

Організація стаціонарного пункту сейсмологічних спостережень

О. З. Ганієв, Т. А. Амашукелі, Л. В. Фарфуляк, К. В. Петренко, 2021

Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, Київ, Україна
Надійшла 15 червня 2021 р.

Інститут геофізики НАН України організовує і здійснює безперервні регіональні та локальні сейсмічні спостереження на території України. У статті розглянуто універсальну сучасну модель процесу моніторингу сейсмічної активності, яку застосовують в більшості міжнародних сейсмологічних агентств (USGS, EMSC, NEIC), та яка описує типовий стаціонарний пункт сейсмологічних спостережень Національної сейсмологічної мережі Інституту геофізики НАН України. Сейсмологічна мережа спостережень — це комплекс систем, який складається зі стаціонарних сейсмологічних пунктів реєстрації сейсмічних хвиль, розподіленої системи передачі і збору сейсмологічної інформації, а також центру оперативного опрацювання даних, що надходять з пунктів реєстрації даних. Описано процес проведення режимних сейсмологічних спостережень за локальними і віддаленими сейсмічними подіями території України і суміжних регіонів. Наведено деякі важливі аспекти необхідності комплексної обробки зареєстрованих подій для виділення локальних землетрусів та оцінювання сучасної активності тектонічних структур на території України.

Сейсмологічна мережа Національного сейсмологічного центру Інституту геофізики НАН України представлена невеликою кількістю стаціонарних пунктів спостережень: «Kiev-IRIS», «MI02-Полтава», «MI03-Сквира», «MI04-Дніпро», «MI05-Степанівка», «ODS-Одеса», «MI07-Миколаїв», «MIU-Кривий Ріг», «MI06-Кременчук». Ця кількість сейсмологічних пунктів спостережень фактично не забезпечує даними сейсмологічних спостережень центральну, східну та південну частини території України і не дає змоги надійно визначати рівень і кількісні характеристики її сейсмічної небезпеки. Оптимальним для умов і фінансових реалій України при організації стаціонарного пункту сейсмічних спостережень запропоновано сейсмологічний реєстратор Guralp CMG-40T виробництва британської фірми GURALP SYSTEMS LIMITED, а також використання сейсмологічного пакета обробки SeisComP, що працює за протоколом SeedLink, який є основою системи збору даних через Інтернет. Цей програмний продукт є де-факто світовим стандартом у сфері обробки сейсмологічних даних.

Ключові слова: сейсмологічна станція, інформаційне забезпечення, землетрус, сейсмічний моніторинг, програмний комплекс Earthworm.

Вступ. Сейсмологічний моніторинг є невід'ємною частиною життєзабезпечення населених регіонів та систем забезпечення безпеки важливих потенційно небезпечних споруд (атомних електростанцій, гідроелектростанцій, шахт, мостів, трубопроводів та ін.). Моніторинг включає не тільки реєстрацію, а й подальшу оперативну обробку та інтерпретацію сейсмологіч-

них даних. Отримані в результаті обробки сейсмічних записів відомості про час виникнення землетрусів, розміщення їх вогнищ та енергію разом із даними щодо історичних землетрусів використовують для сейсмічного районування та оцінювання сейсмічного ризику території. Інша практична мета використання сейсмічного моніторингу — попередження про сей-

смічну небезпеку, яка виникає внаслідок тектонічної активності поблизу великих інженерно-технічних і екологічно небезпечних об'єктів. Результати сейсмічного моніторингу застосовують і для вивчення більш глобальних завдань сейсмології — внутрішньої будови Землі. Сейсмологічна мережа спостережень — це комплекс автоматизованих багатофункціональних систем. Він складається зі стаціонарних сейсмологічних пунктів реєстрації сейсмічних хвиль, розподіленої системи передачі і збору сейсмологічної інформації, центру оперативного опрацювання даних, які надходять із пунктів реєстрації даних.

Територія України вкрита мережею сейсмічних станцій, густина якої є відносно високою в західних областях України (Закарпаття і Передкарпаття), декілька сейсмічних станцій працюють на решті території: поблизу Києва (Kiev-IRIS [Михайлик и др., 2019] та МІ03-Сквира), в Одеській області (МІ05-Степанівка), в Одесі (ODS), в Миколаєві (МІ07-Миколаїв), у Полтаві (МІ02-Полтава), Кривому Розі (МІУ), Дніпрі (МІ04) та Кременчузі (МІ06). Територія України фактично не забезпечена даними сейсмологічних спостережень, що не дає змоги надійно визначати рівень і кількісні характеристики її сейсмічної небезпеки.

У статті описано комплекс систем для організації стаціонарного пункту сейсмологічних спостережень, який доцільно використовувати з метою подальшого розширення сейсмічної мережі спостережень України.

Мета — забезпечення функціонування мережі сейсмологічних станцій на території України; отримання матеріалів сейсмологічних спостережень, необхідних для вивчення сейсмічності, сейсмічної небезпеки та геодинаміки території України і суміжних регіонів. Зазначена інформація потрібна для прогнозування кількісних параметрів сейсмологічної небезпеки, запобігання надзвичайним ситуаціям сейсмологічного характеру, створення передумов для безпечного проживання населення та забезпечення сталого розвитку сейсмічних районів України.

Модель процесу моніторингу сейсмологічної активності. Універсальну модель процесу моніторингу сейсмічної активності застосовують у більшості сейсмологічних агентств United States Geological Survey (USGS); European-Mediterranean Seismological Center (EMSC); National Earthquake Information Center of U.S. (NEIC), а також для організації сейсмологічної мережі в Інституті геофізики НАН України. Структура сейсмічних мереж, як правило, має три рівні: телесеїсмічний, регіональний і локальний, залежно від площі контрольованої території та порогової магнітуди зареєстрованих землетрусів.

Телесеїсмічна мережа (наприклад, Incorporated Research Institutions for Seismology — IRIS) веде спостереження на всій земній кулі. Магнітудний рівень реєстрації — від 4,5 і вище. Станції обладнують надширококутовими сейсмометрами STS-1 (Streckeisen Seismic Instrumentation [Holcomb, Hutt, 1992]), що здатні реєструвати віддалені землетруси; смуга їх пропускної характеристики за частотою становить близько 0,003—20 Гц. Інструментальні дані зі станцій, а також оброблені дані у вигляді каталогу землетрусів та інтерактивної карти доступні на офіційному сайті IRIS¹.

Регіональні мережі в сейсмоактивних районах охоплюють території близько 1 млн км² і реєструють землетруси з $M \geq 3$. Смуга пропускання регіональних станцій становить 0,01—50 Гц. Кожна мережа включає опорну станцію, центр збору та обробки даних і низку регіональних станцій.

Локальні мережі охоплюють території близько 10 тис. км² і забезпечують реєстрацію сейсмічних подій з магнітудою 1,0—2,0 і більше. Вони призначені для вирішення конкретних наукових або прикладних завдань, у тому числі моніторингу сейсмічного режиму в епіцентральної зоні найсильніших землетрусів і техногенної сейсмічності в промислових районах, мі-

¹ Incorporated Research Institutions for Seismology (<https://www.iris.edu/hq/>; <http://ds.iris.edu/seismon/index.phtml>).

кросейсмораюнування територій та ін. Локальні сейсмічні мережі обладнані переважно високочутливою короткоперіодною апаратурою зі смугами пропускання від 1 Гц, що забезпечує впевнену реєстрацію слабких сейсмічних подій, в тому числі мікроземлетрусів. Інформація з локальних мереж може надходити в регіональні центри збору та обробки даних.

Універсальна функціональна модель моніторингу регіональної мережі, що доцільна для території України, включає виконання таких процесів (рис. 1):

1) безперервна реєстрація подій цифровими сейсмологічними станціями; записані послідовності часових даних зберігаються у спеціальному форматі (Seed, MiniSeed);

2) передавання цифрових записів до центру збору інформації; із сейсмічних станцій за спеціальними протоколами (Seedlink, NRTS, LISS) у безперервному режимі передаються зареєстровані дані;

3) попередня обробка сейсмічних записів; процес включає фільтрацію записів для виділення корисного сигналу від шуму і детектування сейсмічних хвиль — виділення і згрупування вступів сейсмічних хвиль;

4) обробка сейсмічної події — визначення основних параметрів землетрусу (час у вогнищі, географічні координати, магнітуда) за набором часів вступу сейсмічних хвиль і відповідних значень амплітуд;

5) додавання інформації про землетрус у базу даних.

Пункт сейсмологічних спостережень. Функціонально цей пункт призначений:

– для безперервного отримання інформації із сейсмічних приймачів;

– перетворення потоку інформації в дискретно-часові послідовності цифрових кодів;

– первинної обробки інформації в реальному масштабі часу;

– буферного нагромадження даних;

– передачі результатів первинної обробки інформації в регіональний центр.

Місце розташування пункту сейсмологічних спостережень в регіоні обумовлено загальною конфігурацією мережі, а також геодинамічними, геологічними й географічними особливостями місця розташування пункту, можливостями системи зв'язку, електрозабезпечення та охорони встановленої апаратури. Місце розташування пункту необхідно попередньо вивчити на предмет розробки плану встановлення обладнання. Розробляють схеми розташування датчиків, реєструвальної апаратури, блоків живлення силових і сигнальних кабелів. При цьому проводять підготовчі роботи з прокладання силових кабелів, ліній телекомунікацій та ін.

Сейсмологічний пункт реєстрації — це програмно-апаратний комплекс, до складу якого входять:

– сейсмоприймач, який механічні коливання ґрунту перетворює в електричні імпульси;

– цифровий автоматичний сейсмометр, де відбуваються аналого-цифрові перетворення, оперативна обробка, архівування інформації та нагромадження даних;

– система гарантованого електрожив-



Рис. 1. Блок-схема функціональної моделі процесу моніторингу за сейсмічними подіями.

Fig. 1. Block diagram of the functional model of the process of monitoring seismic events.

лення, де передбачено використання як змінної напруги 220 В, так і акумуляторних батарей через UPS;

- обладнання служби точного часу;
- засоби передачі інформації по каналах зв'язку в центр збору даних.

При виборі місця розташування пункту сейсмологічних спостережень проводять польові дослідження для визначення рівня природних шумів, а також уникнення зашумлених зон під час встановлення сейсмічного обладнання.

Апаратне оснащення пункту сейсмологічних спостережень. Динамічні та частотні характеристики сейсмічних коливань диктують вимоги до апаратного оснащення пункту сейсмологічних спостережень. Для збору та збереження інформації *частотний діапазон* має бути достатнім для реєстрації всього спектра сейсмічних сигналів; *динамічний діапазон* має забезпечувати роздільну здатність на рівні природного сейсмічного фону і одночасно реєстрацію самих сильних сейсмічних подій; запис має бути лінійним в усьому динамічному діапазоні. Разом з тим необхідно *забезпечити реєстрацію сейсмологічної інформації в цифровому вигляді та близьке до реального часу телеметричне її передавання в центри обробки; шуми апаратного обладнання мають бути максимально низькими.*

Механічні коливання ґрунту під час сейсмічних подій несуть з собою інформацію про характер і динаміку сейсмічних хвиль. Для перетворення механічних рухів ґрунту в електричні імпульси використовують датчики сейсмічної інформації електродинамічного типу. *Сейсмоприймачі для регіональної сейсмологічної мережі* мають бути високочутливими та забезпечувати реєстрацію сигналів у широкому частотному діапазоні — від 0,03 до 10 Гц. Динамічний діапазон амплітуд вхідних сигналів має бути не менш як 120 дБ.

При вводі в експлуатацію всі апаратні засоби піддають відповідному тестуванню. Сейсmodатчики калібрують шляхом визначення амплітудно-частотних характеристик [Kalinyuk et al., 2017].

Для організації стаціонарного пункту сейсмічних спостережень оптимальним для умов і фінансових реалій України пропонується сейсмологічний реєстратор Guralp CMG-40T виробництва британської фірми GURALP SYSTEMS LIMITED (<https://www.guralp.com/>). Сейсмічна станція Guralp CMG-40T — 30-секундний широко-смуговий трикомпонентний сейсмометр, технічні характеристики якого наведені на сайті виробника цього обладнання (рис. 2) (<http://www.guralp.net/products/40T/manual.html>).



Рис. 2. Guralp CMG-40T — широкосмуговий трикомпонентний сейсмометр, який використовують на пункті сейсмологічних спостережень.

Fig. 2. Guralp CMG-40T is a broadband three-component seismometer used at a seismological observation point.

Програмні засоби збору первинних матеріалів з пункту сейсмологічних спостережень. З пункту сейсмологічних спостережень записи в оперативному режимі передаються через засоби зв'язку. Існують розроблені програмні протоколи (AutoDRM, LISS, NRTS), за допомогою яких у режимі реального часу або близькому до реального часу (із затримкою до 10 хв) можна передавати цифрові сейсмічні записи.

Сейсмостанція за послідовним протоколом з'єднана з ліній-комп'ютером, який виконує низку завдань, пов'язаних з трансляцією сейсмічних даних. Програма *gcfserv* зчитує дані станції GuralpCMG-40T

і передає на модуль програмного комплексу Earthworm gcf2ew.

Програма *gcfserv* — модуль програмного пакета GCF для UNIX Instrumental Software Technologies, Inc. <https://www.isti.com>. Цей програмний тривалий час активно використовують з обладнанням Guralp. Пакет GCF для UNIX надає користувачеві повний розв'язок для збору даних з використанням модулів дигітайзера Guralp під операційною системою UNIX.

Використання системи *Earthworm* (<http://www.earthwormcentral.org/>) зумовлено необхідністю буферизації потоку даних сейсмостанції з метою збереження цих даних в разі аварійної відсутності каналу зв'язку з базою даних.

Earthworm — програмний комплекс з відкритим вихідним кодом, розроблений для забезпечення збору та обробки сейсмологічних даних. Понад 150 організацій зареєстрували установки Earthworm для збору своїх сейсмологічних даних. Система Earthworm — надійний програмний продукт, який працює та удосконалюється майже 30 років (розробка продукту розпочата у 1993 р.).

Написаний на мові програмування C++ Earthworm був розроблений у такий спосіб, що існує можливість запускати його на багатьох комп'ютерних платформах. Для комплексу Earthworm було написано багато програм-модулів, які забезпечують трансляцію і післяобробку сейсмологічних даних.

Система Earthworm спроектована як набір взаємодії між собою програмних модулів. Кожен модуль виконує свою функцію, наприклад, збір і збереження даних. Роботою кожного програмного модуля керує конфігураційний файл. Кожен програмний модуль використовує свій конфігураційний файл, в якому прописані правила роботи даного модуля в конкретних умовах з урахуванням відповідної апаратури і специфіки організації схеми функціонування.

У межах наведеного у статті стаціонарного пункту сейсмологічних спостережень використано такі модулі системи Earthworm:

startstop — запускає та зупиняє систему; читає свій файл конфігурації і запускає/зупиняє всі модулі Earthworm, які дозволені для роботи у цій конфігурації;

statmgr — виконує моніторинг стану вже запущених модулів системи;

diskmgr — програмний модуль, який контролює доступний дисковий простір на диску або розділі, з якого запущена ця система; якщо доступний дисковий простір буде менше ніж Min_kbytes, цей модуль відправить повідомлення про помилку до модуля statmgr;

gcf2ew — модуль подачі даних Guralp-Digitizer GCF DM для системи; передбачено три режими введення даних:

- послідовний порт Lantronix MSS100 на IP-сервер;
- пряме послідовне з'єднання з DM;
- мережеве підключення до модуля gcfserv;

wave_serverV — центральний модуль системи, підтримує дисковий кільцевий буфер для кожного каналу сейсмологічних даних.

У кільцеві буфери каналів даних збирається інформація за допомогою відповідних модулів і експортується іншими модулями, включеними в робочу конфігурацію системи Earthworm.

Зв'язок між системами Earthworm і SeisComP здійснюється за допомогою модулів ew2liss і/або ew2ringserver:

ew2liss — модуль системи Earthworm для обслуговування даних у форматі LISS (Live Internet Seismic Server: <http://earthquake.usgs.gov/monitoring/operations/>); LISS — це сервіс, який надає дані трасування у форматі miniSEED майже в реальному часі через Інтернет; модуль ew2liss перетворює вибрані з буферного кільця Earthworm дані у форматі miniSEED і передає дані клієнтам LISS мережею TCP/IP;

ew2ringserver — модуль бере дані з буферного кільця Earthworm і відправляє до програми ringserver <http://www.iris.edu/pub/programs/ringserver/>; усі дані упаковані у вигляді 512 байтових записів miniSEED, що дає змогу ringserver їх обслуговувати за протоколом SeedLink.

Модулі ew2liss і ew2ringserver готують дані у форматі miniSEED для програми ringserver.

Програмне забезпечення IRIS DMC ringserver безперервно сканує один або декілька каталогів на предмет mini-SEED даних, зчитує записи з цих файлів і вставляє їх у внутрішній кільцевий буфер даних. Кільцевий буфер працює за алгоритмом FIFO (first-in-first-out), новітні дані, вставлені у буфер, транслюються в першу чергу, чим забезпечується режим реального часу в разі незадовільної якості каналу зв'язку.

Дистанційні клієнти можуть отримати доступ до даних у буфері, використовуючи протокол SeedLink. Розмір буфера зафіксований і безпосередньо пов'язаний з тим, скільки старих даних доступно клієнтам. Модуль Ringserver підтримує кільцевий буфер з відстеженням стану в буфері даних, що дає змогу зупиняти і перезапускати сервер без втрати даних для клієнтів.

Протокол SeedLink є основою системи збору даних сейсмологічного пакета SeiscomP <https://geofon.gfz-potsdam.de/software/seiscomp>. Цей програмний продукт є де-факто світовим стандартом у сфері обробки сейсмологічних даних. Пакети SeedLink складаються з невеликого заголовка у форматі ASCII, за яким слідує 512-байтовий міні-запис SEED (тільки дані SEED). Пакети SeedLink у потоці даних взаємопов'язані, тому за протоколом SeedLink можна відновлювати з'єднання, усуваючи більшість прогалин у послідовності даних. Можливість відновлення потоків даних так само залежить від того, скільки даних за часом перебуває у буфері віддаленого SeedLink.

Протокол SeedLink допускає два різні режими передачі даних: одностанційний (Uni-Station) і багатостанційний. Режим Uni-Station працює шляхом передачі одного потоку даних (з однієї станції) через одне мережеве з'єднання. У такому режимі клієнт не повинен вказувати потік даних, оскільки це передбачено інтернет-адресою та портом. Багатостанційний режим працює шляхом передавання мультиплексованих потоків даних (від кількох станцій)

через одне мережеве з'єднання. Майже всі з'єднання узгоджуються як багатостанційні, навіть якщо запитується тільки одна станція; режим uni-station для більшості загальнодоступних серверів вважається застарілим. SeedLink спочатку створювали як транспортний рівень для пакета SeisComP, розробленого GEOFON.

З огляду на те, що linux-комп'ютер, отримавши IP-адреси, буде доступний з Інтернет-мережі, слід налаштувати операційну систему таким чином, щоб комп'ютер міг виконувати покладені на нього завдання, був доступний для контролю його стану і закритий від несанкціонованого доступу. Для цього потрібно максимально обмежити доступ до комп'ютера від імені користувача root, розглянути можливість роботи через sudo (substitute user anddo), обмежити підвищення прав користувача до рівня адміністратора, продумати список прав при роботі через sudo. З урахуванням віддаленості установки комп'ютера — це досить складне завдання, яке необхідно вирішити.

Безпечним є підключення до комп'ютера через ssh за паролю криптографічних ключів. У цьому випадку замість пароля використовують закритий ключ, який набагато стійкіший до підбору.

Використання модуля firewall для блокування небажаного вхідного трафіку на сервері — найважливіший інструмент підвищення рівня захищеності системи. Фільтрація трафіку запобігає вторгненню різних типів, особливо поза межами локальної мережі клієнта. Обов'язковий підхід при налаштуванні модуля firewall — дозволити тільки дійсно необхідний трафік і повністю заборонити решту. Цих кроків при налаштуванні будь-якого дистрибутива буде досить.

Енергозабезпечення сейсмологічного пункту реєстрації здійснюється з урахуванням негарантованого електропостачання, тому в системі використовується WatchDog-таймер, який у разі зникнення електроживлення пункту програмно встановлює затримки включення системи з урахуванням тимчасового гістерезису під-



Рис. 3. Типовий стаціонарний пункт сейсмологічних спостережень Національної сейсмологічної мережі Інституту геофізики НАН України у м. Миколаїв.

Fig. 3. Standard stationary point of seismological observations of the National Seismological Network of the Institute of Geophysics in Mykolayiv.

зарядки акумулятора [Ганієв та ін., 2011]. Вмикання напруги живлення лише від уже зарядженого акумулятора тим самим усуває можливі стрибки зовнішньої напруги. Автономна робота пункту реєстрації здійснюється через Інтернет-з'єднання, яке забезпечує GSM оператор, в даному випадку KyivStar, апаратно реалізованим USB модемом Huawei E3276. Останній працює в режимі Point-to-Point Protocol, тому для його роботи потрібен додатковий пакет програм (wvdial), який дає змогу linux-комп'ютеру зв'язуватися через rpp. При подальшій

обробці використовується пакет програми Seiscomp4, завдяки чому в реальному режимі часу можна відображати хвильові форми, проводити частотну та поляризаційну фільтрації, а також спектрально-часовий аналіз зареєстрованих сигналів. Рис. 3 ілюструє облаштування сейсмічної станції Миколаїв-МІ07.

Висновки. Густота розташування сейсмічних станцій є відносно високою у західних областях території України (Закарпаття і Передкарпаття) та поблизу Києва (станції Kiev-IRIS та МІ03-Сквира). Ще дві сейсмічні станції розташовані в Одеській області (МІ05-Степанівка, МІ07-Миколаїв) і по 1 сейсмічній станції — у Полтаві (МІ02-Полтава), Кривому Розі (МІ04), Дніпрі (МІ04) та Кременчузі (МІ06). Решта території фактично не забезпечена даними сейсмологічних спостережень, що не дає змоги надійно визначати рівень і кількісні характеристики її сейсмічної небезпеки. Подальший розвиток сейсмологічної мережі вкрай необхідний для забезпечення оптимального сейсмостійкого проектування й будівництва важливих і екологічно небезпечних об'єктів, житлових будинків та громадських споруд.

Наведений у статті комплекс для організації стаціонарного пункту сейсмологічних спостережень доцільно використовувати для подальшого розширення сейсмічної мережі спостережень на території України.

Список літератури

- Ганієв О. З., Петренко К. В., Шеремет Є. Є., Вакулович Д. В., Красний В. А. Організація сейсмологічного пункту спостережень на острові Зміїний. *Геофиз. журн.* 2011. Т. 33. № 2. С. 122—128. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v33i2.2011.117309>.
- Михайлик И. Ю., Ганиев А. З., Петренко К. В., Амашукели Т. А. Оборудование сейсмологической станции IRIS KIEV и программный интерфейс доступа к сейсмологическим данным. *Геофиз. журн.* 2019. Т. 41. № 6. С. 203—212. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i6.2019.190077>.
- Kalinyuk, I. V., Ganiev, A. Z., & Torbek, V. Y. (2017). Application of the Winston Automated System for Collecting, Storing, and Sharing Seismological Data. *Seismic Instruments*, 53(3), 192—202. <https://doi.org/10.3103/S0747923917030057>.
- Holcomb, G., & Hutt, R. (1992). *An Evaluation of Installation Methods For STS-1 Seismometers*. USGS, USA, Open File Report 92-302, Albuquerque, New Mexico.

Organization of the stationary seismological observations point

O. Z. Ganiev, T. A. Amashukeli, L. V. Farfuliak, K. V. Petrenko, 2021

S. I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy
of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The Institute of Geophysics of the NASU organizes and carries out continuous regional and local seismic observations on the territory of Ukraine. The article presents a universal modern model of seismic activity monitoring process, which is used in most international seismological agencies (USGS, EMSC, NEIC) and describes a typical stationary point of seismological observations of the National Seismological Network of the Institute of Geophysics of NAS of Ukraine. Seismological network of observations is a complex of systems consisting of stationary seismological points of registration of seismic waves, the distributed system of transfer and collecting of the seismological information, and also the center of operative processing of the data arriving from data registration points. The process of conducting regime seismological observations of local and remote seismic events on the territory of Ukraine and adjacent regions is described. Some important aspects of the need for comprehensive processing of registered events to identify local earthquakes and assess the current activity of tectonic structures in Ukraine are presented.

The seismological network of the National Seismological Center of the Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine is represented by a small number of stationary observation points: «Kiev-IRIS», «MI02-Poltava», «MI03-Skvyr», «MI04-Dnipro», «MI05-Stepanivka», «MI07-Mykolaiv», «ODS-Odesa», «MIU-Kryvyi Rih», and «MI06-Kremenchug». This number of seismological observation points does not actually provide seismic observation data to the central, eastern and southern parts of the territory of Ukraine and does not allow to reliably determine the level and quantitative characteristics of its seismic hazard. The seismic recorder Guralp CMG-40T manufactured by the British company GURALP SYSTEMS LIMITED is offered as optimal for the conditions and financial realities of Ukraine when organizing a stationary seismic observation point.

It is proposed to use the seismological processing package SeisComP, which works on the SeedLink protocol, which is the basis of the data collection system by the Internet. This software product is the de facto world standard in the field of seismological data processing.

Key words: seismological station, information support, earthquake, seismic monitoring, Earthworm software package.

References

- Ganiev, O. Z., Petrenko, K. V., Sheremet, E.E., Vakulovich, D. V., & Krasny, V.A. (2011). Organization of a seismological observation point on the Zmiyinyi Island. *Geofizicheskij Zhurnal*, 33(2), 122—128. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v33i2.2011.117309> (in Ukrainian).
- Mikhaylik, I. Y., Ganiev, A. Z., Petrenko, K. V., & Amashukeli, T. A. (2019). Equipment of seismic station IRIS KIEV and software interface for access to seismological data. *Geofizicheskij Zhurnal*, 41(6), 203—212. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i6.2019.190077> (in Russian).

Kalinyuk, I. V., Ganiev, A. Z., & Torbek, V. Y. (2017). Application of the Winston Automated System for Collecting, Storing, and Sharing Seismological Data. *Seismic Instruments*, 53(3), 192—202. <https://doi.org/10.3103/S0747923917030057>.

Holcomb, G., & Hutt, R. (1992). *An Evaluation of Installation Methods For STS-1 Seismometers*. USGS, USA, Open File Report 92-302, Albuquerque, New Mexico.

Организация стационарного пункта сейсмологических наблюдений

А. С. Ганиев, Т. А. Амашукели, Л. В. Фарфуляк, К. В. Петренко, 2021

Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, Киев, Украина

Институт геофизики НАН Украины организует и осуществляет непрерывные региональные и локальные сейсмические наблюдения на территории Украины. В статье представлена универсальная современная модель процесса мониторинга сейсмической активности, которая применяется в большинстве международных сейсмологических агентств (USGS, EMSC, NEIC), и описывает типичный стационарный пункт сейсмологических наблюдений Национальной сейсмологической сети Института геофизики НАН Украины. Сейсмологическая сеть наблюдений — это комплекс систем, который состоит из стационарных сейсмологических пунктов регистрации сейсмических волн, распределенной системы передачи и сбора сейсмологической информации, а также центра оперативной обработки данных, поступающих из пунктов регистрации данных. Описан процесс проведения режимных сейсмологических наблюдений за локальными и удаленными сейсмическими событиями территории Украины и сопредельных регионов. Приведены некоторые важные аспекты необходимости комплексной обработки зарегистрированных событий для выделения локальных землетрясений и оценки современной активности тектонических структур на территории Украины.

Сейсмологическая сеть Национального сейсмологического центра Института геофизики НАН Украины представлена небольшим количеством стационарных пунктов наблюдений: «Kiev-IRIS», «MI02-Полтава», «MI03-Сквира», «MI04-Днепр», «MI05-Степановка», «ODS-Одесса», «MI07-Николаев», «MIU-Кривой Рог», «MI06-Кременчуг». Такое количество сейсмологических пунктов наблюдений фактически не обеспечивает данными сейсмологических наблюдений центральную, восточную и южную части территории Украины и не позволяет надежно определять уровень и количественные характеристики ее сейсмической опасности. Оптимальным для условий и финансовых реалий Украины при организации стационарного пункта сейсмических наблюдений предлагаются сейсмологический регистратор Guralp CMG-40T производства британской фирмы GURALP SYSTEMS LIMITED, а также использование сейсмологического пакета обработки SeisComP, работающего по протоколу SeedLink как основа системы сбора данных через Интернет. Этот программный продукт является де-факто мировым стандартом в сфере обработки сейсмологических данных.

Ключевые слова: сейсмологическая станция, информационное обеспечение, землетрясение, сейсмический мониторинг, программный комплекс Earthworm.