

⁴Ю.Морозов, ¹Р. Назаревич, ²А. Назаревич, ³Є.Струк, ⁴В. Мархивка
¹Фірма “SoftServe”,

²Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
 Національний університет “Львівська політехніка”,
³кафедра автоматизованих систем управління,
⁴кафедра електронних обчислювальних машин

ІНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ ГЕОФІЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ

© Морозов Ю., Назаревич Р., Назаревич А., Струк Є., Мархивка В., 2014

Представлено прототип розробленого Інтернет-порталу геофізичного моніторингу як підсистеми програмного комплексу збирання та обробки даних геодинамічного моніторингу. Прототип реалізовано на основі системи керування базами даних *MySQL*, який може розміщуватися як на власному сервері організації-замовника розробки, так і на публічних інтернет-серверах. Описано взаємодію бази даних та клієнтських модулів у рамках даного програмного комплексу.

Ключові слова: геодинамічний моніторинг, система збирання даних, база даних, обробка даних.

The prototype of developed geophysical Internet portal as subsystem of software of geodynamic monitoring data acquisition and processing is presented. The prototype is based on database management system *MySQL* and it can be placed both on their own servers of an awarding authority and on public Internet servers. Interaction of database and client modules within the bounds of this software is described.

Key words: geodynamic monitoring, data acquisition system, database, data processing.

Вступ

Сучасний моніторинг природних та техногенних геодинамічних процесів є дуже актуальною проблемою людства. Достатньо згадати катастрофічні наслідки кількох останніх найсильніших світових землетрусів – Суматранських (2004–2005 рр.), Китайського (2008 р.), Гаїтянського та Чілійського (2010 р.), Японського (2011 р.). Зараз такий моніторинг неможливо уявити без використання комп’ютерних та інтернет-технологій. Вони використовуються в інтелектуальних геофізичних вимірювальних системах, в локальних системах збирання і передавання даних, у регіональних та світових центрах збирання та обробки моніторингової інформації [1–5].

Показано особливості застосування комп’ютерних та інтернет-технологій у створенні інтернет-порталу опрацювання даних геофізичного моніторингу.

Вихідні дані

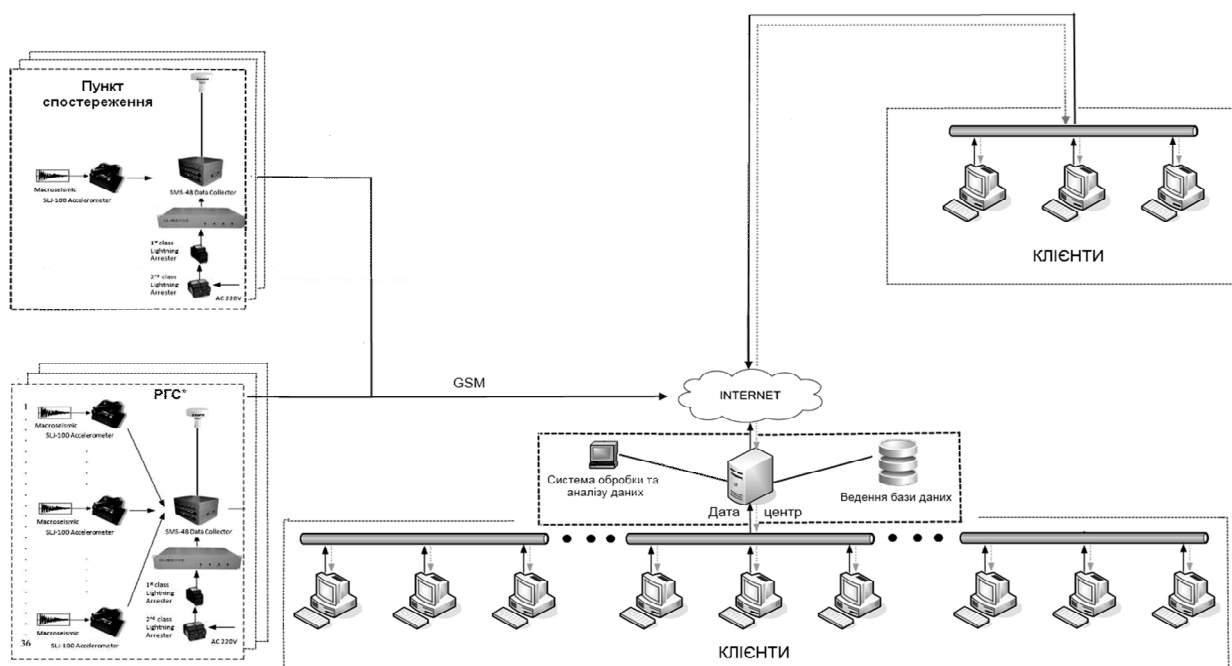
Сейсмопрогностичні дослідження у світі ведуться вже понад 50 років [6, 7]. Співробітники Карпатського відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України вже понад 30 років здійснюють моніторингові сейсмопрогностичні геофізичні дослідження у Закарпатті [8–18]. Ці дослідження проводять з використанням різних геофізичних методів на мережі режимних геофізичних станцій (РГС) та пунктів спостережень. Сьогодні на РГС та пунктах спостережень працює цифрова геофізична апаратура. Дані реєструються на місці та періодично доставляються у Львів для обробки й аналізу.

У зв'язку з розширенням в останній час доступності мережі Інтернет постало завдання використати її для оперативного передавання даних з пунктів спостережень у створюваний регіональний геофізичний інформаційний центр. При цьому доцільно комплексно розв'язати задачі передавання даних з пунктів спостережень, їх архівування в базу даних, обробки та аналізу. Саме таке завдання поставлено при створенні інтернет-порталу опрацювання даних геофізичного моніторингу.

Загальна структура та алгоритм роботи інтернет-порталу

Загальна структурна схема інтернет-порталу опрацювання геофізичних даних (рис. 1) містить мережу РГС (які самі є локальними системами збирання та обробки даних) і пунктів геофізичних спостережень, пов'язаних з регіональним геоінформаційним центром (дата-центром) через мережу Інтернет. У дата-центрі розміщено сервер, базу даних, модуль адміністратора і локальну мережу користувачів (клієнтів). Передбачено також віддалений клієнтський доступ до сервера і бази даних через Інтернет.

Для створення програмного забезпечення інтернет-порталу опрацювання даних геодинамічного моніторингу використано мову програмування Java. Програмно інтернет-портал створено у вигляді інтерактивної веб-сторінки, яка може розміщуватися як на власному сервері організації-замовника розробки (Карпатського відділення інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України (як на рис. 1)), так і на публічних інтернет-серверах. Функціонально програмний комплекс складається з таких модулів: прийому геофізичної інформації; зв'язку з базою даних; клієнтських модулів; модуля адміністратора системи.



*РГС – режимна геофізична станція

Рис. 1. Структурна схема інтернет-порталу опрацювання геофізичних даних

Модуль прийому реалізує отримання геофізичної інформації інтернет-каналами з пунктів спостережень. Модуль зв'язку з базою даних забезпечує ведення бази геофізичних даних з прив'язкою до часу, пункту спостережень і геофізичного методу (геофізичної апаратної системи – джерела даних). Клієнтський модуль забезпечує пошук та перегляд накопичених даних у графічному вигляді та завантаження їх на комп'ютер користувача (диференційовано залежно від рівня доступу для конкретного користувача). Модуль адміністратора системи забезпечує адміністрування та доступ до режимів модифікації програмного забезпечення.

Аналіз інформаційних потоків та вимог до порталу

Завданням програмного забезпечення інтернет-порталу опрацювання геофізичних даних на стадії створення прототипу є введення даних з вхідного буфера (куди вони записуються модулем прийому даних) в базу даних і видача їх за запитом клієнтів (з врахуванням їхнього рівня доступу) для візуального перегляду, корегування та обробки. Для прикладу на рис. 2 наведено формат вхідного файлу з геотермічними даними.

№	Дата	Температура
1	2011.02.23	0000
2	00:00:00	50028257
3	00:00:10	50028328
4	00:00:20	50028385
5	00:00:30	50028435
6	00:00:40	50028485
7	00:00:50	50028536
8	00:01:00	50028581
9	00:01:10	50028625

Рис. 2. Формат файлу з вхідними геотермічними даними

Завдання створення і ведення бази даних геофізичного моніторингу (показане тут на прикладі геотермічних даних) є одним з ключових при розробці системи. На основі структури бази даних надалі будується клієнтська та серверна частини інтернет-порталу.

База даних повинна забезпечувати зберігання даних з прив'язкою до:

- пункту спостережень;
- типу апаратури;
- номера каналу;
- часу і дати.

У випадку найбільшого потоку інформації (за винятком сейсмічних каналів і спеціальних режимів для геоакустичної, інфразвукової, нахиломірної та деякої іншої апаратури), коли дані з геофізичної апаратури надходять щосекунди, маємо такі обсяги даних (враховуючи, що на 1 відлік передбачено 10 знаків (5 байтів)):

Об'єми геофізичних даних за різних частот вимірювань

Частота вимірювань	1 секунда		10 секунд		1 хвилина	
	Обсяг даних		Обсяг даних		Обсяг даних	
Часовий інтервал	значень	байтів	значень	байтів	значень	байтів
година	3600	18000	360	1800	60	300
доба	86400	432000	8640	43200	1440	7200
місяць	2592000	12,1 млн.	259200	1,21 млн.	43200	216000
рік	31 млн	155 млн.	3,1 млн	15,5 млн.	518400	2,59 млн.

Як систему керування базами даних передбачено використати відомий програмний продукт *MySQL*. Оскільки у вибраній базі даних максимальна кількість рядків однієї інформаційної таблиці становить 50 мільйонів, то при максимальному потоці даних (див. таблицю) отримані результати доцільно об'єднувати у річні таблиці. Для оптимізації подальшої роботи з даними передбачено можливість помісячного партиціювання таблиць.

Зважаючи на максимальний можливий обсяг даних, які можна зберігати в базі даних, а для *MySQL 3.23+* це становить 8 мільйонів терабайт (2^{63}), зрозуміло, що цього з запасом достатньо для зберігання даних.

Для геотермічних даних, на прикладі опрацювання яких ми реалізуємо інтернет-портал, інтервал вимірювання становить 10 секунд а максимальний річний обсяг даних – 3,1 млн. значень.

Передбачено зберігання даних у 2-х форматах – прямому (10 знаків) і з плаваючою комою (6 знаків – мантиса, 4 знаки – порядок).

Також база даних повинна підтримувати стандарт SQL запитів 2003 року для того, щоб можна було здійснювати вибірку даних за необхідними параметрами.

Шляхи оптимізації структури бази даних та форматів подання даних у ній на цьому етапі не розглядаються – ці питання стануть розроблятися надалі, враховуючи реальні характеристики даних з наявної на пунктах спостережень різної геофізичної апаратури.

Вимоги до апаратного та системного програмного забезпечення

Вимоги до апаратного та програмного забезпечення, на якому повинен розміщуватись інтернет-портал, не жорсткі, оскільки вибране програмне забезпечення портоване на велику кількість платформ (AIX, BSDi, FreeBSD, HP-UX, Linux, Mac OS X, NetBSD, OpenBSD, OS/2 Warp, SGI IRIX, Solaris, SunOS, SCO OpenServer, SCO UnixWare, Tru64, Windows 95, Windows 98, Windows NT, Windows 2000, Windows XP, Windows Server 2003, WinCE, Windows Vista і Windows 7).

Мінімальні вимоги до апаратної частини сервера інтернет-порталу такі:

- Процесор: Pentium 3 і вище;
- Оперативна пам'ять: 512 Мбайт і більше;
- Об'єм вінчестера: 80 Гбайт і більше;
- Периферія: LAN 10 Мбіт, CD/DVD-ROM

Для самої бази даних доцільно використати ще 2 накопичувачі, об'єднані в масив типу RAID 1, що забезпечить автоматичне дублювання даних, а отже, і підвищену надійність їх зберігання. Один з цих накопичувачів може бути також віддаленим мережним сховищем інформації. Об'єм цих накопичувачів доцільно визначити з розрахунку накопичення геофізичних даних за період не менше 10 років і з врахуванням планів розвитку моніторингової мережі – збільшення кількості пунктів спостережень і комплексу апаратури на цих пунктах.

Проектування інтернет-порталу

На основі наведених вище результатів аналізу було розроблено загальну схему роботи та взаємодії клієнтського та серверного модулів (рис. 3).

Засоби програмування

Як уже зазначалося вище, програмно систему створено у вигляді інтерактивної веб-сторінки, і для цього використано мову програмування Java. Її вибрано тому, що вона надає необхідної функціональності, а саме:

- Ця мова є об'єктно-орієнтованою, якою зручно писати великі та складні проекти.

• Java є платформонезалежною, це дає змогу розгорнути розроблений інтернет-портал на будь-якому апаратно-програмному комплексі, для якого є віртуальна машина Java (а вона зараз існує практично для усіх платформ).

Для мови Java існує велика кількість безкоштовних бібліотек, а також програмного забезпечення з відкритим кодом.

Віртуальна машина Java вміє автоматично керувати пам'яттю – це один з аспектів, який полегшує написання програм. Для розроблення програмного продукту використано такі технології:

Java EE (Enterprise Edition) – набір специфікацій і відповідної документації для мови Java, який описує архітектуру серверної платформи для задач середніх і великих проектів;

JSP (Java server page) – технологія, що дає змогу веб-розробникам динамічно генерувати HTML, XML та інші веб-сторінки;

Java Servlet – стандартизований набір функцій для створення динамічного контенту для веб-сервера, використовуючи платформу Java.

Розробляли програмний продукт, використовуючи таких середовища:

NetBeans 7.0 – середовище розроблення мовою Java (перевагами цього середовища є наявність великої кількості інструментів та функцій у стандартному варіанті установки, це дозволяє не встановлювати додаткові плагіни для роботи, також перевагою є наявність встановлюваного із середовищем веб-сервера сервлетів *GlassFish 3.0*).

Eclipse 3.6 середовище розробки мовою Java (перевагами цього середовища є велика гнучкість при налаштуванні, велика кількість додатків та плагінів, які надають необмежений простір для розширення функцій середовища). Також перевагою є переносимість середовища, його не потрібно встановлювати, достатньо раз розпакувати, налаштувати і встановити потрібні плагіни, і надалі він працюватиме на будь-якій системі даного типу.

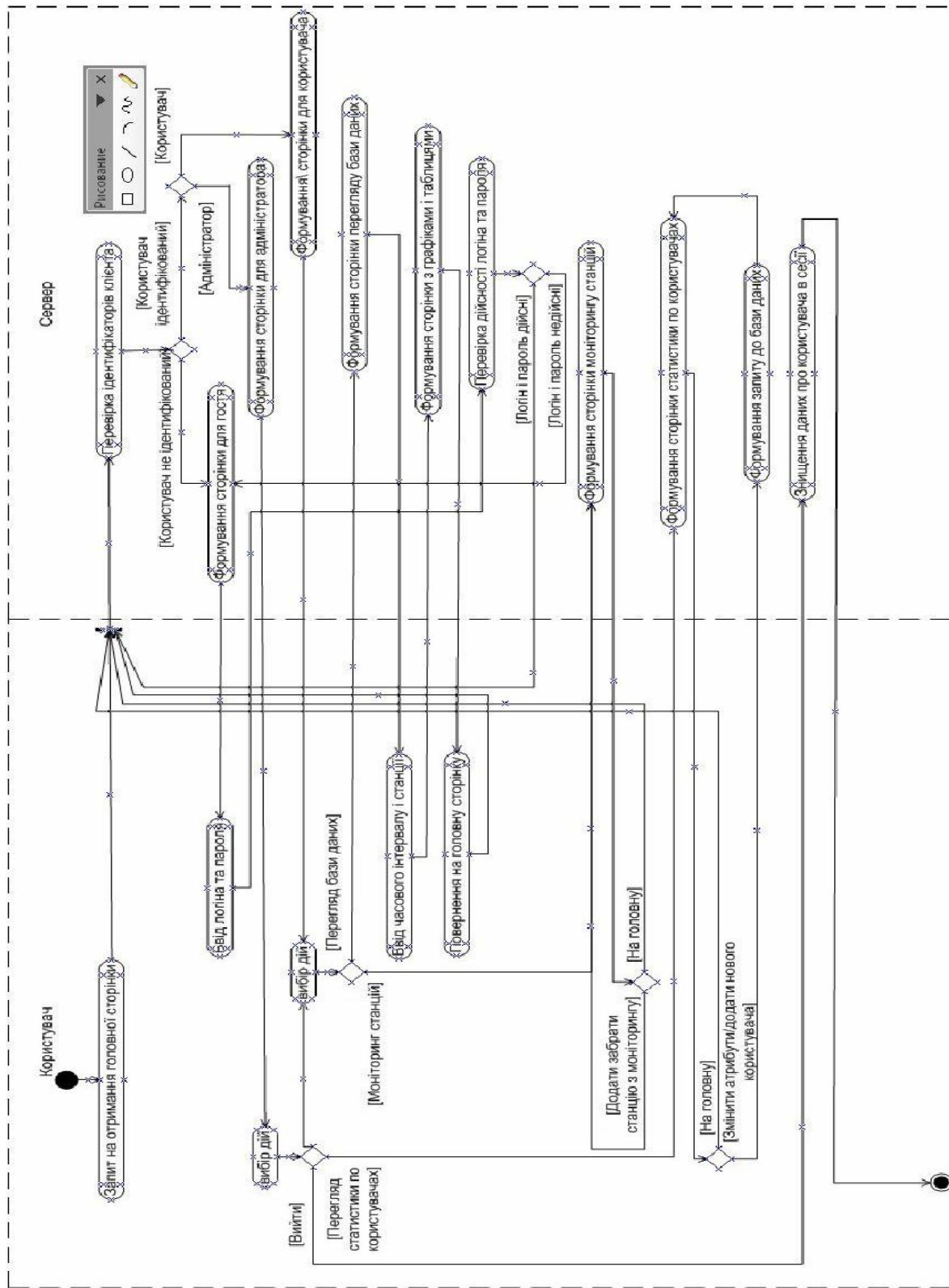


Рис. 3. Алгоритм взаємодії клієнтського та серверного модулів

Підтримувані архітектури для Eclipse 3.6:

- AIX (PPC/Motif)
- FreeBSD (x86/GTK 2)
- HP-UX (HP9000/Motif)
- Linux (x86, x86-64, PPC, IA-64/GTK 2)
- Linux (x86/Motif) Mac OS X (x86, x86-64, PPC/ Cocoa)
- OpenSolaris (x86, x64, SPARC/ GTK 2)
- Solaris 8 (SPARC/GTK 2, Motif)
- Microsoft Windows (Win32, Win64)

Як систему керування базами даних (СКБД) використано систему з відкритим кодом *MySQL* [20, 21]. Зараз *MySQL* – одна з найпоширеніших систем керування базами даних.

Вона використовується насамперед для створення динамічних веб-сторінок, оскільки має чудову підтримку з боку різноманітних мов програмування для Інтернету.

Для некомерційного використання *MySQL* є безкоштовним. Можливості сервера *MySQL* такі:

- простота встановлення та використання;
- підтримується необмежена кількість користувачів, що одночасно працюють із БД;
- кількість рядків у таблицях може сягати 50 млн.;
- висока швидкість виконання команд;
- наявність простої та ефективної системи безпеки;
- підтримка транзакцій.

Одним з основних компонентів проєктованого інтернет-порталу є контейнер сервлетів Apache Tomcat – контейнер сервлетів, який написаний мовою Java і реалізує специфікацію сервлетів та специфікацію JavaServer Pages (JSP), які є стандартами для розроблення веб-додатків мовою Java. У складі використаного контейнера сервлетів Apache Tomcat є такі компоненти: Jasper (перепроєктований механізм JSP), Catalina (перепроєктований контейнер сервлетів) і Coyote (стек HTTP).

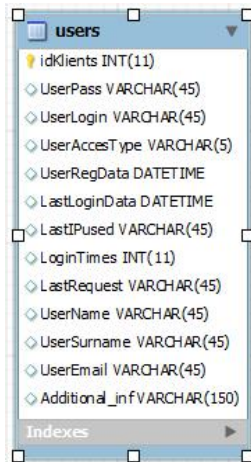
Реалізація компонентів інтернет-порталу

Модуль зв'язку з базою даних

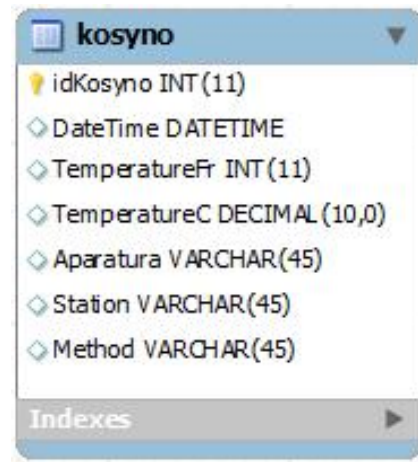
На основі аналізу наведених вище вимог було розроблено структуру бази даних, у якій дані поділяються на дві основні підмножини.

Перша підмножина – таблиця користувачів (у ній зберігаються персональні дані кожного користувача (рис. 4, а)).

- Ідентифікатор користувача (UserID);
- Дата реєстрації користувача (UserRegData);
- Логін користувача (UserLogin);
- Пароль користувача (UserPass);
- Права доступу користувача до ресурсів системи (UserAccessType);
- Дата останнього входження до системи користувача (LastLoginDate);
- IP-адреса останнього входження до системи користувача (LastIPDate);
- Кількість заходів до системи (LoginTimes);
- Останній запит, посланий користувачем (LastRequest);
- Ім'я користувача (UserName);
- Прізвище користувача (UserSurname);
- Е-мейл користувача (UserEmail);
- Додаткова інформація про користувача (Additional_inf).



а



б

Рис. 4. Таблиця з інформацією про користувачів (а) та таблиця з даними (на прикладі геотермічного пункту спостережень “Косино”) (б)

Друга підмножина – таблиці даних, у яких зберігаються дані з пунктів спостережень. Ці таблиці мають приблизно таку структуру (рис. 4, б):

- Ключ;
- Назва станції;
- Назва геофізичного методу;
- Назва типу апаратури;
- Назва типу і номер каналу;
- Дата та час вимірювання;
- Геофізичні дані

Клієнтський модуль

Модуль містить:

- систему аутентифікації користувачів;
- систему вибору та візуалізації геофізичних даних і формування їх у клієнт-файл.

Завдання останньої зокрема візуалізувати вибрані дані у формі графіків та діаграм. Для цього використано безкоштовну бібліотеку jfreecharts, яка надає функції для побудови графіків та діаграм і подальше їхнє збереження у вигляді графічних об’єктів. Графіки та діаграми будуються на основі колекції об’єктів DefaultCategoryDataset.

Клієнтський модуль повинен надавати користувачу інтуїтивно зрозумілий та зручний інтерфейс для взаємодії з базою даних і опрацювання геофізичної інформації.

Основні функції клієнтського модуля:

- Візуалізація даних (відображення графіків, числових значень та ін.);
- Коректування даних у базі даних (відповідно до рівня доступу);
- Створення файлів з вибраними даними для завантаження на комп’ютер користувача.

Для роботи з інтернет-порталом створено інтерфейс, через який формуються запити на вибір даних для візуалізації.

Під час розроблення клієнтського модуля використано бібліотеку GWT (Google Web Toolkit). Ця бібліотека дає змогу писати програмний код мовою Java, який потім перетворюється на JavaScript та XML і працює за технологією AJAX.

Під час розроблення інтерфейсу клієнтського модуля реалізовано такі функції:

- Створення таблиці, в якій зображаються дані зі станцій;
- Створення керівних елементів;
- Створення списку переглядання (станції, методи, апаратура);
- Створення службових часових міток (служба протоколу активності).

До цього модуля також підключено розроблені нами раніше утиліти, призначені для конвертування та препроцесингу геофізичних даних [16–18], зокрема утиліту “Converter-D”, ця утиліта працює у середовищі Windows.

Алгоритм роботи клієнтського модуля наведено на рис. 5, а приклад його роботи – на рис. 6.

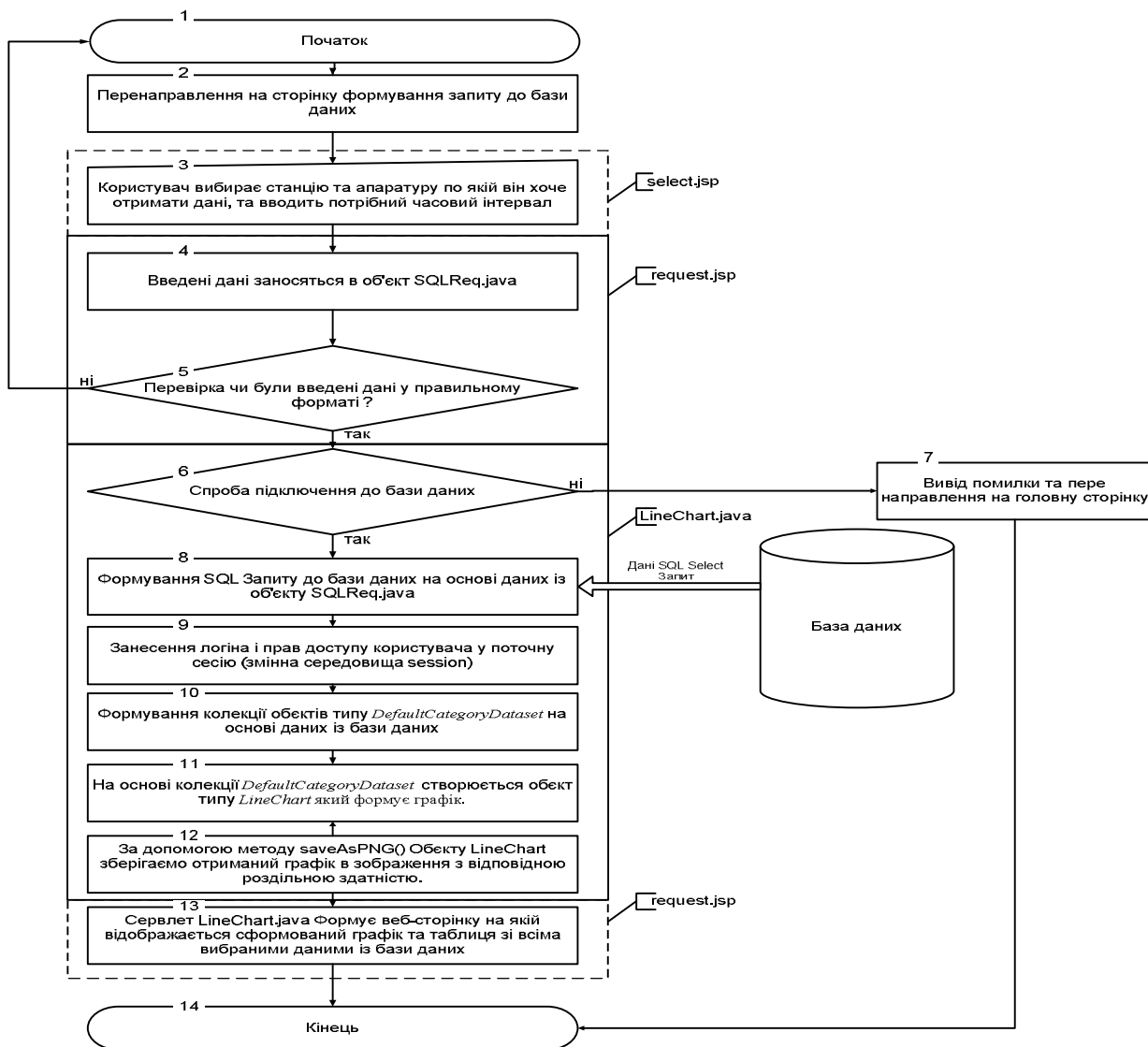


Рис. 5. Схема алгоритму роботи системи візуалізації

початок-(РРРР.ММ.ДД)- [] (ГГ.ХХ.СС)- []

кінець-(РРРР.ММ.ДД)- [] (ГГ.ХХ.СС)- []

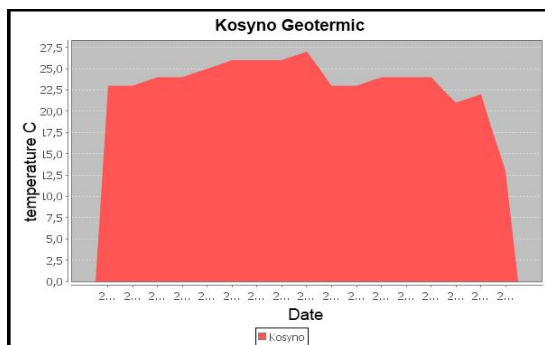
Приклад : 2011-08-01 12.00.01

Косино Сверловинний гео-термометр Station

Косино Сверловинний гео-термометр

Берегово Деформограф 1

Берегово Деформограф 2



а

б

Рис. 6. Інтерактивні інтерфейсні сторінки клієнтського модуля:

а – сторінка формування запиту до бази даних; б – графічна візуалізації температурних даних з пункту “Косино” (на прикладі зовнішньої температури повітря)

Клієнтський модуль також забезпечує доступ до інформації в базі даних на двох рівнях з диференціацією по підрівнях відповідно до результатів аутентифікації користувача (алгоритм такої аутентифікації наведено на рис. 7).

Рівні доступу (клієнтські)

Перший рівень (**R1**) (гість) – доступ до перегляду даних (без можливості їх редагування).

Другий рівень (**R2**) (користувач) – доступ до перегляду та редагування і обробки даних.

Підрівні доступу по:

- Станції, на якій проводились виміри;
- Геофізичному методу;
- Апаратурі.

Рівень доступу **R0** – це рівень доступу адміністратора сервера, що надає право доступу до контролю та модифікації програмного забезпечення.

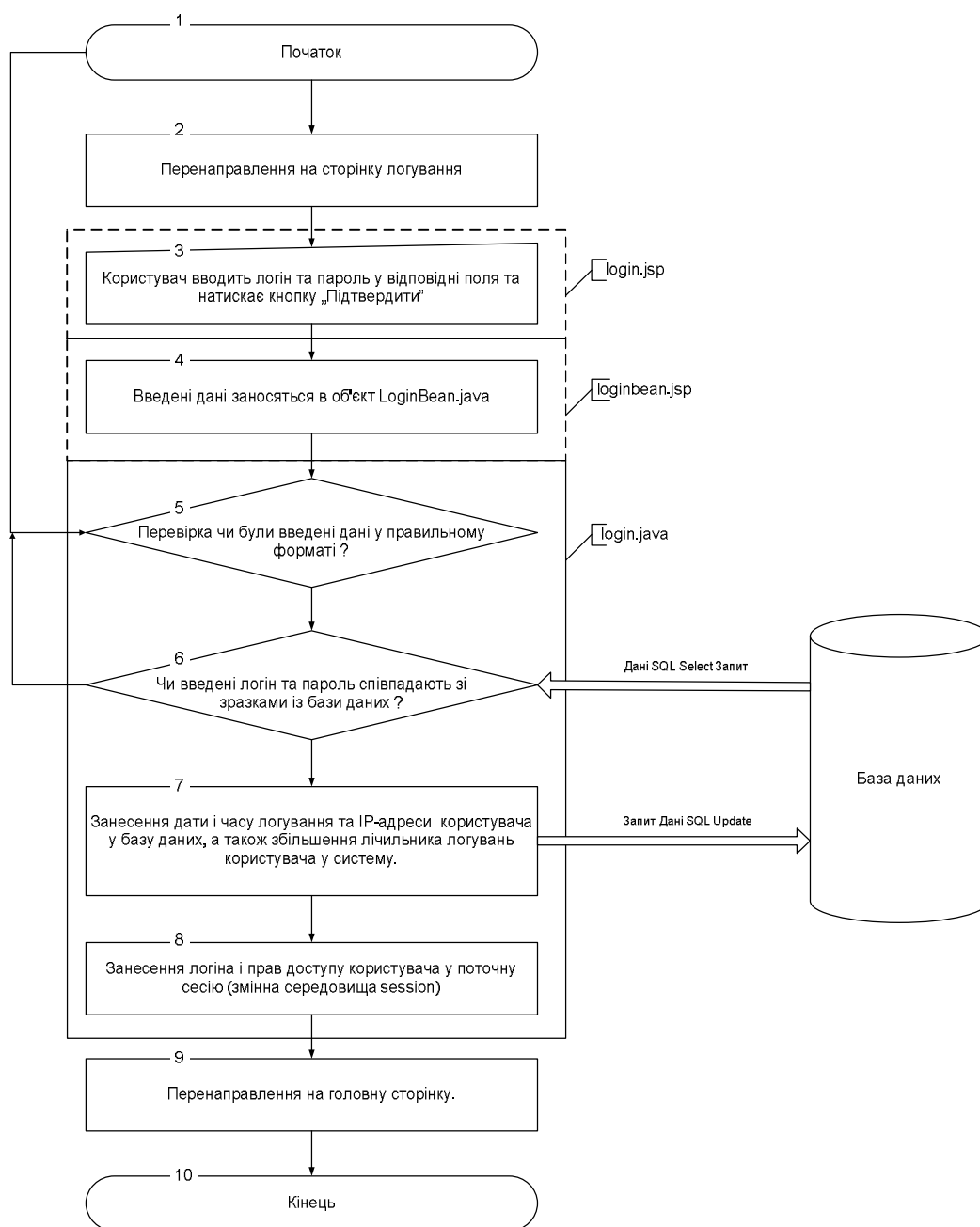


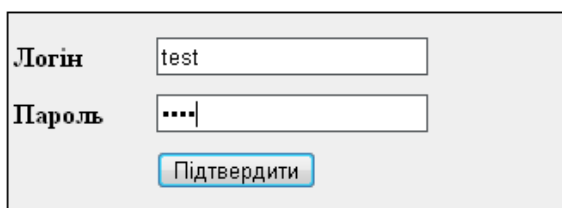
Рис. 7. Схема алгоритму роботи системи аутентифікації користувача

Що стосується подальшої обробки геофізичних даних та вимог до формування файлів, які мають видаватися системою на запит користувача, то відповідні приклади наведено зокрема в роботах [16–18], де показано способи попередньої обробки (препроцесингу) деформографічних даних з використанням розробленої нами утиліти “Converter-D”.

Тестування програмного продукту

Функціональне тестування створеного прототипу інтернет-порталу опрацювання даних геодинамічного моніторингу проведено під спеціально створеним тестовим обліковим записом на прикладі геотермічних даних з свердловинного пункту “Косино”, який є одним з перших у планах підключення до Інтернету. Приклад тестового запиту та графічного виводу даних наведено на рис. 7, а приклад тестування режиму аутентифікації користувача – на рис. 8.

Аутентифікація користувача



Ви ввели неіснуючий логін та пароль

[На Головну сторінку](#)

Рис. 8. Тест сторінки аутентифікації користувача

Висновки

Отже, створене програмне забезпечення інтернет-порталу геофізичного моніторингу вирішує поставлені задачі та реально експлуатується. У міру розвитку обладнаної Інтернетом мережі моніторингових геофізичних спостережень воно може нарощуватись і вдосконалюватись відповідно до потреб, оскільки володіє достатньою гнучкістю та масштабованістю.

1. Геофизическая служба Российской академии наук [електронний ресурс]: <http://www.gsras.ru/> – 2014.
2. Global Network for the Forecasting of Earthquakes [електронний ресурс] <http://seismonet.org/> – 2014.
3. European-Mediterranean Seismological Centre [електронний ресурс] <http://www.emsc-csem.org/> – 2014.
4. Gravity time dependency research (Європейська мережа маятникових нахиломірних станцій) [електронний ресурс] <http://www.dynamicgravity.org/> – 2014.
5. Шевчук Б.М., Задірака В.К., Гнатів Л.О., Фраєр С. Технологія багатофункціональної обробки і передачі інформації в моніторингових мережах. – К.: Наук. думка, 2010. – 368 с.
6. Рикитакє Т. Предсказание землетрясений. – М.: Мир, 1979. – 388 с.
7. Аранович З.И., Маламуд А.Я., Негребецкий С.А., Трапезников Н.Л. Метрология, принципы построения и функциональные особенности сейсмометрических регистрирующих систем / Автоматизация сбора и обработки сейсмологической информации. – М.: Радио и связь. – 1983. – С. 5–19.
8. Максимчук В.Ю., Кузнецова В.Г., Вербицкий Т.З. та ін. Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат. – К.: Наук. думка. – 2005. – 256 с.
9. Назаревич А.В. Автоматическая система передачи результатов геофизических наблюдений по линии электросвязи. // Современные геодинамические процессы и их изучение в связи с проблемой прогноза землетрясений. – К.: Наук. думка. – 1986. – С. 48–51.
10. Назаревич А.В. Автоматический цифровой геоакустический комплекс. // Сейсмопрогностические исследования на территории УССР. – К.: Наук. думка. – 1988. – С. 116–123.
11. Назаревич А.В. Оптимізація методико-апаратурного забезпечення мережі геодинамічних спостережень України // Праці НТШ. – Львів. – 1997. – С. 148–157.
12. Назаревич А., Назаревич Л. Оптиелектронний вимірювальний канал до кварцового деформографа / Геодинаміка. – 1999. – № 1(2). – С. 116–120.
13. Назаревич А.В., Назаревич Л.С., Баштейвич М.В., Назаревич О.В.,

Микита А.Ю. Геоінформаційні технології в геомоніторингових дослідженнях // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2003. – № 63. – С. 266–271. 14. Лящук Д.Н., Назаревич А.В., Назаревич Л.Є. Геоелектромагнітноемісійний метод в моніторинзі локальних геодинамічних процесів // Вісник КНУ ім. Т.Шевченка. “Геологія”. – 2003. – № 26–27. – С. 92–97. 15. Кендзера О., Вербицький Т., Вербицький С., Вербицький Ю. Цифровий сейсмограф для регіональних спостережень та результати його випробувань. –Геодинаміка. – 1998. – №1. – С. 120–126. 16. Назаревич А.В., Мицик Б.Г., Баштевич М.В., Назаревич Р.А. Деформографічні дослідження сейсмотектонічних процесів в Українському Закарпатті (геоінформаційні аспекти). IX International Conference “Geoinformatics – Theory and Applied Aspekts”. 11-14 May 2010, Kyiv, Ukraine (CD). 17. Мицик Б.Г., Назаревич А.В., Баштевич М.В., Назаревич Р.А. Безконтактні смісні вимірювачі мікропереміщень у деформографічних геофізичних дослідженнях // Відбір і обробка інформації. – 2011. – Вип. 35 (111). – С. 69–76. 18. Назаревич Р., Мархивка В., Струк Є., Назаревич А. Конвертація та препроцесинг даних деформографічного моніторингу // Вісник НУ “ЛП” “Комп’ютерні науки та інформаційні технології”. – Львів. – 2011. – № 694. – С. 334–340. 19. Turner James. MySQL and JSP Web applications. – Sams Publishing, 2002. – 560 с. 20. Маркин А.В. Построение запросов и программирование на SQL. – Рязань, 2008, – 312 с. 21. Jeffrey Richter. Programming Applications for Microsoft Windows – Microsoft Press, 2004. – 723 p.

УДК 004

Р. Базилевич, В. Андрієнко

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра програмного забезпечення

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ОСТРІВКУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖ

© Базилевич Р., Андрієнко В., 2014

Досліджено алгоритми бісекціювання графів, їх застосовність до острівкування енергетичних мереж. Проаналізовано алгоритм Кернігана–Ліна, спектральний метод та підхід k-середніх, щодо обчислювальних затрат і придатності до застосування.

Ключові слова: бісекціювання графу, острівкування енергомережі.

The graphs bisectioning algorithms are investigated and their applicability to islanding of the power system. The Kernighan-Lin algorithm, spectral method and multilevel kernel k – means approach have been analyzed with respect to the computational complexity and fitness for use.

Key words: graph bisectioning, power system islanding.

Вступ

Кероване острівкування запобігає хвильовому поширенню аварії в енергетичній мережі з забезпеченням постачання енергії частині її споживачів. Розподілений генератор продовжує постачати живлення, навіть коли деякий з генераторів вилучений [1]. Існують два види острівкування – кероване (умисне) та некероване (природне, неумисне). При керованому острівкуванні генератор в аварійній частині сам від’єднується від мережі і розподілений генератор продовжує жити місцеву мережу. При некерованому острівкуванні генератор не встигає відключитись від живлення мережі після аварії в ній. Таке острівкування є небезпечним явищем, яке супроводжується хвильовим поширенням аварії, несподіваними “живими дротами” (такими, що перебувають під напругою), пошкодженням обладнання споживачів електроенергії та іншими небажаними подіями. Перенавантаження енергосистеми може призвести до нестабільної роботи, а