

УДК 681.5.

А.Ю. Дорошенко, П.А. Іваненко, О.М. Овдій, Т.О. Павлючин, Є.А. Вітряк

ДО СТВОРЕННЯ ІНТЕРНЕТ-ПОРТАЛУ НАДАННЯ ПОСЛУГ МЕТЕОРОЛОГІЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ НА МУЛЬТИПРОЦЕСОРНІЙ ПЛАТФОРМІ

Розглядаються питання створення Інтернет-порталу для надання сервісів метеорологічного прогнозування на основі паралельної реалізації задач моделювання циркуляції атмосфери на мультипроцесорній платформі. Розглянуті особливості порталльної системи, описані використані алгоритми та методи, а також архітектурні аспекти комплексного вирішення проблеми.

Вступ

В наші дні прогностичні систем стають все більш актуальними у зв'язку зі впровадженням різноманітних автоматизованих систем прийняття рішень, керування та оцінки ризиків у різних сферах людської діяльності. Зокрема, метеорологічне прогнозування окрім задоволення потреб звичайних користувачів використовується для вирішення різноманітних задач у транспортній галузі, авіації, сільському господарстві, наукових досліджень тощо. Суттєве значення має актуальність отриманого прогнозу, його достовірність та оперативність отримання. Швидкість отримання результатів прогнозу в деяких ситуаціях має критичне значення. Не менш важливим є наочність відображення отриманих даних.

Задача метеорологічного прогнозування є складною прикладної обчислювальною задачею з високими вимогами до точності отриманих результатів та жорсткими часовими обмеженнями. Великий обсяг обчислень над великими масивами даних потребує впровадження паралельних реалізацій та оптимізації обчислювальних алгоритмів.

У даній роботі запропоновано підхід до створення порталу для надання послуг з метеорологічного прогнозування, який поєднує комплексність використання адекватних фізичних моделей атмосферних процесів з ефективними обчислювальними схемами і методами програмування високопродуктивних обчислень на мультипроцесорних системах, що дає змогу досягати належного ступеня точності, повноти і своєчасності інформації, необхідної

для задоволення потреб широкого кола користувачів.

У даній роботі описується реалізація комплексної сервісно-орієнтованої системи, що дозволяє користувачам швидко та зручно отримувати дані метеорологічних прогнозів. Використання сервісно-орієнтованих та порталльних технологій дозволяє легко масштабувати та нарощувати потужність та функціональність системи.

Структура роботи є наступною: перший розділ містить постановку задачі й опис математичної моделі; у розділі 2 висвітлюються архітектурні аспекти побудованої системи; у розділі 3 представлено опис та деталі реалізації інтерфейсу порталу і візуалізації даних прогнозу.

1. Постановка задачі

Математична модель

В атмосфері є процеси та явища різних типів. Одні процеси розвиваються на обмеженій території на протязі невеликого відрізка часу, інші – на широкому просторі довгий час. В залежності від просторової протяжності всі процеси та явища в атмосфері можна умовно поділити на три типи: мікромасштабні (до кілометра), мезомасштабні (порядку десятків і сотень кілометрів) та макромасштабні (понад 1000 км). Формування процесів та явищ в атмосфері в кожній конкретній області виникає під впливом процесів всіх перерахованих вище масштабів [1].

Регіональні та локальні моделі, що описують мезомасштабні та мікромасшта-

бні метеорологічні процеси та явища, визначають формування погоди в окремих пунктах та регіонах, призначені для створення більш обґрунтованих та деталізованих як в просторі, так і за часом прогнозу погоди.

Сучасні системи чисельного прогнозу погоди складаються із прогностичної моделі та системи отримання даних реальних спостережень. Модель зображує динаміку глобальної атмосферної циркуляції й повинна адекватно описувати короточасні (від годин до декількох днів) макромасштабні атмосферні процеси. Також модель має описувати частини процесів мезометеорологічного масштабу із періодами від десятків хвилин до кількох годин. Постійна нестійкість атмосфери значно ускладнює задачу прогнозування погоди. Фактично межа передбачуваності для синоптичних процесів рівна 1–2 тижням. Сьогодні є чотири перспективні напрямки вдосконалення чисельних прогнозів [2]:

- підвищення точності розв’язання рівнянь гідротермодинаміки атмосфери [3];
- врахування фізичних процесів підсіткового масштабу [4];
- покращення оцінки початкового стану атмосфери [5];
- та врахування хаотичних властивостей атмосферних процесів.

Математична модель цієї роботи орієнтована на перший та другий напрямки. Підвищення точності розв’язання досягається за рахунок застосування ефективних чисельних методів й переходу до негідростатичних рівнянь.

Ефективність для метеорології асоціюється із часом обчислень й рівнем помилки відтворення атмосферної циркуляції. Чисельний метод має обчислювати прогноз за хвилини тому, зважаючи на досить великий обсяг обчислень, обов’язковою вимогою є наявність внутрішнього паралелізму, що дозволяє реалізацію моделі на багатопроцесорній ЕОМ.

Використання негідростатичних рівнянь є актуальним за просторової роздільності 10 км та вище. За такої роздільності негідростатичні ефекти (наприклад,

стисненість повітря [6]) мають значний вплив.

Врахування рельєфу земної поверхні. Наявність рельєфу суттєво впливає на процеси та явища, що мають місце в нижній частині атмосфери. В обраній моделі врахування рельєфу здійснюється шляхом переходу до нової вертикальної координати, а саме до вибору вертикальною координатою нормованого тиску $\sigma = p/p_0$, де p_0 – приземний тиск.

Початково-крайові умови моделі. Для постановки початкових та крайових умов моделі використовувався електронний архів даних об’єктивного аналізу полів метеовеличин, що отриманий із регіонального центру прогнозування погоди у м. Офенбах [7]. Формат цих метеорологічних даних є таким:

- вертикальна координата – тиск;
- вертикальна протяжність від 1000 до 50 гПа. 10 рівнів що приблизно відповідають висотам від 8000 до 18000 метрів;
- просторова область $0^\circ - 90^\circ$ пвн. ш. та $0^\circ - 90^\circ$ сх. д.;
- просторова дискретність 0.5° за широтою та довготою (180 точок за кожним напрямком);
- часова дискретність 12 годин.

Варто зазначити, що між архівними даними та моделлю існує неузгодженість. Це пов’язано із тим, що модель є абстрактнішою за дані. Відтак, вона не здатна відтворити динаміку деяких процесів (наприклад, вплив на циркуляцію перетворень вологи та хмарності), інформація про які вже міститься у початкових та крайових умовах. Проте якісно динаміка атмосферної циркуляції має відтворюватися добре, оскільки тиск, що є головною рушійною силою, вважається відомою величиною та задається у всій розрахунковій області для усіх моментів часу.

Моделювані фізичні величини й паралельний алгоритм. Обрана модель дозволяє отримати прогноз для наступних фізичних величин: швидкість та напрям вітру, температура й вологість повітря у кожній точці області обчислень.

Програмна реалізація чисельного методу використовує модифіковану адитивно-усереднену схему розщеплення [8] яка дозволяє поєднати геометричне та операторне розщеплення й не потребує постановки крайових умов усередині розрахункової області. Більш детально познайомитися з чисельним методом можна у [8]. Паралельний алгоритм докладно описаний в роботі [9].

2. Архітектура системи

В рамках даної роботи було спроектовано та реалізовано сервіс-орієнтовану систему надання послуг метеорологічного прогнозування з використанням паралельних обчислень на мультипроцесорній платформі та порталних технологій. Отримана система складається з декількох модулів-сервісів, кожен з яких виконує окрему, незалежну від інших сервісів, фу-

нкцію. Це надає системі гнучкості, дозволяючи при необхідності замінювати однотипні сервіси.

Значна частина системи написана на мові Java, крім власне паралельних програм для виконання обрахунку прогнозу, яка розроблені на мові C++ за стандартом OpenMP [10]. Це дозволяє розташовувати систему на більшості обчислювальних платформ.

Структурна схема архітектури системи показана на рис. 1.

Далі наведено опис основних елементів системи.

Інтернет-портал надає інтерфейс доступу до сервісів системи кінцевому користувачу. Вибір саме порталного рішення зумовлений можливістю легко інтегрувати та забезпечувати єдину точку доступу до різноманітних сервісів, нарощуючи функціональність системи.

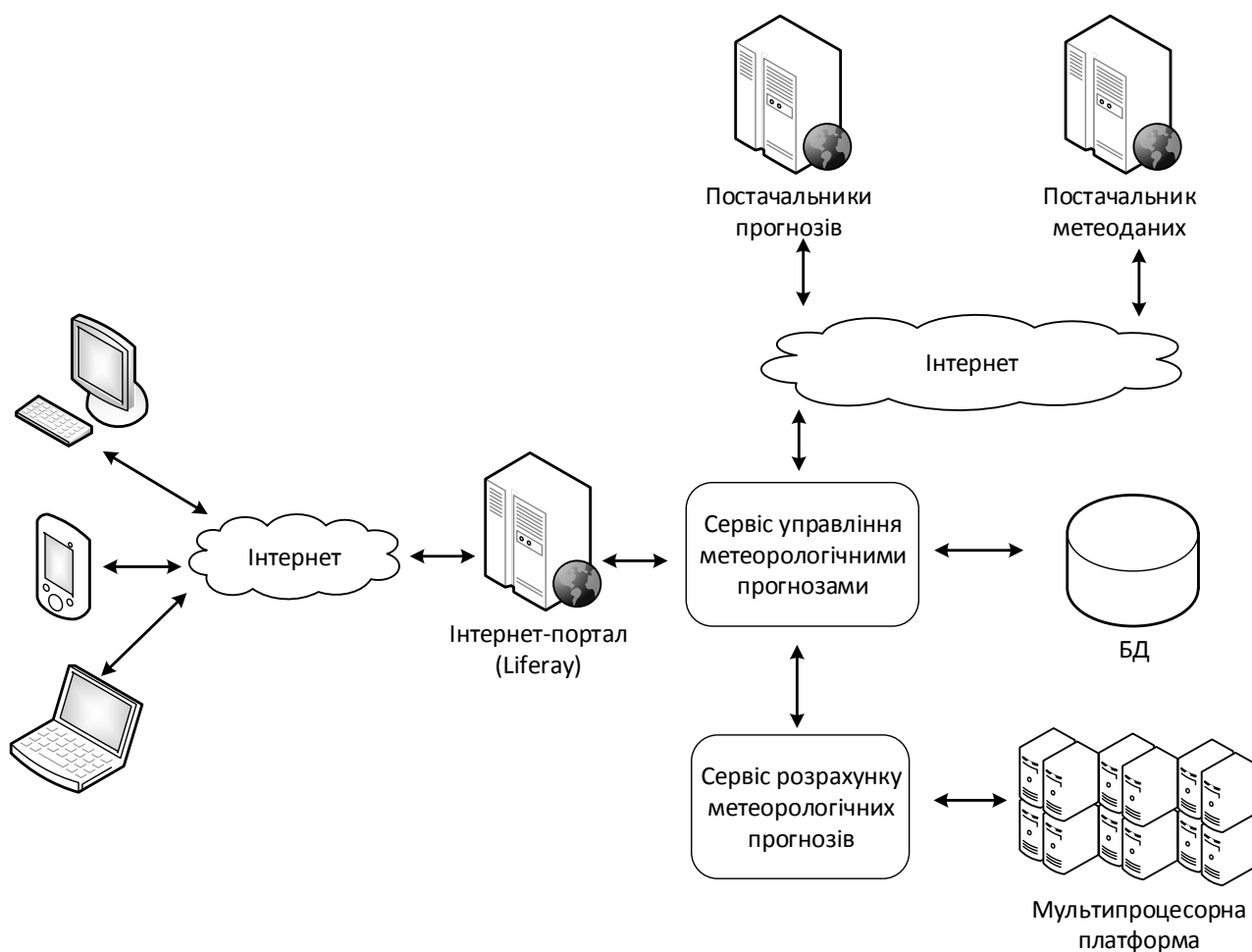


Рис. 1. Структурна схема архітектури системи

Він реалізований за допомогою відкритого програмного продукту Liferay [11], що є досить потужним корпоративним порталом, але при цьому простий в інсталяції та адмініструванні.

За даними звітів авторитетної аналітичної агенції Gartner [12], яка на протязі останніх років проводить аналіз ринку корпоративних порталів, Liferay є одним із лідерів індустрії і навіть випереджає більшість відомих комерційних продуктів.

Нами було використано версію з вільною ліцензією, яка була розгорнута в контейнері сервлетів Apache Tomcat.

Розробка інтерфейсу Інтернет-порталу виконувалась за допомогою створення «портлетів» – внутрішньо-портальних додатків, які одночасно пропонують користувачеві графічний інтерфейс, можуть реалізовувати нескладну логіку для оперування даними та мають можливість спілкуватись з сервісами. Таким чином, вони є мостом між користувачем та основною частиною розробленої системи.

Сервіс керування метеорологічними прогнозами є базовим сервісом, який виконує функції планування, синхронізації та управління системою (рис. 2).

Далі розглянемо детальніше функціональні елементи цього сервісу.

Сервіс приймає заявки, в яких міс-

титься інформація про час, місце та тип прогнозу.

Обробка заявок відбувається наступним чином:

1) заявка перенаправляється "Фронт-сервлетом" на "Сервіс прийняття рішень та планування", який оброблює запит та робить перевірку на наявність вже обрахованого прогнозу в базі даних;

2) у випадку, якщо в БД обрахованого прогнозу з даними параметрами не знайдено, заявка направляється в "Формувач задач";

3) у "Формувачі задач" по заявці формується відповідна задача;

4) далі "Формувач задач" отримує з БД дані для обрахунку прогнозу і сформовану задачу передає на "Сервіс розрахунку метеорологічних прогнозів";

5) "Сервіс розрахунку метеорологічних прогнозів" повертає результат обрахунку прогнозу на запит. «Сервіс прийняття рішень та планування» зберігає об'єкт в БД, та передає його на «Веб-портал» у форматі JSON [13];

6) якщо даних розрахунку недостатньо для надання повноцінного прогнозу, сервіс виконує запит до зовнішніх систем метеорологічного прогнозування з метою отримання показників, яких не вистачає (наприклад, температури, хмарності тощо);

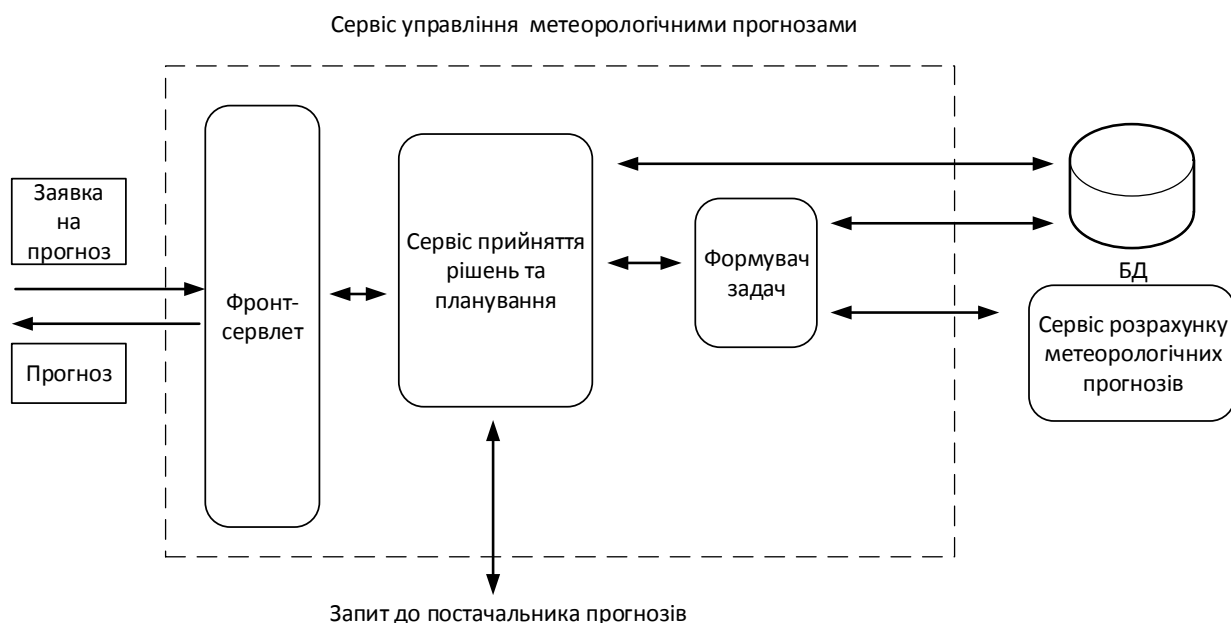


Рис. 2. Схема сервісу управління метеорологічними прогнозами

7) крім того, "Сервіс прийняття рішень" синхронізує БД, періодично завантажуючи вхідні метеодані від "Постачальників метеоданих".

Постачальники метаданих. Один або декілька постачальників вихідних метеоданих, за якими розраховуються уточнюючі прогнози. В даний час використовуються дані надані метеорологічним центром у м. Офенбах [7].

Постачальники прогнозів. Зовнішні системи, які надають послуги метеорологічного прогнозування. У поточній реалізації зовнішнім постачальником прогнозів є сервіс OpenWeatherMap [14].

База даних (БД) містить як вихідні метеодані, так і дані розрахованих уточнюючих прогнозів. Обрано PostgreSQL в якості СУБД. До переваг якої можна віднести потужність, надійність та вільну ліцензію.

Паралельні програми для реалізації метеорологічного прогнозування на даний момент використовуються у трьох варіантах для обчислення прогнозів: 2D, 3D та періодичного.

Сервіс розрахунку метеорологічних прогнозів. Проводить розрахунок метеорологічних прогнозів з використанням паралельної програми, яка виконується на мультипроцесорній платформі. Сервіс роз-

роблено за концепцією побудови розподілених програмних систем REST (Representational State Transfer) [15] та реалізовано на базі модуля Spring Framework – Spring MVC [16].

Схема сервісу розрахунку метеорологічних прогнозів показана на рис. 3.

Сервіс складається з декількох функціональних блоків:

Фронт-сервлет – об'єднує обробку запитів шляхом їх направлення через єдиний об'єкт-обробник. Цей об'єкт реалізовує загальну поведінку, яка може бути змінена під час виконання за допомогою шаблону декоратор. Після цього "Фронт-сервлет" створює потрібні об'єкти відповідно до запиту та викликає методи для реалізації конкретної задачі.

Черга задач – блокуюча черга реалізована на базі LinkedBlockingQueue бібліотеки java.util.concurrent, що реалізує алгоритм "two lock queue": одне блокування на додавання, інше на діставання елемента.

Елементи черги – це задачі на обчислення прогнозу, які відрізняються між собою типом задачі 2D чи 3D, часом прогнозу та координатами. Для кожної задачі зберігається інформація про статус ("DONE" – обчислений прогноз, "IN_ORDER" – задача на прогноз перебуває в черзі на виконання, "PENDING" –

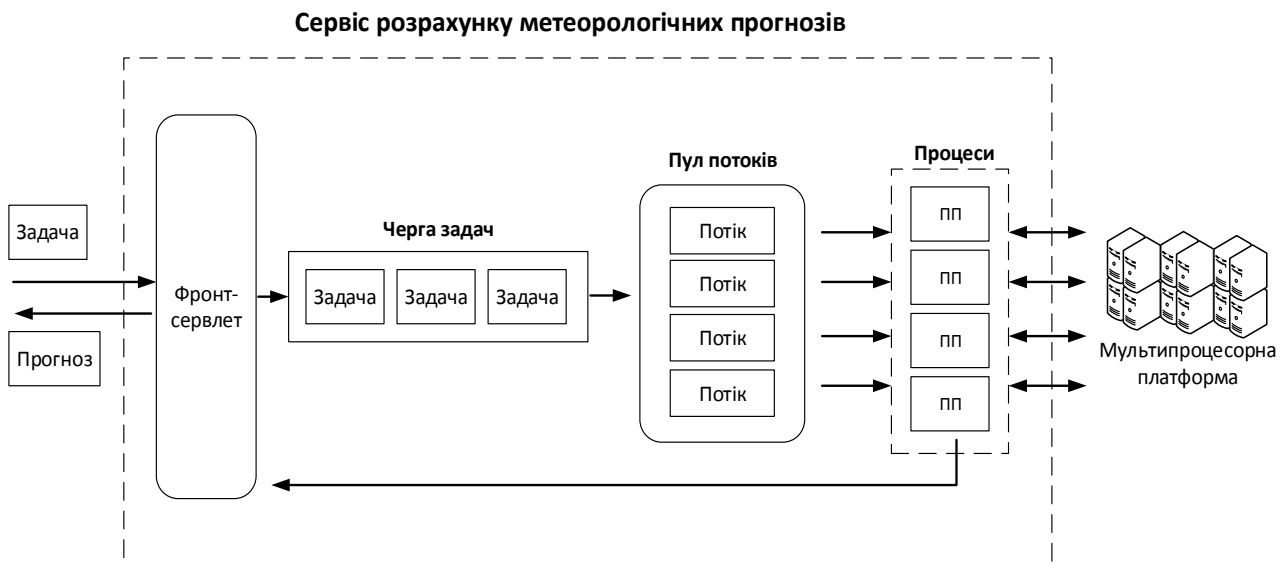


Рис. 3. Схема сервісу розрахунку метеорологічних прогнозів

задача на прогноз виконується в даний момент). Система може в будь-який момент дізнатися поточний статус задачі на прогноз.

Елементи черги зберігаються в порядку "перший прийшов, перший вийшов" (FIFO – first in, first out). `LinkedBlockingQueue` гарантує, що будь-яка спроба дістати елемент з порожньої черги заблокує викликаючий потік до тих пір, поки в колекції не з'явиться елемент, який можна дістати. Аналогічно, будь-яка спроба вставити елемент в заповнену чергу заблокує викликаючий потік, поки в черзі не звільниться місце для нового елемента. `LinkedBlockingQueue` вирішує проблему передачі елементів, зібраних одним потоком, для обробки в інший потік без явних проблем синхронізації.

Пул потоків – реалізований на базі інтерфейсу `ExecutorService` з пакету `java.util.concurrent` також бере на себе роботу по запуску і зупинці потоків. Дана реалізація в найбільшій мірі підходить для паралельного асинхронного обрахунку прогнозів. Розмір пулу автоматично встановлюється відповідно обчислювальних можливостей системи та дорівнює кількості фізичних ядер процесорної системи на якій запущений сервіс.

Обрахунок прогнозу виконується в такій послідовності.

1. На вхід системи від "Сервісу управління метеорологічними прогнозами" надходить "Задача". "Фронт-сервлет" перевіряє наявність вільного місця в "Черзі задач" та у разі успіху кладе задачу в чергу.

2. Далі чергу обслуговує незалежний потік, який переміщує задачі з черги в "Пул потоків" за мірою звільнення системних ресурсів (ядер).

3. "Пул потоків" автоматично запускає на виконання задачі.

4. Кожна задача при старті резервує необхідну їй кількість ядер та запускає паралельну програму – "ПП", відповідно до параметрів запиту.

5. В результаті виконання "ПП" результати обрахунків записуються в тимчасові файли.

6. Задача опрацьовує файли та створює Прогноз (`Java POJO`-об'єкти) та

повертає його на "Фронт-сервлет".

7. По завершенню обрахунку задача звільняє системні ресурси та видаляє тимчасові файли.

8. "Фронт-сервлет" відповідає на запит "Сервісу управління метеорологічними прогнозами".

3. Інтерфейс системи та візуалізація даних прогнозу

Для реалізації інтерфейсної частини системи був використаний порталний програмний продукт `Liferay`, що вільно розповсюджується і має відкритий код. Інтерфейс Інтернет-порталу складається із декількох окремих портлетів, які взаємодіють між собою та іншими внутрішніми та зовнішніми сервісами. Наприклад, з "Сервісом розрахунку метеорологічних прогнозів" портлети спілкуються за допомогою методу взаємодії `REST` [15]. Даний спосіб взаємодії було обрано завдяки його простоті та невеликого розміру повідомлень, що передаються між компонентами системи.

Головна сторінка порталу показана на рис. 4.

За допомогою **портлету пошуку** користувач має можливість здійснювати пошук місця для якого йому необхідно надати прогноз. Пошук реалізовано з використанням сервісу геокодування `Google Maps`. Пошук можливий за назвами будь-яких географічних об'єктів та за їх індексами, а також за назвами організацій та підприємств.

Візуалізація результатів прогнозу виконується декількома різними способами.

Картографічне представлення результатів метеорологічного прогнозу зроблено з використанням сервісу `Google Maps` [17]. Було реалізовано три варіанти представлення метеорологічних даних:

- за допомогою векторів (для сили вітру);
- за допомогою ізоліній;
- за допомогою напівпрозорих ізообластей.

Ці представлення можуть відображатися як окремо, так і одночасно, відповідно до вибраного в даний момент типу прогнозу.

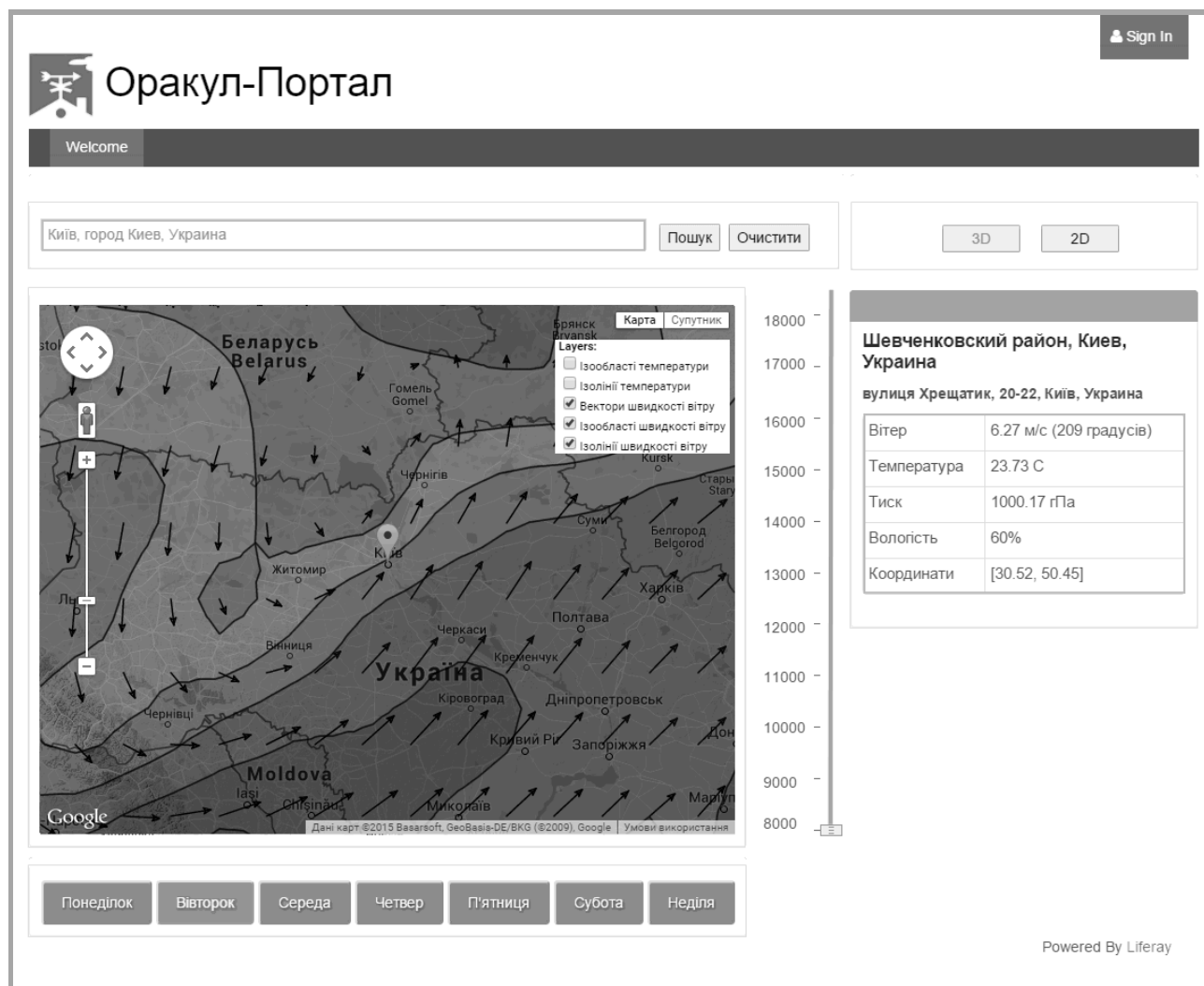


Рис. 4. Головна сторінка Інтернет-порталу

Для побудови ізоліній було використано алгоритм Conpec [18], що є одним з найбільш популярних алгоритмів для обчислення контурних ліній.

Початково мапа центрується на місці, яке отримано з сервісу геолокації та відповідає поточному місцезнаходженню користувача. Таким чином, можна швидко отримати необхідний прогноз без попереднього пошуку за місцевістю. Місцезнаходження користувача або шукана місцевість позначається спеціальним маркером на мапі.

Крім того за один клік можна отримати стислу інформацію по прогнозу для конкретної точки на мапі у спливаючому вікні (рис. 5).

Детальна інформація по прогнозу для обраної місцевості складається з розрахованих системою даних метеорологіч-

ного прогнозу (на даний момент це дані за силою вітру та температурою) та доповнюючих даних, отриманих з зовнішнього постачальника прогнозів, сервіса OpenWeatherMap [14] (рис. 6).

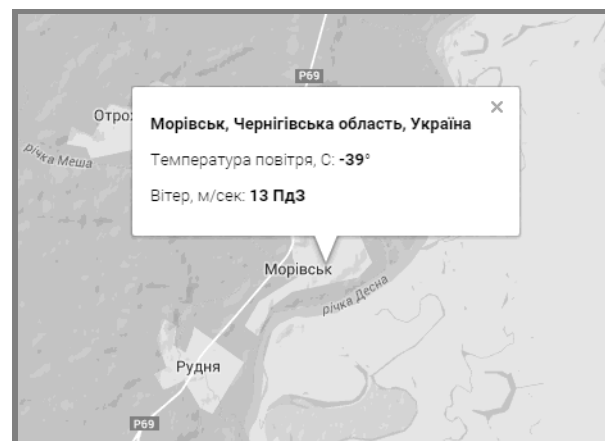


Рис. 5. Стисла інформація по прогнозу для конкретної точки на висоті 8000 м

Хрещатий яр, Київ, Україна	
вулиця Хрещатик, 20-22, Київ, Україна	
Вітер	2.06 м/с (43.0001 градусів)
Температура	25.18 C
Тиск	1016.29 гПа
Вологість	62%
Координати	[30.52, 50.45]

Рис. 6. Портлет детальної інформації

Нині в системі реалізовано два алгоритми метеорологічного прогнозування: двовимірний, що оперує тільки швидкістю вітру, та тривимірний, що розраховує як швидкість вітру, так і температуру. Крім того тривимірна задача дозволяє розраховувати прогнози для різних висот. Згадані параметри розрахунку можна вибрати за допомогою портлетів **вибору типу прогнозу та вибору висоти**.

Висновки

В роботі розглянуто розробку Інтернет-порталу для комплексної сервісно-орієнтованої реалізації задачі метеорологічного прогнозування на мультипроцесорній платформі. Розглянуті особливості портальних систем, описані використані алгоритми та методи, а також архітектурні аспекти запропонованого рішення.

Представлену систему створено за допомогою сучасних провідних технологій, таких як Інтернет-портали та мікросервіси. Завдяки сервісно-орієнтованій архітектурі вона інтегрує як власні незалежні сервіси так і зовнішні, які виступають у ролі постачальників даних або доповнюють функціональність системи. Таким чином, розроблена система є прикладом переваг сервісно-орієнтованої архітектури.

В подальшому планується розвивати цю систему додаючи нові сервіси, функціонально збагачувати існуючі, проводити подальшу оптимізацію виконання алгоритмів прогнозування на мультипроцесор-

ній платформі та використовувати нові мультипроцесорні платформи.

1. Прусов В.А., Дорошенко А.Ю. Моделирование природных і техногенных процесів в атмосфері. – К.: Наукова думка, 2006. – 542 с.
2. Толстих М.А., Фролов А.В. Некоторые современные проблемы численного прогноза погоды. – М.: Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2005. – Т. 41, № 3. – С. 315–327.
3. Белов П.Н., Борисенков Е.П., Панин Б.Д. Численные методы прогноза погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 376 с.
4. Марчук Г.И., Дымников В.П., Залесный В.Б. и др. Математическое моделирование общей циркуляции атмосферы и океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 320 с.
5. Фролов А.В., Важник А.И., Свиренко П.И. и др. Глобальная система усвоения данных наблюдений о состоянии атмосферы. – СПб.: Гидрометеиздат, 2000. – 187 с.
6. Белоцерковский О.М., Крачинский Л.М., Опарин А.М. Численное моделирование пространственных течений в стратифицированной атмосфере, вызванных сильными крупномасштабными возмущениями // Журнал вычислительной математической физики. – 2003. – Т. 43, N 11. – С. 1722–1737.
7. <http://www.dwd.de> (веб-сайт метеорологічного центру у м. Офенбах)
8. Прусов В.А., Дорошенко А.Е., Черныш Р.И. Метод численного решения многомерной задачи конвективной диффузии // Кибернетика и системный анализ. – 2009. – № 1. – С. 100–107.
9. Черныш Р.И., Турчак Ю.М., Иваненко П.А. Побудова паралельного алгоритму чисельного розв'язання багатовимірної задачі моделювання навколишнього середовища // Проблеми програмування. – 2009. – № 1. – С. 85–91.
10. <http://openmp.org/wp/> електронний ресурс
11. <http://www.liferay.com/> електронний ресурс
12. <http://www.gartner.com/> електронний ресурс
13. <http://json.org/> електронний ресурс
14. <http://openweathermap.org/> електронний ресурс
15. Fielding R.T., Taylor R.N. Principled Design of the Modern Web Architecture // In Proceedings of the 2000 International Conference on Software Engineering

- (ICSE 2000). Limerick, Ireland. – 2000. – С. 407–416.
16. <http://projects.spring.io/spring-framework/> електронний ресурс
17. <http://maps.google.com/> електронний ресурс
18. <http://paulbourke.net/papers/conrec/> електронний ресурс
19. *Дорошенко А.Ю., Бекетов О.Г., Прусов В.А., Турчак Ю.М., Яценко О.А.* Формалізоване проектування та генерація паралельної програми чисельного прогнозування погоди // Проблеми програмування. – 2014. – № 2–3. – С. 72–81.
20. *Іваненко П.А., Дорошенко А.Ю., Овдій О.М., Суслова Л.М.* Автотьюнер та візуалізація для задачі метеорологічного прогнозування // Проблеми програмування – 2013. – № 4. – С. 64–73.

Одержано 09.04.2015

Про авторів:

Дорошенко Анатолій Юхимович,
доктор фізико-математичних наук,
професор, завідуючий відділом теорії
комп'ютерних обчислень Інституту програмних систем НАН України,

Іваненко Павло Андрійович,
молодший науковий співробітник
Інституту програмних систем
НАН України,

Овдій Ольга Михайлівна,
молодший науковий співробітник
Інституту програмних систем
НАН України,

Павлючин Тарас Олександрович,
студент кафедри автоматики та управління
в технічних системах Національного
технічного університету України
"Київський політехнічний інститут",

Вітряк Євгеній Андрійович,
студент кафедри автоматики та управління
в технічних системах Національного
технічного університету України
"Київський політехнічний інститут".

Місце роботи авторів:

Інститут програмних систем
НАН України.
03680, Київ-187,
Проспект Академіка Глушкова, 40.
Тел.: (044) 526 1538.

Національний технічний
університет України "КПІ".
03056, Київ-56,
Проспект Перемоги, 37.
Тел.: (044) 236 7989.
E-mail: dor@isofts.kiev.ua,
paiv@ukr.net,
olga.ovdiy@gmail.com,
pavlyuchin@ukr.net,
steplerbush@gmail.com