктування та оцінювання сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій (НП 306.2.208-2016), у районі розташування АЕС експлуатуюча організація створює спеціальну локальну мережу високочутливих станцій сейсмічного моніторингу, які постійно діють. Сейсмічність майданчика атомних станцій і параметри сейсмічних впливів визначають на основі сейсмологічних досліджень з урахуванням конкретних геодинамічних, сейсмотектонічних, сейсмологічних, ґрунтових і гідрологічних умов розміщення майданчика. До виконання зазначених досліджень експлуатуюча організація залучає спеціалізовані організації, які мають необхідний досвід та ресурси для виконання таких робіт, а також повноваження для затвердження їх результатів. У ході виконання "Плану заходів з оцінки сейсмічної небезпеки і перевірки сейсмостійкості діючих АЕС", затвердженого постановою Колегії Державного комітету ядерного регулювання України від 19.02.2009 р. № 7, на АЕС України розгорнуто мережі сейсмологічного моніторингу.

 © Ю. Андрущенко, О. Лящук

Ведення сейсмологічного моніторингу на постійних мережах сейсмічних станцій в районах АЕС для забезпечення сейсмологічної безпеки передбачає виконання таких завдань:

– спостереження за місцевою сейсмічністю в радіусі до 150 км, звертаючи особливу увагу на вивчення можливої місцевої сейсмічності в ближній зоні АЕС;

– спостереження за мікроземлетрусами і їх динамікою в просторі та у часі;

– реєстрація місцевих і сильних віддалених землетрусів;

– уточнення кількісних параметрів сейсмічних впливів під час проєктного землетрусу (ПЗ) і максимального разрахункового землетрусу (МРЗ) з місцевих сейсмоактивних зон і зони Вранча, на основі матеріалів сейсмологічних спостережень, здійснених безпосередньо на майданчиках АЕС, і даних про загасання сейсмічної енергії з відстанню за даними всіх пунктів системи;

– виконання функцій раннього оповіщення у разі виникнення сильного або катастрофічного землетрусу.

Мета

Мета роботи – визначити можливості використання локальних сейсмологічних мереж атомних електростанцій як елементів системи сейсмологічного моніторингу території України, проведення режимних сейсмологічних спостережень за локальними і регіональними сейсмічними подіями, удосконалення методики опрацювання одержаних записів, комплексна обробка зареєстрованих подій з метою виділення локальних землетрусів для оцінювання сучасної активності тектонічних структур України.

Для досягнення цієї мети поставлено такі завдання:

1. Забезпечити збирання даних сейсмологічних спостережень та сформувати на їх основі відповідні бази цифрових сейсмологічних даних.
2. Проаналізувати можливість використання локальних сейсмологічних мереж атомних електростанцій як елементів системи сейсмологічного моніторингу території України.
3. Використовуючи дані, отримані на сейсмічних станціях АЕС, дослідити прояви сучасної активності тектонічних структур України.

Методика

Оцінювання місцевої сейсмічності та уточнення кількісних параметрів сейсмологічних впливів виконують на основі матеріалів сейсмологічних спостережень. Виявлення та розпізнавання сейсмічних сигналів з використанням систем сейсмічного моніторингу АЕС, а також формування відповідних каталогів сейсмічних подій здійснюють фахівці Головного центру спеціального контролю Державного космічного агентства України (ГЦСК ДКА України). Відповідно до “Положення про національну систему сейсмічних спостережень та підвищення безпеки проживання населення у сейсмонебезпечних регіонах” (Постанова КМУ від 28 червня 1997 р. № 699) [Положення …, 1997], Державне космічне агентство України організовує і забезпечує безперервні режимні спостереження за геодинамічним та сейсмічним станом у районах розташування радіаційно небезпечних об’єктів з метою оцінювання реальної сейсмостійкості цих об’єктів та їх реакції на сейсмічні та інші геодинамічні впливи, створює банк даних про сейсмічні та інші геодинамічні впливи на радіаційно небезпечні об’єкти. Відповідно до Рішення НАЕК “Енергоатом” про затвердження постачальника № РШ-П 0.22.159-18, ГЦСК опрацьовує та аналізує записи локальних і регіональних сейсмічних подій, зареєстрованих сейсмологічними мережами, встановленими в районах розташування АЕС.

Під час опрацювання цифрових даних, що надходять до центру обробки ГЦСК із сейсмологічних мереж АЕС, прийнята ієрархічна багаторівнева побудова автоматизованих систем збирання, оброблення та накопичення даних, що істотно спрощує отримання кінцевого результату, оскільки повне опрацювання здійснюється в НЦД без залучення додаткових обчислювальних ресурсів. Геофізичну інформацію, яка надходить з АЕС до ГЦСК, опрацьовує оперативна чергова зміна центру за допомогою технічних та програмних засобів ГЦСК та забезпечує отримання достовірних даних про параметри зареєстрованих станціями сейсмічних джерел, їх локалізацію та енергетичні характеристики.

Сьогодні до ГЦСК у безперервному режимі надходять дані з локальних сейсмологічних мереж Рівненської, Хмельницької та Запорізької АЕС. Сейсмологічні мережі кожної з атомних станцій складаються із шести пунктів спостережень, розташованих у радіусі 25 км навколо технічних майданчиків АЕС. Пункти мереж сейсмічного моніторингу є базовими елементами мереж збирання інформації у складі систем сейсмічного моніторингу. Елементи систем сейсмічного моніторингу об’єднані єдиною телеметричною системою, що виконує функції як збирання інформації одночасно з усіх елементів групи, так і централізованого управління елементами з технічного майданчика. Головні функції пунктів – збирання інформації з сейсмометрів, накопичення і передавання цифрової сейсмічної інформації в центр оброблення даних у режимі реального часу.

Коливання ґрунту реєструються сейсмоприймачами виробництва компаній Güralp System Limited та Nanometrics, розташованими у спеціально обладнаних приладних свердловинах. Сигнали від свердловинних сейсмоприймачів CMG-40TB та CMG-SPB перетворюють в цифровий вигляд за допомогою аналого-цифрового перетворювача DM24. Дигітайзер Güralp DM24

реалізований у формі свердловинного зонда і може встановлюватися безпосередньо в свердловині разом з сейсмоприймачем. Така конструкційна особливість аналого-цифрового перетворювача зумовлює низку переваг порівняно із традиційним встановленням в оголовку свердловинної конструкції, а саме:

– цифрові сигнали не зазнають загасання, коли передаються від сейсмоприймача до поверхні;

– оцифрування даних у точці реєстрації дає змогу гарантувати надійну ідентифікацію природи зареєстрованого сейсмічного сигналу;

– дигітайзер DM24 також можна комбінувати із модулем аутентифікації у стовбурі свердловини.

Крім того, кожен елемент групи обладнаний приймачем супутникових навігаційних сигналів типу GPS Palisade для забезпечення часової та просторової прив'язки даних.

Сейсмоприймачі вміщують три датчики в герметичному корпусі, здатні вимірювати зміщення ґрунту в напрямках північ/південь, схід/захід та вертикальному напрямку одночасно.

Координати епіцентрів зареєстрованих сейсмічних подій визначають за допомогою мережевого оброблення, до якого залучають дані сейсмологічних мереж АЕС та станцій ГЦСК. Для гіпоцентрії застосовується програма LocSat [Bratt, & Bache, 1988], що входить до складу програмного комплексу Geotool [Coyne, et al., 2003]. Ця програма враховує не лише перші вступи поздовжніх хвиль, але й виділені вторинні фази (Sn, Lg, LR), беручи до уваги їхні модельні похибки (можливі статистичні відхилення). Це дає змогу отримувати стійкі рішення навіть за невеликої кількості станцій, що зареєстрували подію. Крім того, в цій програмі можна використовувати дані про азимути та повільності, розраховані для кожної з цих фаз, що особливо важливо у разі участі в локації даних сейсмічних груп.

Результати

Одна із основних складностей виявлення слабких сейсмічних сигналів пов'язана з тим, що воно здійснюється на фоні постійної дії різних за інтенсивністю та частотним складом мікросейсмічних коливань. Для підвищення ефективності виявлення сигналів розроблено численні нові засоби реєстрації та методи опрацювання цифрової сейсмічної інформації в режимі реального часу [Жигалин, Локшин, 1987; Антонова, Аптикаев, 2004]. З метою вивчення шумової ситуації в місцях розташування елементів локальних сейсмологічних мереж АЕС під час здійснення інструментальних спостережень постійно виконували аналіз завадової обстановки та впливу мікросейсм різних порядків на можливість виділення корисних сигналів на пунктах реєстрації. Зауважимо, що широкосмугові прилади, якими обладнані сейсмологічні мережі АЕС, реєструють одночасно мікросейсми різного типу [Gutenberg, 1958; Винник, 1968; Саваренский, 1955], тому на первинній сейсмограмі реєструються такі інтенсивні й різні за частотним складом шуми, що для виділення слабких сигналів доводиться виконувати смугову частотну фільтрацію. За записами, отриманими із використанням сейсмічних датчиків, встановлених у спостережних свердловинах та на денній поверхні, розраховано усереднені значення мікросейсмічного фону в пунктах реєстрації. Як приклад наведено результати розрахунків для станцій сейсмологічної мережі РАЕС (табл. 1).

Таблиця 1

Значення амплітуд мікросейсмів у пунктах реєстрації сейсмологічної мережі РАЕС

Пункт	Розташування пункту спостережень	Амплітуда сейсмічного фону, мкм
RNPP 1	с. Костюхнівка	0,004
RNPP 2	Промисловий майданчик РАЕС	0,424
RNPP 5	с. Старий Чорторийськ	0,005
RNPP 6	с. Полиці	0,004
RNPP 8	м. Вараш	0,004
RNPP 9	с. Сопачів	0,003

Як видно з табл. 1, амплітуди сейсмічного фону, розраховані за сейсмічними записами, отриманими в результаті інструментальних спостережень на денній поверхні (промисловий майданчик РАЕС), достатньо високі, що пов'язано із виходом на поверхню шару осадових порід і, як наслідок, високою інтенсивністю мікросейсмів другого порядку.

А встановлення сейсмічного датчика в приладній свердловині забезпечує зменшення рівня мікросейсмічного фону приблизно на один порядок. Яскравою ілюстрацією зазначеного ефекту є порівняння рівня мікросейсмічних шумів на пункті сейсмічних спостережень RNPP 9 (рис. 1) у свердловині на глибині 33 м у щільних породах і на поверхні на пункті сейсмічних спостережень RNPP 2 (рис. 2).

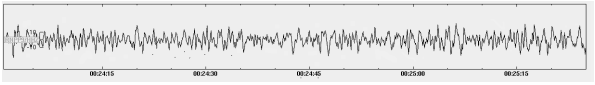


Рис. 1. Приклад запису мікросейсмічного фону, визначеного на пункті сейсмічних спостережень RNPP 9

Найоб'єктивнішою характеристикою мікросейсмічних шумів на тій чи іншій станції є спектр. Для отримання стійкої оцінки середнього спектра, що характеризує умови реєстрації сейсмічних

коливань, аналізу підлягає представницький інтервал запису. Цей інтервал повинен бути тим більшим, чим більший період досліджуваних мікросейсмів [Harjes, 1990, GSE/US/79, 1992]. У такий спосіб отримана об'єктивна характеристика спектральних властивостей шумів, що є доволі важливим показником ефективності станцій сейсмологічної мережі РАЕС щодо виявлення корисних сигналів.

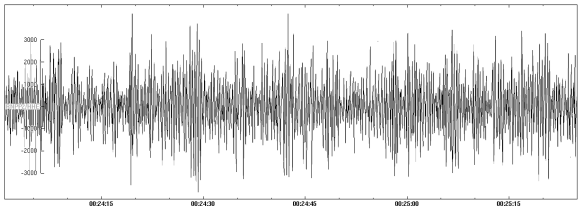


Рис. 2. Приклад запису мікросейсмічного фону, визначеного на пункті сейсмічних спостережень RNPP 2

На рис. 3 та рис. 4 наведено нормовані спектри шумів, отримані за записами широкосмугового сейсмометра CMG-SPB на пункті сейсмічних спостережень RNPP 9 у свердловині на глибині 33 м в щільних породах і на поверхні на пункті сейсмічних спостережень RNPP 2 у рихлих осадових породах. Добре видно, що, на відміну від поверхневих сейсмоприймачів, під час реєстрації у свердловині на частотах понад 1 Гц відбувається зниження щільності спектральної потужності шумів більше ніж на один порядок. Цей результат показує, що слабкі високочастотні сигнали можна виявити лише під час реєстрації в свердловинах.

Отже, можна констатувати низьку ефективність наземних геофізичних спостережень щодо реєстрації високочастотних сигналів від локальних сейсмічних подій порівняно зі спостереженнями у свердловинах. Це пов'язано з тим, що свердловинні спостереження менше залежать від впливу геофізичних шумів, пов'язаних із впливом земної поверхні, а саме: сейсмічних, акустичних, деформаційних, електричних, магнітних та гравітаційних, багато з яких чутливі до варіацій рівня ґрунтових вод та погодних умов. Вимірювання, здійснені в свердловинах, дають змогу виявляти тонкі варіації геофізичних полів, пов'язані як з локальними, так і з глобальними геодинамічними процесами.

Водночас сейсмологічні спостереження на денній поверхні необхідні для реєстрації "поверхневих" шумів, насамперед техногенних. Крім того, розділення сигналів від локальних та глобальних геодинамічних процесів потребує зіставлення даних, отриманих у свердловині та на поверхні, з результатами спостережень за природними та техногенними впливами на земну кору. Це дає змогу ідентифікувати впливи окремих факторів та здійснювати моніторинг стану земної кори, точніше оцінювати фоновий рівень поля мікросейсмів, кількісно оцінювати енергетичні параметри зареєстрованих сейсмічних подій.

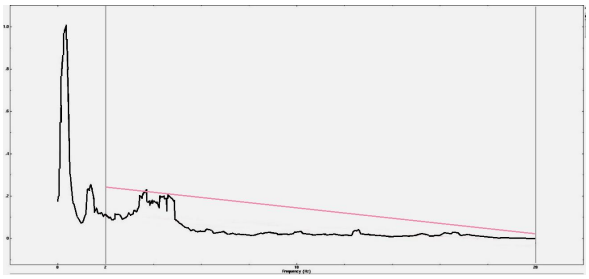


Рис. 3. Нормований спектр шуму, отриманий за записом широкосмугового сейсмометра CMG-SPB у свердловині на пункті сейсмічних спостережень RNPP 9

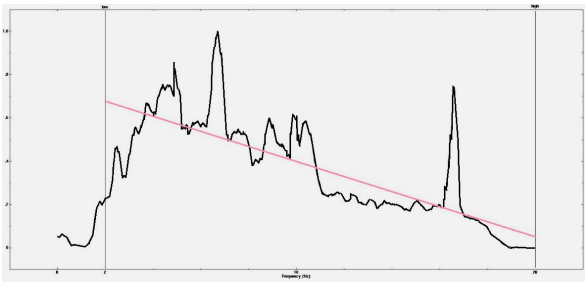


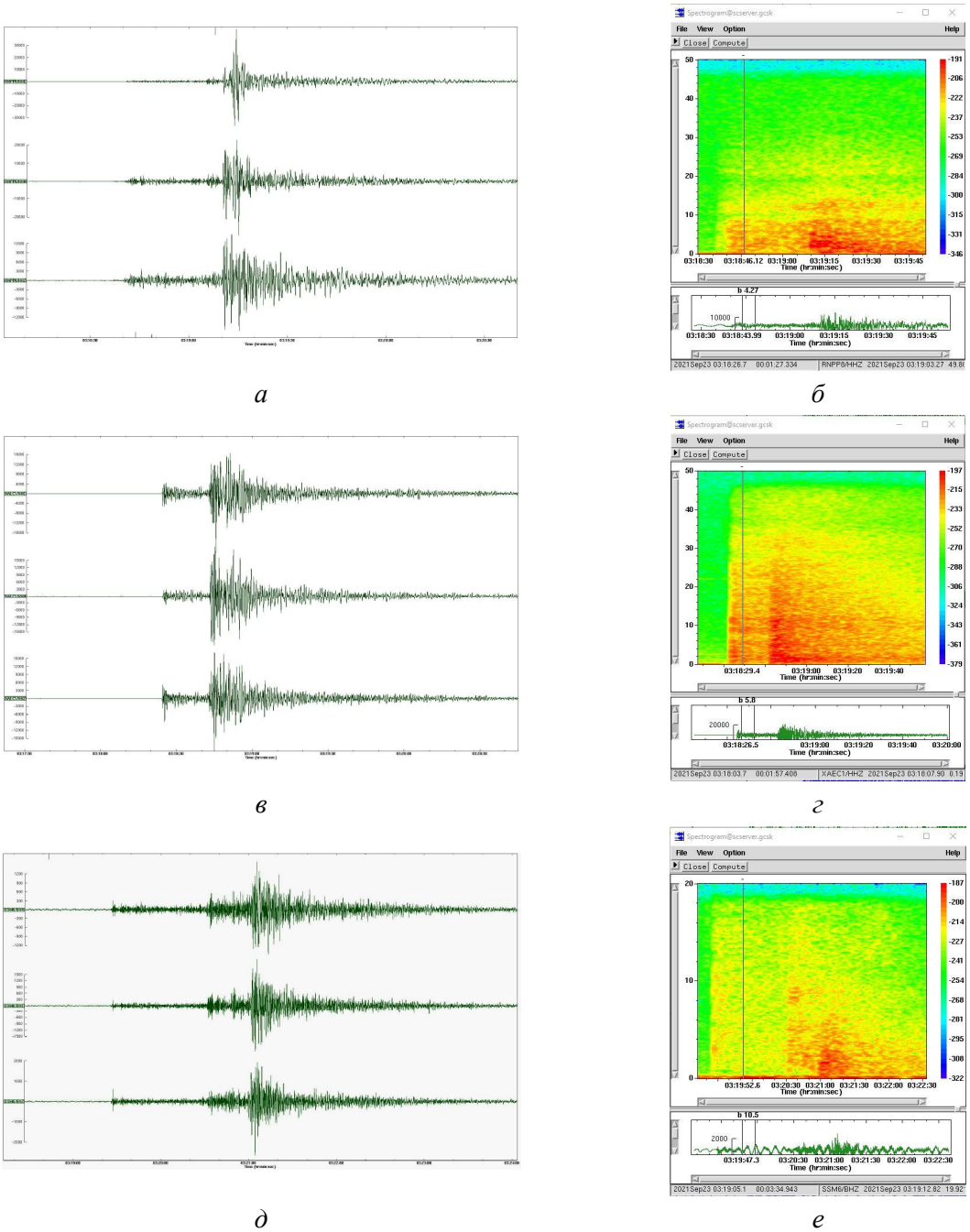
Рис. 4. Нормований спектр шуму, отриманий за записом широкосмугового сейсмометра CMG-SPB на поверхні на пункті сейсмічних спостережень RNPP 2

Загалом, у 2017–2021 рр. станції сейсмологічних мереж АЕС зареєстрували 36 локальних землетрусів на території України. Епіцентри переважної більшості з них були розташовані в межах Івано-Франківської, Тернопільської та Львівської областей. Значення магнітуд сейсмічних подій містилися в діапазоні від 1,9 до 4,3. Максимальні епіцентральні відстані, на яких сейсмологічні мережі АЕС реєструють локальні сейсмічні події, – близько 300 км [Andrushchenko, et al., 2020].

За час ведення інструментальних спостережень на сейсмічних станціях АЕС найпотужніший землетрус зареєстровано 23.09.2021 р. Сейсмічні записи та спектрограми події, отримані із використанням станцій сейсмологічної мережі АЕС, наведено на рис. 5. Вогнище землетрусу було розміщене на території Тернопільської області в районі м. Чортків, на глибині 6 км. Інтенсивність струшувань у районі епіцентра становила 5 балів за шкалою MSK-64. Найбільша кількість повідомлень про струси надійшла з м. Чортків та прилеглих сіл. Цей землетрус відчувався також у населених пунктах Кам'янець-Подільський та Дунаївці на відстанях від епіцентра 65–80 км.

Аналізуючи параметри цього землетрусу, можна також зробити висновки про те, що немає потреби змінювати вихідні дані для оцінювання сейсмостійкості майданчиків АЕС. Адже розра-

хункова інтенсивність струшувань у районах розташування Рівненської, Хмельницької та Запорізької АЕС становила відповідно 2,7, 2,5 та 0,9 бала за шкалою MSK-64. А вимоги до сейсмостійкого проєктування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій [Вимоги …, 2016] визначають, що для енергоблоків АЕС, незалежно від сейсмічності майданчика, пікове значення прискорення горизонтальної складової руху ґрунту під час землетрусу, що відповідає максимальному розрахунковому землетрусу, необхідно приймати не меншим за 0,1g, що відповідає інтенсивності сейсмічних коливань 7 балів. Зважаючи на це, сьогодні відсутня необхідність у змінах вихідних даних для оцінювання сейсмостійкості майданчиків АЕС.



а *б* *в* *г* *д* *е*

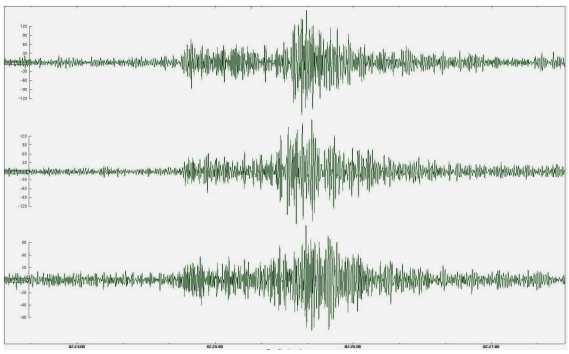
Рис. 5. Сейсмічні записи та спектрограми події 23.09.2021 р., отримані за допомогою станцій сейсмологічної мережі Рівненської АЕС (а, б), Хмельницької АЕС (в, г) та Запорізької АЕС (д, е)

Ще однією сейсмічною подією, що характеризує спроможності станцій сейсмологічної мережі АЕС, є землетрус, що відбувся 19.02.2021 р. Сейсмічні записи та спектрограми цієї події, отримані із використанням станцій сейсмологічної мережі АЕС, наведено на рис. 6. Джерело землетрусу містилося на території Донецької області, на глибині 12 км. Інтенсивність струшу-

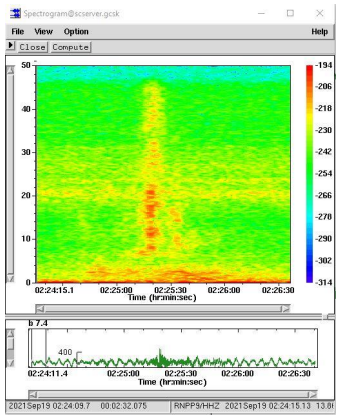
вань у районі епіцентра становила 1–2 бали за шкалою MSK-64. Незважаючи на невелику магнітуду (M = 3,3) та глибину гіпоцентра, землетрус впевнено зареєстрували усі станції сейсмологічної мережі АЕС.

Наукова новизна

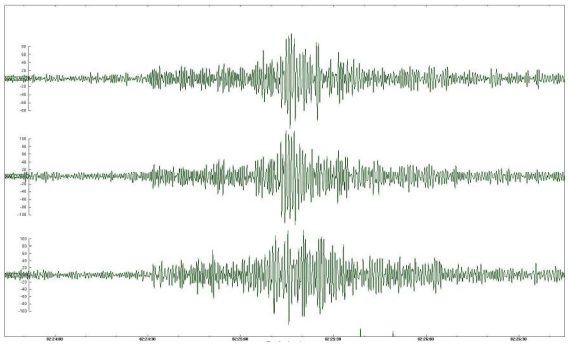
Вперше проаналізовано функціональні можливості систем сейсмічного моніторингу АЕС України. За результатами первинного опрацювання сейсмічних даних 2017–2021 рр. створено каталог сейсмічних подій, зареєстрованих сейсмічними станціями АЕС. Удосконалено систему інтерпретації отриманих результатів, що дало змогу однаково добре виявляти локальні, регіональні та телесейсмічні події різної природи та енергетичного рівня.



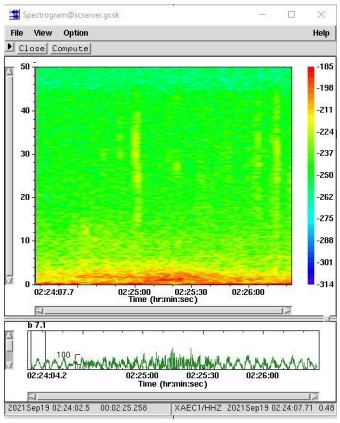
а



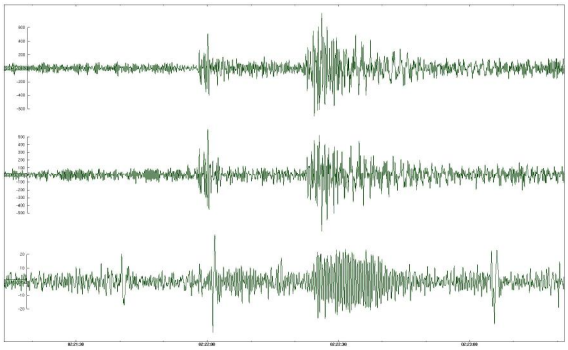
б



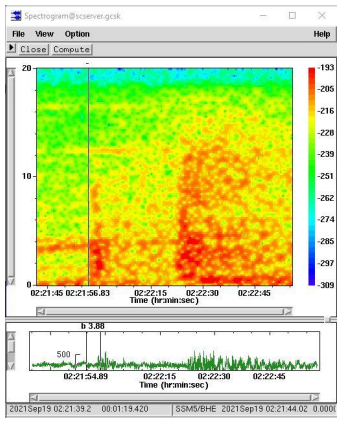
в



г



д



е

Рис. 6. Сейсмічні записи та спектрограми події 19.02.2021 р., отримані за допомогою станцій сейсмологічної мережі Рівненської АЕС (а, б), Хмельницької АЕС (в, г) та Запорізької АЕС (д, е)

Практична значущість

Практичне значення одержаних результатів полягає в їх безпосередній спрямованості на розв'язання низки практичних задач оброблення та інтерпретації сейсмологічних даних. Використання сейсмічних станцій АЕС як елементів загальної системи сейсмологічного моніторингу України дасть змогу поліпшити якість виявлення та локалізації джерел та імовірність правильної ідентифікації природи сейсмічних явищ, що, своєю чергою, уточнить оцінку активності тектонічних структур України.

Висновки

Виявлення та розпізнавання сейсмічних сигналів із використанням систем сейсмічного моніторингу АЕС, а також формування відповідних каталогів сейсмічних подій здійснювали фахівці Головного центру спеціального контролю ДКА України. Для опрацювання цифрових даних, що надходять до центру обробки ГЦСК із сейсмологічних мереж АЕС, прийнята ієрархічна багаторівнева побудова автоматизованих систем збирання, оброблення та накопичення даних, що значно спрощує отримання кінцевого результату, оскільки повне опрацювання здійснюється у НЦД без залучення додаткових обчислювальних ресурсів. Сейсмологічні мережі АЕС є одночасно і закінченими самодостатніми системами збирання і опрацювання даних, і можуть бути елементами системи Національного центру даних Національної системи сейсмічних спостережень України (НЦД НСССУ). Результати інструментальних спостережень на станціях сейсмологічної мережі АЕС засвідчують їх високу ефективність під час реєстрації сейсмічних подій різної природи та енергетичного рівня на території України. Сейсмічні станції АЕС впевнено реєструють локальні землетруси, епіцентри яких розміщені як на правобережній, так і на лівобережній частині території України. Отже, розглянуті сейсмічні станції не лише можуть використовуватись для уточнення кількісних параметрів сейсмологічних впливів на проммайданчиках атомних станцій, а й бути повноцінними складовими елементами системи сейсмологічного моніторингу території України.

Список літератури

Антонова Л. В., Аптикаев Ф. Ф. Уровень коротко-периодных микросейсм на территории России и сопредельных государств. *Исследования в области геофизики. Юбилейный сборник ОИФЗ РАН*. 2004. С. 43–53.

Вимоги до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій: НП 306.2.2082016. *Офіційний вісник України*. 2016. № 92, ст. 3013.

Винник Л. П. Структура микросейсм и некоторые вопросы методики группирования в сейсмологии. Москва: Наука. 1968. 104 с.

Жигалин А. Д., Локшин Г. П. Техногенное вибрационное воздействие на геологическую среду. *Инженерная технология*, 1987. № 3. С. 86–92.

Положення про національну систему сейсмічних спостережень для підвищення безпеки проживання населення у сейсмонебезпечних регіонах. *Офіційний вісник України*. 1997. № 28, ст. 68.

Рижов Д. І., Шугайло О-й. П., Шугайло О-р П., Буряк Р. Я., Хамровська Л. В., Крицька Н І. Огляд сучасних міжнародних підходів до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної небезпеки енергоблоків АЕС. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2012. № 4(56). С. 23–26.

Рыжов Д. И., Шугайло А-й П., Кендзера А. В., Инюшев В. В., Шугайло А-р П., Буряк Р. Я. Применение современных международных подходов к оценке сейсмической опасности площадок АЭС Украины. *Ядерна та радіаційна безпека,* 2013. Вип. 3(59). С. 16–20. (ISSN 2073-6237).

Рижов Д. І., Шугайло О-й. П., Шугайло О-р. П., Кендзера О. В., Мар'єнков М. Г., Шендерович В. Я., Буряк Р. Я. Про сучасні вимоги до сейсмостійкого проектування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій України. *Ядерна та радіаційна безпека,* 2017. 2(74). С. 9–13. ISSN 2073-6231. http://dspace.nbuv.gov.ua/hanudle/123456789/97255

Саваренский Е. Ф., Кирнос Д. П. Элементы сейсмологии и сейсмометри. Москва: ГИТЛ. 1955. 543 с.

Andrushchenko, Y. A., Osadchy, V. I., Liashchuk, A. I., & Kornienko, I. V. (2020). Instrumental observations at the Rivne NPP permanent seismic monitoring network. *Geofizicheskiy Zhurnal*, *42*(4), 133–141. https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i4.2020.210677

Bratt, S. R., & Bache, T. C. (1988). Locating events with a sparse network of regional arrays. *Bulletin of the Seismological Society of America*, *78*(2), 780–798. https://doi.org/10.1785/BSSA0780020780

Coyne, J., Clark, K., & Lloyd, S. (2003). IDC Documentations Geotool Software User Tutorial/J. *Coyne, K. Clark, S. Lloyd.–16 July*, *59*.

GSE/US/79. High-frequency noise characteristics of stations participating in the Group of scientific experts Second technical test April 22 – June 2, 1991 (Committee on Disarmament), 1992. 130 p.

Gutenberg, B. (1958). Microseisms. In *Advances in geophysics* (Vol. 5, pp. 53–92). Elsevier.

Harjes, H. P. (1990). Design and siting of a new regional array in Central Europe. *Bulletin of the Seismological Society of America*, *80*(6B), 1801–1817.

Yuriy ANDRUSHCHENKO[1a], Oleksandr LIASHCHUK[1b]

Main Center for Special Control NSMC SSA of Ukraine, Kosmichna Str., 1, Gorodok, Radomyshl district, Zhytomyr region, 12265, Ukraine, tel. +38 (096) 2152823, e-mail: andruschenko_yuriy@ukr.net; [1a] https://orcid.org/0000-0001-8993-0113; [1b] https://orcid.org/ 0000-0002-8690-1808

LOCAL SEISMOLOGICAL NETWORKS OF NUCLEAR POWER PLANTS OF UKRAINE AS COMPONENTS OF THE NATIONAL SEISMOLOGICAL MONITORING SYSTEM

The aim of the work is to determine the possibility of using local seismological networks of nuclear power plants as elements of the seismological monitoring system of the territory of Ukraine. Estimation of local seismicity and specification of quantitative parameters of seismological influences is carried out on the basis of materials of seismological observations. Operational processing and analysis of seismic signals registered on the elements of local seismological networks of NPPs is carried out by the Main Center for Special Control of the State Space Agency of Ukraine (MCSC SSA of Ukraine). In the process of implementation of the "Seismic Hazard Assessment and Seismic Resistance Action Plan" of existing NPPs, seismic monitoring networks were deployed at Ukrainian NPPs. To date, the MCSC receives data from the local seismological networks of Rivne, Khmelnytsky and Zaporizhzhya NPPs in a continuous mode. The processing of geophysical information coming from the NPP to the FSC is carried out by the operational next shift of the center with the help of FSC hardware and software and provides reliable data on the parameters of seismic sources registered by stations, their location and energy characteristics. In total, in the period from 2017 to 2021, 36 local earthquakes were registered by NPP seismic networks in Ukraine. The epicenters of the vast majority of them are located within the Ivano-Frankivsk, Ternopil and Lviv regions. The experience of conducting instrumental observations at NPP seismic stations testifies to their high efficiency and possibility of use as full-fledged elements of the seismological monitoring system of the territory of Ukraine. According to the results of primary processing of seismic data of 2017–2021, a catalog of seismic events registered by NPP seismic stations was created. The system of interpretation of the obtained results was improved, which allowed to determine equally well local, regional and teleseismic events of different nature and energy level. The practical significance of the obtained results lies in their direct focus on solving a number of practical problems of processing and interpretation of seismological data. The use of NPP seismic stations as elements of the general system of seismological monitoring of Ukraine will increase the reliability of detection and localization of sources and the probability of correct identification of the nature of seismic phenomena, which in turn will improve the assessment of tectonic structures in Ukraine.

Key words: nuclear power plant; seismic event; seismological monitoring; seismic receiver; microseismics; epicenter.

Надійшла 22.10.2021 р.