

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ОБ'ЄКТНО-РЕЛЯЦІЙНИХ ВІДОБРАЖЕНЬ ТА АНАЛІТИЧНОЇ ОБРОБКИ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Лагун А. Е.

Національний університет «Львівська політехніка», Україна

e-mail: andrii.e.lahun@lpnu.ua

Чушинська-Глибович Л. І.

Національний університет «Львівська політехніка», Україна

e-mail: liliana.i.chyshynska-hlybovych@lpnu.ua

АНОТАЦІЯ

В статті описано проблематику дослідження кліматичних умов та наведено опис сучасних інформаційних технологій, які надають можливість проектувати інформаційні системи моніторингу клімату з високою ефективністю, зокрема швидкодією та повнотою обробки даних. Особливий акцент автори пропонують зосередити на використанні інструментів для автоматичного зв'язку об'єктів у коді з таблицями бази даних на основі систем реального часу ORM, а також технологій OLAP, які за рахунок використання багатовимірних кубів збільшують швидкість обробки великих даних для кліматичних умов і підвищують ефективність обробки різновимірних даних. Розроблена інформаційна система моніторингу клімату, результати дослідження якої містяться в статті складається з компоненту у вигляді агрегованих наборів даних для ефективної обробки, бекенд-компоненту для їх обробки, фронтенд-компоненту для візуалізації роботи і аналітичного компоненту у вигляді OLAP кубів. Розроблена система може використовуватися для наукових досліджень екологічних параметрів і прогнозування характеристик систем моніторингу клімату, що дозволить наводити необхідні рішення та прогнози для боротьби з проблемою глобального потепління.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: інформаційна система моніторингу, кліматичні умови, прогнозування, система реального часу, OLAP технології, база даних, глобальне потепління, великі дані

1. ВСТУП

Майже всі люди цікавляться кліматичними умовами для комфортного існування, використовуючи абсолютно різноманітні методи для перевірки цього від візуального і чуттєвого спостереження, використання термометрів для вимірювання температури, пристроїв для вимірювання вологості та інших засобів. Проте більшість з нас використовує цифрові пристрої для перевірки погодних умов, мобільні телефони, ноутбуки, планшети, персональні комп'ютери, на яких встановлені різні сервіси, які постачають мобільні оператори та розробники різних веб-застосунків. Всі виробники мобільних телефонів випускають власне програмне забезпечення, яке містить заздалегідь встановлені програми для моніторингу погодних явищ.

Кліматичні умови впливають майже на всі аспекти життя суспільства, починаючи від джерел їжі і закінчуючи транспортною інфраструктурою. Клімат можна визначити як довгостроковий характер погодних умов у будь-якому місці Земної кулі. Він має значний вплив на людське існування, здоров'я та майбутній розвиток. Клімат планети змінюється завдяки людям, зокрема їхньому антропогенному впливу на природні умови. Варто зазначити, що останнім часом значно зріс вплив різних екологічних проблем на існування планети, пов'язаних із діяльністю людини. Адже проблема глобального потепління виникає через порушення вуглецевого балансу екологічних систем і вплив різних забруднюючих факторів, що призводить до непередбачуваних змін кліматичних умов.

Вплив клімату на суспільство і можливі кліматичні зміни вивчає кліматологія, яка, враховуючи прогнози погоди, допомагає визначити майбутні кліматичні очікування. Використовуючи різні методології, географічне положення, можна визначити ймовірності появи снігу, граду, кількість теплової енергії сонця, що буде доступна для певної території. Наукове дослідження кліматичних змін з визначенням середніх погодних умов за певний період часу використовує різні методи. Як приклад, палеокліматологія зосереджується на вивченні клімату протягом існування Землі за рахунок досліджень записів кілець дерев, місцезнаходження тв. Глибини залягання гірських порід та осадів, аналізу шарів льодовиків.

Кліматичні зміни визначаються місцезнаходженням району проживання і мають прямий вплив на життя людей, економіку і природні екологічні системи. Вивчення змін клімату та створення ефективних систем моніторингу кліматичних умов дозволяє зменшити негативний вплив екстремальних погодних явищ і забезпечити ефективне управління природними та антропогенними ресурсами. В найбільш загальному випадку можна стверджувати, що система моніторингу погодних умов повинна враховувати специфіку різних регіонів, які можуть відрізнятися як кліматичними умовами, так і соціально-економічними факторами. Наприклад, сільськогосподарські регіони, віддалені від водойм, можуть страждати від посух або граду, а прибережні регіони частіше стикаються з ризиками штормів та повеней. Такі особливості розташування визначають види завдань систем екологічного моніторингу, адже розуміння цих проблем зосереджують основну увагу на

важливості не лише аналізу кліматичних моделей, але й залученні даних від місцевих метеостанцій та супутникових систем спостереження за погодними умовами.

Інформаційна система для моніторингу кліматичних змін повинна забезпечувати своєчасний збір, обробку та аналіз даних, необхідних для прийняття оперативних рішень. При проектуванні варто звернути увагу на інформаційні системи, що використовують технології об'єктно-реляційного відображення (ORM), які дозволяють ефективно працювати з великими обсягами даних, зберігаючи їх у реляційних базах даних і забезпечуючи швидкий доступ до потрібної інформації. При відображенні технології ORM надають можливість створювати відповідність між класами в мові програмування та таблицями в базі даних, що збільшує швидкість обробки. Ще одна перевага технології дозволяє створювати, оновлювати, читати та видаляти дані, використовуючи об'єктне програмування, автоматично перетворюючи ці операції у відповідні реляційні запити, що створює процес ефективного маніпулювання даними: Інформація бази даних перетворюється у об'єкти, з якими буде працювати програма, що забезпечує якісну зворотну роботу з даними. В результаті використання технологій об'єктно-реляційного відображення відбувається зменшення обсягу коду, пов'язаного з роботою з базою даних, підвищується продуктивність розробки, зменшується кількість помилок при обробці інформації, збільшується переносимість між різними типами даних, з якими працюють СУБД [1]. Використання системи управління реляційними базами даних забезпечує стабільну та надійну роботу інформаційної системи, що є важливим аспектом для моніторингу погодних умов у режимі реального часу.

Ще однією характеристикою проектованої системи моніторингу є можливість інтеграції з зовнішніми джерелами даних, що дозволяє отримувати актуальну інформацію про погодні умови та кліматичні зміни в режимі реального часу [2]. Це є надзвичайно важливим для прогнозування короткострокових змін у вигляді різкої зміни температури або наближенні шторму. Дані з різних інформаційних джерел повинні бути оброблені для виявлення аномалій та інших потенційно небезпечних ситуацій. Для досліджень здійснюється використання класичних статистичних методів у вигляді регресійного аналізу та аналізу часових рядів, що надає можливість підвищення точності прогнозування та надійності роботи інформаційної системи моніторингу [3].

Аналізуючи сказане, можна стверджувати, що розробка системи моніторингу кліматичних змін вимагає інтеграції великої кількості різноманітних даних, їх ефективної обробки та візуалізації, а також забезпечення надійної та стабільної роботи системи в умовах реального часу. Використання технологій об'єктно-реляційного відображення, реляційних баз даних та інтеграції з ефективними програмними застосунками спостереження за кліматом дозволяє створити сучасні рішення, які відповідають вимогам різних категорій користувачів та забезпечити ефективний моніторинг і прогнозування погодних умов [4].

2. НЕДОЛІКИ

Існують різні підходи до прогнозування погодних явищ, які визначаються починаючи з відносно простого спостереження за небом до використання дуже складних комп'ютеризованих математичних моделей. Існують різні комп'ютерні застосунки, які можуть здійснювати моніторинг клімату, виявляти посухи, прогнозувати погодні небезпечні стихійні лиха для сільського господарства і виробництва. Точний прогноз погодних умов є складним завданням через динамічний характер атмосфери. Аналіз предметної області та відомих рішень щодо розроблення інформаційної системи моніторингу показав, що не всі існуючі додатки надають можливість з достатньою швидкістю обробляти великі обсяги даних та можуть інтегруватися з різноманітними джерелами даних. Також не у всіх випадках є зрозумілі засоби візуалізації, тому розроблення інформаційних систем моніторингу з використанням технологій об'єктно-реляційних відображень та аналітичної обробки в реальному часі надасть значні покращення досліджень кліматичних умов.

3. МЕТА РОБОТИ

Метою цієї статті є проведення аналізу засобів моніторингу погодних умов і різних програмних додатків, що використовують системи прогнозування змін клімату та проведення досліджень розробленої системи моніторингу, яка допоможе ефективніше виявляти проблеми глобального потепління через зміни клімату і вплив людини. В системі прогнозування мають використовуватися сучасні технології, що збільшують швидкість обробки за рахунок ефективної взаємодії об'єктно-орієнтованих мов програмування і систем управління базами даних, а також виконання обробки в реальному часі на основі OLAP- кубів.

4. РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ

Для проведення досліджень потрібно визначити найбільш важливі характеристики інформаційних систем для моніторингу кліматичних умов [5].

- 1) Існуючі веб- системи допомагають науковцям та суспільству краще розуміти складні процеси та показники зміни клімату, що дозволяє ефективніше реагувати на ці проблеми за рахунок більшої доступності та поглибленого розуміння.
- 2) Інформаційні системи моніторингу дозволяють збирати та аналізувати великі обсяги даних про кліматичні умови, що є особливо важливим для наукових досліджень і прийняття науково обґрунтованих рішень щодо вирішення проблем для суспільства, пов'язаних із зміною клімату та впливом глобального потепління.
- 3) Спроектовані веб- системи надають можливість зробити максимально ефективною співпрацю між науковцями, активістами, урядовими організаціями та громадськістю за рахунок обміну даними, інформацією та кращими практиками для пристосування до змін клімату.
- 4) Сучасні системи моніторингу докільця надають громадськості і відповідальним за прийняття рішень особам інструменти для формування науково обґрунтованих висновків щодо власного внеску в боротьбу зі зміною клімату. Ці висновки, як правило, включають пропозиції щодо вибору екологічних альтернатив, підтримки

політики, спрямованих на зменшення викидів парникових газів, та інших дій, пов'язаних з боротьбою із забрудненнями оточуючого середовища.

5). Існуючі системи моніторингу клімату допомагають відстежувати зміни в реальному часі і надають можливість розробляти стратегії для адаптації до нових кліматичних умов, що особливо важливо для зменшення ризиків і збереження життєздатності різних екологічних систем та покращення якості життя людства.

Для кращого розуміння процесів проектування інформаційних систем моніторингу кліматичних змін проведемо порівняльний аналіз відомих рішень. Існуючі веб-додатки в першу чергу збирають дані для досліджень, а також створюють умови для співпраці і прийняттю рішень, визначаючи шляхи для моніторингу та адаптації до зміни клімату.

Платформа Climate Data Analysis Tools допомагає дослідникам вивчати кліматичні процеси на нашій планеті. Основна увага зосереджена на можливостях досліджувати різні аспекти клімату і відслідковувати зміни температури, опадів, атмосферного складу та багатьох інших параметрів [6]. У процесі статистичного аналізу інформаційна система виконує різноманітні статистичні аналізи, зокрема аналіз трендів, змінних умов протягом певного періоду часу для визначеної території і кореляції. Для завантаження, обробки та перетворення кліматичних даних з різних джерел на платформі існує велика кількість різних інструментів. Важливою перевагою інформаційної системи є механізми візуалізації результатів аналізу у вигляді графіків, діаграм, карт і теплових карт, що допомагає дослідникам краще розуміти дані.

Веб-додаток Національної агенції управління з авіації і дослідження космічного простору NASA Worldview забезпечує взаємодію користувачів, дозволяючи вибирати не лише типи даних, але й різні параметри, що робить візуалізацію результатів кліматичних досліджень максимально гнучкою [7]. Інтерактивність та можливість спостереження за змінами в реальному часі є важливими механізмами для дослідників та звичайних користувачів.

Географічна інформаційна система OpenWeatherMap надає дані про погодні умови і створює середовище для співпраці. Наявність прикладного програмного інтерфейсу (API) для розробників створює можливості для інтеграції цих даних у різні додатки та сервіси. OpenWeatherMap створена британською компанією OpenWeather Ltd, яка надає глобальні екологічні дані за допомогою штучного інтелекту та машинного навчання. Основна спеціалізація компанії включає енергетику, логістику, сільське господарство та інші галузі промисловості. Для отримання інформації OpenWeatherMap використовує результати співпраці з метеорологічною службою та Національною агенцією з управління океанічними і атмосферними дослідженнями США, всесвітньою метеорологічною організацією і Європейським космічним агентством [8]. Глобальне покриття та інформація про екстремальні кліматичні події роблять OpenWeatherMap важливою системою для науковців, що вивчають зміни в кліматі і проблеми глобального потепління.

Основні функції веб-додатку Climate Explorer спрямовані на полегшення доступу до різноманітних кліматичних даних та їхньої візуалізації для користувачів. Варто звернути увагу на те, що при доступі до даних користувачі можуть легко отримувати інформацію про кліматичні дані з різних джерел, включаючи супутникові знімки, метеорологічні вимірювання та інші джерела. Для візуалізації даних і кращого розуміння кліматичних змін Climate Explorer дозволяє користувачам створювати графіки, карти та інші способи візуалізації [9]. Для ефективного аналізу змін клімату додаток надає можливість користувачам аналізувати та порівнювати дані про клімат в різних регіонах та в різних часових проміжках.

Інформаційна система прогнозування і моніторингу клімату (CPC) відома здатністю моніторити кліматичні умови по всьому світу, що включає спостереження за температурою, опадами та іншими кліматичними параметрами на глобальному та регіональному рівнях [10]. Діяльністю центру прогнозування є створення та публікування інформації про різноманітні кліматичні продукти, а саме картки та звіти, що включають дані про кліматичні зміни та тренди. Ця інформація є необхідною для науковців, дослідників та посадових осіб, що приймають рішення. CPC проводить спостереження за погодою та використовує їх для створення довгострокових кліматичних прогнозів, що допомагають передбачити екстремальні події, якими є засухи і повені.

Ще один інструмент Climate Data Store (CDS) Європейського центру середньострокових прогнозів спеціалізується на зберіганні та доступі до інформації про клімат. Веб-застосунок надає велику кількість даних, якими є результати спостережень та різноманітні результати моделювання. Сховище даних пропонує користувачам інтерактивний інтерфейс, що дозволяє користувачам звертатися до кліматичних даних та створювати власні звіти та статистичні аналізи [11]. Завдяки наявній великій кількості даних інформаційна система сприяє науковим дослідженням та розвитку моделей зміни клімату, надаючи науковцям доступ до важливих даних для аналізу та вдосконалення кліматичних моделей. Інформація, що міститься в сховищі даних доступна для значного кола користувачів, що надає можливість активістам, і зацікавленим особам вивчати та аналізувати дані про зміну клімату.

Розглянуті інструменти та інформаційні системи використовуються для розуміння і взаємодії з динамічними характеристиками клімату, роблячи їх невід'ємною частиною глобальних рішень для збереження навколишнього середовища та розвитку стратегій сталого розвитку при формуванні безпечного майбутнього суспільства.

Інформаційна модель об'єкта дослідження

Аналіз предметної області є першим кроком при розробці складної інформаційної системи, оскільки він дозволяє глибоко зрозуміти специфіку середовища, у якому система буде функціонувати. Предметна область

моніторингу погодних умов охоплює велику область наукових і практичних знань, що включає вивчення кліматичних процесів, застосування метеорологічних інструментів та технологій збору і обробки даних, а також сучасні інформаційні підходи до обробки й аналізу погодних даних.

Для побудови інформаційної системи моніторингу кліматичних умов створено структурну схему такої системи (рис.1). Архітектурні підходи до обробки великих кліматичних даних в сучасному світі визначають майбутнє технологічного розвитку. У зв'язку із значним зростанням обсягів доступних даних, дослідники вдосконалюють архітектурні рішення для оптимізації аналізу, обробки та зберігання цієї інформації. Централізовані архітектурні рішення дозволяють ефективно виконувати завдання обробки великих даних, структуруючи інформацію за конкретними параметрами, враховуючи паралельну обробку для збільшення швидкодії та масштабованості систем.

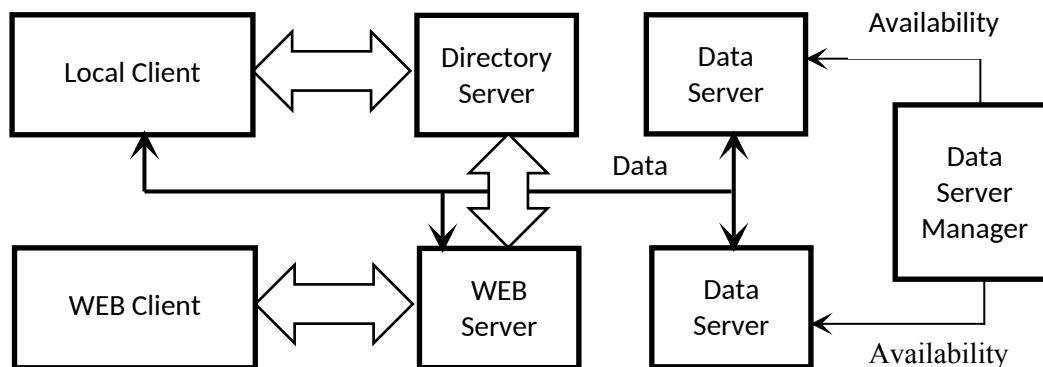


Рис. 1. Структура інформаційної системи моніторингу кліматичних даних

Для якісного прогнозування кліматичних змін потрібно класифікувати найбільш поширені інформаційні технології роботи з великими даними. Для проведення обчислень використовується модель програмування MapReduce, а для збереження даних – розподіленої файлової системи Hadoop Distributed Filesystem програмної платформи Apache Hadoop. При переході до роботи в реальному часі доцільно використовувати Apache Spark та Apache Flink, які забезпечують розподілену обробку в режимі реального часу з низькою затримкою. Концепція resilient distributed datasets дозволяє обробляти дані у пакетному і потоковому режимах для формування оновленої інформації. Apache Flink в свою чергу надає подійно-орієнтовану архітектуру для аналізу потоків даних і дозволяє використовувати цю технологію у вимогливих до часу задач, що аналізують кліматичні зміни. Технології машинного навчання використовуються для ефективного прогнозування та аналізу даних і знаходяться в бібліотеках TensorFlow та PyTorch, які надають інтерфейси для побудови та навчання моделей, що можна використовувати для завдань прогнозування кліматичних тенденцій на основі великих обсягів інформації.

Розробники інформаційних систем моніторингу клімату повинні вирішувати проблему вибору оптимального архітектурного підходу та технологічних інструментів для ефективного вирішення завдань обробки великих даних. В першу чергу потрібно визначити типи даних для обробки, які враховують різноманітність інформації. Кліматичні дані надходять від різноманітних сенсорів та метеостанцій і представлені у великих масивах часових рядів. Геопросторові дані, які визначають місцезнаходження кліматичних впливів, мають географічний контекст і визначаються певними координатами. Кліматичні дані є складною інформаційною структурою, яка охоплює різноманітні параметри та характеристики різних атмосферних явищ. Наприклад, для реалізації точних вимірювань температури використовують термометри, інфрачервоні термометри, термістори. Вологість атмосфери визначена як відсоток наявності водяної пари вимірюється гігрометрами та психрометрами. Важливо здійснювати аналіз розподілу вологості в різних шарах атмосфери для розуміння кліматичних змін та формування точних прогнозів. Іншими кліматичними даними для прогнозування є атмосферний тиск, що вимірюється барометрами, і опади, що впливають на оцінку водного балансу і вимірюються за допомогою дощомірів, а також з використанням радіолокаційних та акустичних методів.

Для проектування інформаційної системи спочатку потрібно визначити структуру кліматичних даних і джерела отримання наборів таких даних, популярних у світі, та їх особливості.

Набір даних від Joint Centre for Climate Change (JRC) містить глобальні температурні дані і призначений для дослідження та моніторингу глобальних змін клімату на глобальному рівні, забезпечуючи комплексну оцінку проблеми глобального потепління [12]. Інформація про температурні зміни отримується з різних джерел на суші і з термометрів, що розташовані на плавучих платформах та буях у водному середовищі. Найбільшою перевагою використання цього набору даних є географічне покриття, оскільки температурні зміни враховуються на всіх континентах. Набір даних від JRC охоплює значний періоди часу, що дозволяє дослідникам вивчати та виявляти довгострокові тенденції зміни клімату і краще розуміння природні та антропогенні фактори впливу.

Особливості набору даних ERA5 від Європейського центру середньострокових прогнозів є переаналіз даних про такі кліматичні параметри як температуру, вологість, атмосферний тиск та інші, а також надання

комплексного підходу до оцінки стану атмосфери та поверхні планети. Метод переаналізу визначається поєднанням реальних спостережень з числовими моделями для створення збалансованого та з високою роздільною здатністю зображення клімату на планеті [13]. Це дозволяє коригувати та узгоджувати спостереження з різних джерел для отримання об'єктивних кліматичних умов, що впливають на глобальне потепління. Висока просторова та часова роздільність даних ERA5 забезпечує високу точність, оскільки інформація на глобальному рівні отримується протягом кожної години з просторовою роздільністю до одного кілометра, що дозволяє слідкувати за короткостроковими подіями та динамікою атмосферних процесів.

Набір даних центру прогнозування Climate Prediction Center (CPC) містить інформацію та прогнози з різних кліматичних параметрів, якими є температура, опади та інші. Центр забезпечує роботу з науково узгодженими інформаційними ресурсами для вивчення та передбачення змін клімату, особливо з врахуванням сезонних коливань. Спектр зібраних даних враховує не тільки температурні показники, а й опади, що створює повну картину кліматичних умов для локальних і глобальних територій [10]. При аналізі сезонних змін в різні періоди року, отримана інформація може використовуватися в екологічних дослідженнях водних ресурсів, сільському господарстві та енергетиці для розробки стратегій адаптації та прийняття рішень. Важливою перевагою CPC є експертиза у вивченні ель-Ніньо та інших кліматичних явищ, які впливають на глобальні та регіональні кліматичні умови, що надають можливість дослідникам розробляти відповідні стратегії управління ризиками та прогнозувати можливі наслідки для певних регіонів.

Одним із найбільш використовуваних ресурсів для вивчення кліматичних змін та визначення їх впливу є набір даних Національної агенції управління з авіації та дослідження космічного простору NASA GISS Surface Temperature Analysis (GSTA). Інформація агентства складається з глобальних та регіональних даних температурних змін на планеті. Дані для досліджень кліматичних змін містять інформацію, що зібрана з великої кількості метеорологічних станцій, плавучих платформ та інших джерел. Однією з основних переваг є здатність аналізувати дані за тривалі періоди для визначення довгострокових прогнозів, що надає можливість спостерігати за змінами клімату, враховуючи небезпечні ризики [14]. Важливою перевагою є забезпечення високої точності та надійності результатів аналізу за рахунок використання різних математичних та статистичних методів коригування даних.

Ресурс оцінки клімату European Climate Assessment & Dataset (ECA&D) надає деталізовані дані про кліматичні умови в Європі з основним акцентом на європейський континент [15]. Набір даних визначений такими кліматичними параметрами, як температура, опади, сніговий покрив та іншими дозволяє вченим та дослідникам отримувати комплексну інформацію про різні кліматичні зміни, а деталізація даних дозволяє вивчати локальні особливості клімату на невеликих територіях. Стосовно тривалості досліджень ECA&D надає набори даних за тривалий період часу, що є значною перевагою над іншими наборами, яка полягає у довгострокових прогнозах. Наявні історичні дані надають дослідникам можливість вивчати еволюцію клімату та виявляти екстремальні події, які можуть вказувати на зміни в екологічних системах. Ще однією важливою перевагою даного ресурсу є відкритість та доступність, що створює колективні, командні можливості для ефективного вивчення кліматичних змін та їхніх впливів на планету та екологічну ситуацію.

Для дослідження глобальних температурних змін зручно користуватися набором даних від інформаційної системи Berkeley Earth, основною особливістю якого є відкритість, прозорість та доступність використаних даних. Глобальні дані про температуру представлені з високою точністю та деталізацією завдяки співпраці великого кола науковців для отримання результатів прогнозування. Висока роздільна здатність дозволяє вивчати температурні зміни на регіональні та локальні просторові рівнях [16]. Прозорість доступу до отриманих наборів даних забезпечує довіру до наборів даних ресурсу Berkeley Earth та дозволяє науковцям ефективно користуватися детальними відомостями щодо методології обробки та аналізу даних, а також перевіряти та повторювати експерименти і здійснювати свої кліматичні аналізи іншим дослідникам. Набір даних Berkeley Earth формується з використанням різних джерел інформації, зокрема даних вимірювань, що проводяться метеорологічними станціями, супутникових даних та інших даних, які в комплексі дозволяють створити достовірну карту температурних змін на планеті.

Ініціатива Європейської Комісії у вигляді платформи Copernicus Climate Change Service (C3S) забезпечує обробку великої кількості кліматичних даних про температуру, опади, силу вітру для вивчення та моніторингу змін клімату на глобальному та регіональному рівнях. Основною метою інформаційної системи є надання достовірної інформації для розуміння та адаптації до змін клімату. Висока роздільна здатність C3S є важливою характеристикою, яка надає деталізовану інформацію для виявлення різних варіацій у кліматичних умовах і визначення їх впливу на різні регіони планети [17]. Платформа використовує сучасні технології та методології для обробки та аналізу великих обсягів даних, що дозволяє надавати актуальну інформацію з врахуванням швидких змін клімату. Також C3S надає підтримку для таких галузей як сільське господарство і енергетики через надання адаптованих кліматичних інформаційних послуг і розробку стратегій та рішень, спрямованих на вирішення проблем глобального потепління.

Для досліджень та проектування інформаційної системи моніторингу кліматичних змін доцільно використати набір даних Global Historical Climatology Network (GHCN), розроблений Національною адміністрацією океанічних та атмосферних досліджень Кліматичними даними для аналізу є температура, опади, швидкість вітру та інші. Завдяки значному географічному поширенню набір даних GHCN охоплює різні регіони планети і надає інформацію з міських і з віддалених сільських районів, що дозволяє враховувати різноманітність кліматичних умов [18]. Температурні дані містять вимірювання повітряної та поверхневої температури, що дозволяє проводити аналіз теплових режимів в різних частинах світу. Інформація про опади визначає вологість

та насиченість опадів, що є важливим для досліджень водних ресурсів та екологічних систем, швидкість вітру дозволяють враховувати атмосферну циркуляцію та інші аспекти кліматичних умов. Тривалість отримання даних визначається значним періодом часу, що робить даний набір даних важливим інструментом для вивчення тенденцій кліматичних змін та їхнього розвитку.

Використання розглянутих наборів даних надає потужні інструменти для наукових досліджень, розробки стратегій адаптації та прийняття обґрунтованих рішень у зв'язку з глобальними кліматичними змінами, взаємодією між різними кліматичними факторами та прогнозуванням майбутніх тенденцій.

Для підвищення швидкості обробки кліматичних даних, зокрема швидкого різнопланового аналізу даних, використання здатності до маніпулювання і аналізу даних з різних джерел (температура, вологість, опади, швидкість вітру, географічне розташування) доцільно для проектування інформаційної системи скористатися технологією аналітичної обробки у реальному часі у вигляді OLAP кубів. Впорядкування даних у куби усуває обмеження реляційних баз даних, які не добре пристосовані для миттєвого аналізу та відображення великих обсягів даних.

Використання OLAP в аналізі великих кліматичних даних і вивченні змін клімату надає можливість використати інструменти для вивчення, аналізу та прийняття стратегічних рішень щодо кращого розуміння та управління кліматичними явищами. Зокрема, ефективна робота OLAP кубів з багатовимірними даними дозволяє включати такі різноманітні виміри як часові періоди, географічні координати і типи погодних явищ. Отже, для побудови інформаційної системи моніторингу створюються комплексні куби даних, які полегшують виявлення взаємозв'язків та шаблонів у зміні клімату.

Технології OLAP формують здатність системи реалізувати швидкий та ефективний доступ до великих обсягів даних. Аналітичні операції розділення, фільтрації і сортування надають можливість проведення детального аналізу різних аспектів зміни клімату і встановлення закономірностей та визначення можливих впливів. В даному контексті OLAP інтегрує дані з таких джерел як супутникові знімки, метеорологічні станції, дослідження і моделі, що створює повний обсяг інформації. Проведення аналізу даних за різними періодами часу дозволяє виявити тенденції зміни клімату в динаміці та прогнозувати кліматичні події в майбутньому. Наведені переваги OLAP кубів в аналізі кліматичних даних показують їх актуальність і дозволяють приймати обґрунтовані стратегічні рішення в галузі екології, управлінні ризиками та здійсненні різних природоохоронних заходів.

Для роботи з великими даними OLAP технології дозволяють забезпечити високу швидкість обробки та велику ефективність завдяки тривимірному поданню даних. OLAP підтримує аналітичні операції сортування, фільтрації, drill-down, roll-up, які забезпечують швидкий доступ до агрегованих та узагальнених даних. Дані для досліджень можна розглядати на різних рівнях деталізації, вибираючи більш ефективний рівень. Інформація в OLAP технологіях розглядається в багатовимірному поданні і вимірювальна категорія є віссю куба, зокрема для аналізу кліматичних змін можна використати такі виміри як температура, швидкість вітру, опади.

Використання OLAP кубів дозволяє організаціям виявляти тенденції змін даних та приймати кращі управлінські рішення на основі аналізу великих обсягів інформації.

Якщо розглядати характеристики технологій OLAP, то, в першу чергу варто зазначити, що це є програмне забезпечення для управління бізнес-ефективністю IBM Planning Analytics, розроблене для проектування рішень спільного планування, бюджетування, інтерактивного аналізу та прогнозування, створення аналітичних програм і звітів. Також OLAP куби є платформою для створення, управління та аналізу багатовимірних кубів даних з використанням служб SQL сервера і аналізу даних в реальному часі з використанням бази даних Oracle. І також варто відзначити використання в OLAP технологіях системи управління корпоративними даними SAP BW, що надає можливість збирати, зберігати, аналізувати та надавати доступ до великих обсягів інформації і є централізованим сховищем даних з усуненням розрізненості інформації узгодженістю даних, інтегрованою і масштабованою з іншими системами.

Всі механізми побудови OLAP кубів базуються на технологіях реляційних та багатовимірних баз даних, зокрема Relational OLAP використовує реляційні бази даних для зберігання даних і SQL-запити для аналізу. Механізм Multidimensional OLAP дозволяє ефективно користуватися багатовимірними кубами за рахунок зберігання даних у спеціалізованих багатовимірних базах даних. Для пришвидшення процесу аналізу і зберігання деталей великих даних використовується гібридний механізм Hybrid OLAP, який поєднує переваги описаних вище двох механізмів.

Для проектування інформаційної системи моніторингу кліматичних змін було використано такий аналітичний компонент, характерний для OLAP технологій:

- розробка механізмів для з'єднання та імпорту даних з підключенням до таких джерел даних як бази даних, API, архіви з можливістю імпорту та трансформації даних;
- забезпечення можливості визначення ієрархій у кубах для більш детального розгляду даних на різних рівнях і реалізація системи мультимодульних кубів для аналізу різнорідних даних клімату (часових, географічних);
- використання у інтерфейсі різних графіків та діаграм для ілюстрації найбільш важливих даних з кубів, а також розробка географічних представлень для вивчення просторових взаємозв'язків у вигляді карт;
- створення гнучких таблиць для відображення даних з можливістю сортування та фільтрації і використання сіток даних, які надають можливість аналітикам виконувати агрегацію, розрахунки та інші операції з даними;
- використання зручних інструментів для вибору конкретних зрізів даних та застосування фільтрів з розробленням системи агрегацій та ефективного виконання розрахунків для вмісту кубів з підтримкою мов запитів MDX та SQL для надання можливостей аналітикам створювати складні аналітичні запити.

– покращення оптимізації запитів із застосуванням механізмів кешування для збереження результатів запитів та підвищення швидкодії.

Практична реалізація інформаційної системи моніторингу клімату

В розробленій системі є такі компоненти як агреговані набори даних, бекенд для їх обробки, фронтенд для візуалізації роботи і аналітичний компонент [19]. Програма обробки даних відповідає за імпорт та об'єднання інформації з різних джерел і робить дані готовими для подальшого використання. Бекенд-компонент взаємодіє з програмою обробки даних, забезпечує обмін даними і зберігає оброблену інформацію у базі даних, надаючи основу для взаємодії з фронтендом. Фронтенд-компонент візуалізує оброблені дані та створює інтерактивний інтерфейс для користувача. Компонент агрегованих наборів даних об'єднує та обробляє дані з різних джерел, виконує агрегаційні операції і формує єдиний набір даних, який буде використовуватися для подальшого аналізу та візуалізації.

Компонент агрегованих наборів даних.

Насамперед надає можливість імпорту даних з таких джерел як CSV, JSON, бази даних і реалізує механізми автоматичного або ручного оновлення даних з актуальних джерел [20]. Також створює механізми для об'єднання даних з різних джерел в єдиний набір і усуває розбіжності у форматах та структурах даних для забезпечення узгодженості. Наступною важливою характеристикою частини підготовки даних є виявлення та виправлення помилок у вигляді пропущених значень або невірних типів даних, очищення невірних і зайвих даних для підтримки високої якості та точності. Для формування агрегованого набору даних використовуються алгоритми для вибірки необхідних даних з об'єданого набору відповідно до вимог користувача або бізнес-правил і забезпечується виконання агрегаційних операцій для обчислення статистичних показників. Завершальною частиною функціонування розглянутого компоненту є створення документації для опису структури агрегованих даних і реалізація механізмів моніторингу для забезпечення стабільної роботи.

Програма обробки даних.

Під час розроблення програмного інтерфейсу забезпечується можливість обробки різних форматів даних у запитах, а саме JSON або формат з вкладеними об'єктами і підтримка механізмів паралельної обробки для швидкого виконання одночасних запитів на вибірку та агрегацію даних з кешуванням для збереження результатів часто повторюваних запитів. Після детального аналізу бізнес-вимог здійснюється вибір бази даних, що найкраще відповідає потребам системи (реляційна, нереляційна, чи їх комбінація). Далі важливою частиною є створення індексів та механізмів оптимізації бази даних для підвищення швидкодії запитів. Наступною частиною, яку виконує бекенд є реалізація бізнес-логіки із формуванням конфігурованих правил і реалізація модульної системи для простоти розширення та зміни бізнес-логіки без значних модифікацій коду. Забезпечення моніторингу передбачає ведення журналу подій для моніторингу роботи бізнес-логіки та розробку засобів для аналізу продуктивності роботи інформаційної системи та виявлення можливих точок оптимізації. Ще одним завданням бекенду і впровадження системи тестування модулів для перевірки коректності реалізації бізнес-логіки і забезпечення налагоджувальних інструментів для ефективного виявлення та усунення помилок. Завершальною частиною роботи програми обробки даних є підтримка масштабування, зокрема використання архітектури, яка підтримує горизонтальне масштабування для забезпечення високої доступності та швидкодії при збільшенні обсягів даних, а також оптимізація ресурсів через розробленням оптимізованих алгоритмів для управління пам'яттю та процесами для зменшення споживання ресурсів сервера і вдосконалення запитів до бази даних для забезпечення ефективності обробки великих даних.

Фронтенд-компонент.

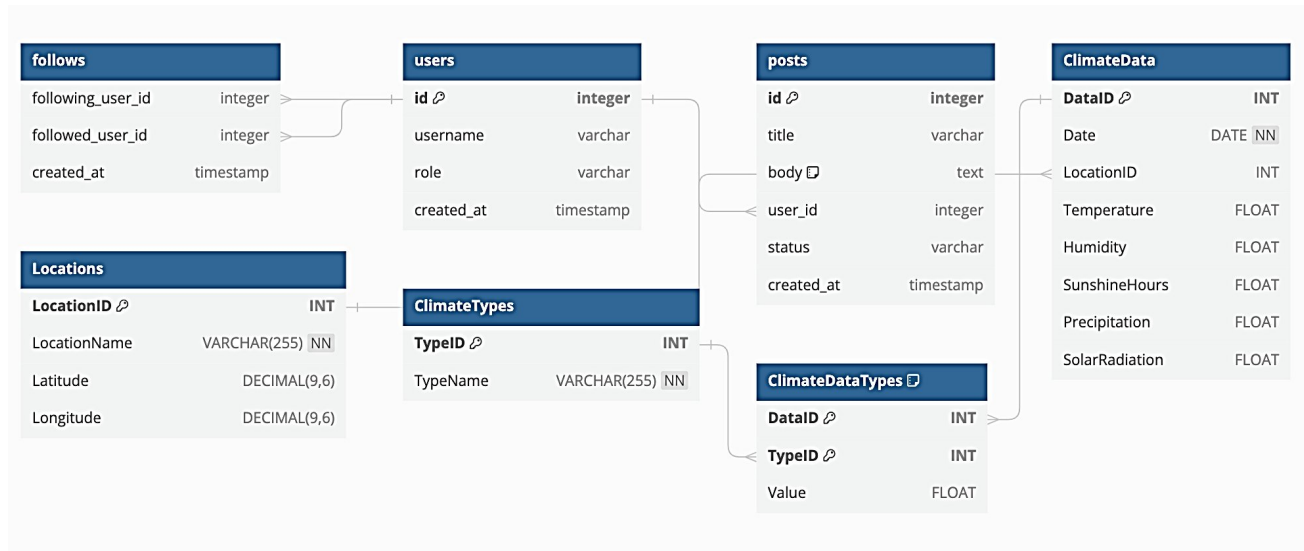
Найбільш важливою частиною роботи фронтенду є візуалізація інформації, зокрема розроблення інтерактивних графіків для масштабування, перетягування та фільтрування даних в реальному часі і додавання анімації для виділення змін у динаміці даних, кращого розуміння, а також побудова інтерактивних карт з використанням бібліотеки Leaflet та інших для розробки карт, де користувач може детально вивчати кліматичні дані. Для досліджень створюється можливість включення різних шарів та розміщення маркерів за допомогою яких користувач може отримати додаткову інформацію. В інформаційній системі реалізовано інтуїтивний та зручний інтерфейс, що забезпечує простоту використання, і адаптивний дизайн із зручним доступом до інформації на різних пристроях та екранах. Розроблений функціонал дозволяє використовувати параметризовані вибірки і надає можливість користувачам вибирати параметри відображення у вигляді періоду часу чи географічних областей, а також користуватися функціями фільтрації та сортування для зручного аналізу конкретних частин даних. У компоненті реалізовано розширений пошук для швидкого та зручного знаходження конкретних даних і додано аналітичні інструменти у вигляді статистичні показники та створення можливості порівняння даних. Візуальний дизайн спроектованої системи моніторингу містить вибір кольорової палітри та типографіки, що забезпечує читабельність та зручність сприйняття інформації, а також полегшує взаємодію користувача з інтерфейсом. Описані деталізовані функції та підходи створеного фронтенд-компоненту показують інтуїтивність, ефективність та естетичність інтерфейсу, який надає користувачам актуальну та корисну інформацію.

5. ЕКСПЕРТИМЕНТИ

База даних розроблена з метою збору, зберігання та аналізу великого обсягу кліматичних даних для дослідження кліматичних умов протягом тривалого періоду часу. Під час проектування бази даних,

використовувалися ідеї та концепції для забезпечення значного діапазону різноманітних даних та ефективного їх використання. Зокрема основний акцент визначався так (рис. 2).

1. База даних розрахована на збирання різноманітних кліматичних даних у вигляді температури, вологості, кількості сонячних годин, опади, що вказує на багатовимірність даних.
2. Для точності місцезнаходження та актуальності інформації дані пов'язані з розташуванням станцій вимірювань і таблиця розташувань містить географічні координати та інформацію про місця вимірювань.
3. Для зв'язування даних використано ключі, що забезпечують ефективний доступ і швидкий аналіз даних, що . показує зв'язок з конкретним розташуванням і типом кліматичних параметрів.
4. Введена можливість додавання нових типів кліматичних даних без змін в основних таблицях показує



гнучкість і можливість до розширення спроектованої бази даних.

Рис. 2. Діаграма спроектованої бази даних

База даних призначена для використання в глобальних дослідженнях клімату та допоможе в розкритті зв'язків, які можуть допомогти вирішувати проблеми, пов'язані з глобальним потеплінням. Дана база даних була конвертована в OLAP куб для дослідження аналітики даних.

База даних спроектована з урахуванням OLAP технологій, де основні параметри клімату розглядаються як осі куба, що дозволяє швидко та ефективно аналізувати дані за різними вимірюваннями. Для забезпечення швидкого доступу до великих обсягів даних в базі даних використано механізми індексації та оптимізації запитів, що важливо при роботі з OLAP кубом. Заздалегідь розраховані агреговані та сумарні дані, які оновлюються, підтримують швидке виконання агрегованих запитів у базі даних. Використані OLAP-системи Microsoft Analysis Services містять технології конвертації даних про кліматичні умови. Ці системи також реалізують ряд оптимізацій для швидкого аналізу даних. Процес ETL (Extract, Transform, Load): Перед перетворенням у OLAP куб в інформаційній системі використовується процес «видобування, трансформування, завантаження» (ETL) для обробки даних, зокрема очищення даних, об'єднання таблиць, створення агрегованих значень для підготовки даних для аналізу в OLAP системі.

Після аналізу та трансформації кліматичних даних виявлено ключові фактори, а саме основні факти, що включають температуру, вологість, кількість сонячних годин, опади та сонячну радіацію. Ці фактори є критичними для розуміння кліматичних змін та впливу на глобальне потепління. Для ефективного аналізу дані були організовані у вигляді основних таблиць ClimateFacts, Locations, TimeDimensions та ClimateTypes. Інформація про температуру, вологість і сонячну радіацію міститься у таблиці ClimateFacts з високим рівнем деталізації. Таблиця FactDimensions містить зв'язки між значеннями розташування, часу та типами кліматичних даних. Таким чином, спроектована база даних надає можливість продуктивно вивчати кліматичні фактори, виявляти зв'язки та тенденції у змінах клімату з врахуванням значних часових параметрів, зокрема у контексті проблем глобального потепління.

6. ВИСНОВКИ

З проведеного аналізу даних, які характеризують кліматичні умови встановлено, що ці дані можна класифікувати за двома факторами: місцезнаходженням, що визначається геопосторовими даними і кліматичними даними, які надходять від різноманітних сенсорів та метеостанцій і, в найпростішому випадку, є результатами вимірювання температури, вологості, інтенсивності опадів, швидкості вітру. Для підвищення ефективності роботи інформаційних систем моніторингу кліматичних умов, які працюють з великими даними, що надходять від великої кількості метеостанцій, при проектуванні було використано OLAP технології, які використовують для представлення різноманітної інформації багатовимірні куби, підвищуючи швидкодію і покращуючи процес зберігання деталей великих даних. Спроектована інформаційна система моніторингу

клімату містить такі компоненти як агреговані набори даних для ефективного представлення вхідної інформації, бекенд частину для обробки цієї інформації і фронтенд для візуалізації даних, зокрема формування звітів, побудови графіків і діаграм, відображення результатів досліджень на карті. База даних системи спроектована з урахуванням OLAP технологій, де основні параметри клімату розглядаються як осі куба, що дозволяє швидко та ефективно аналізувати різномірні дані у вигляді температури, вологості, опадів та швидкості вітру. Для підвищення швидкого доступу до великих даних в базі даних використовуються операції індексації. Спроектована інформаційна система моніторингу кліматичних змін дозволяє вивчати кліматичні фактори, виявляти тенденції у змінах клімату для різних регіонів і здійснювати суспільством заходи для боротьби з проблемою глобального потепління.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що фінансових чи інших потенційних конфліктів щодо цієї роботи немає.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дзюбенко А. П. *Технології аналізу даних в екологічному моніторингу* / А. П. Дзюбенко. – Дніпро: ДНУ, 2021. – 340 с.
2. Шульга О. О., Ткачук В. М. *Основи програмування екологічних систем* / О. О. Шульга, В. М. Ткачук. – Вінниця: Універсум, 2018.
3. A. Lagun, N. Kukharska, “Using the information technologies for quality monitoring of different environmental impacts on humanity life”, *Contemporary technologies and society innovations, artificial intelligence, and challenges*, Eds., Katowice, Poland: The University of Technology in Katowice Press, 2023, pp. 585-592.
4. Лагун А. Е., Кухарська Н. П., Курта І. В. Розробка та дослідження інформаційної системи для аналізу зміни клімату // *Комп'ютерні технології друкарства*. – 2022. – № 1 (47). – С. 37–48.
5. Fighting air inequality through open data. (2025). [Online]. – Available: <https://openaq.org/>
6. Climate Data Analysis Tools & Methods, 2025. [Online]. Available: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-tools>
7. NASA Worldview, 2025. [Online]. Available: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>
8. OpenWeather. Weather forecasts, nowcasts and history in a fast and elegant way, 2025. [Online]. Available: <https://openweathermap.org/>
9. The Climate Explorer. Explore how climate is projected to change in any county in the United States, 2025. [online]. Available: <https://crt-climate-explorer.nemac.org/>
10. Climate Prediction Center, 2025. [online]. Available: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>
11. Climate Data Store. [online]. Available: <https://cds.climate.copernicus.eu/>
12. JRC portfolios A-Z, 2025. [Online]. Available: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-science-and-knowledge-activities/jrc-portfolios-z_en
13. ECMWF Reanalysis v5 (ERA5), 2025. [online]. Available: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5>
14. NASA. National Aeronautics and Space Administration Goddard Institute for Space Studies, 2025. [online]. Available: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>
15. European Climate Assessment & Dataset, 2025. [online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/external/european-climate-assessment-and-datasets-2>
16. Berkeley Earth. Data Overview, 2025, [online]. Available: <https://berkeleyearth.org/data/>
17. Copernicus Climate Change Service, 2025. [online]. Available: <https://climate.copernicus.eu/>
18. Global Historical Climatology Network, 2025, [online]. Available: <https://catalog.data.gov/dataset/global-historical-climatology-network-daily-ghcn-daily-version-32>
19. Пархоменко В. М. *Розробка програмних засобів моніторингу та прогнозування екологічної безпеки* / В. М. Пархоменко. – Львів: Видавництво ЛНУ, 2019.
20. Earth Engine Data Catalog. (2024). A planetary-scale platform for Earth science data & analysis. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets>

Лагун Андрій Едуардович

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра інформаційних систем і технологій

Інститут просторового планування і перспективних технологій

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

E-mail: andrii.e.lahun@lpnu.ua

Контактний тел.: +38 097 4577515

Кількість статей у загальнодержавних базах даних – 40

Кількість статей у міжнародних базах даних – 7

Номер ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7856-9174>

Andrii Lagun
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Department of Information Systems and Technologies
Institute of Spatial Planning and Advanced Technologies
Lviv Polytechnic National University
12 Bandera St., Lviv, Ukraine, 79013
E-mail: andrii.e.lahun@lpnu.ua
Contact tel.: +38 097 4577515
The number of articles in national databases - 40
The number of articles in international databases – 7
Number ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7856-9174>

Чишинська-Глибович Ліліана Ігорівна
Кафедра економіки і маркетингу
Інститут просторового планування і перспективних технологій
Національний університет «Львівська політехніка»
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013
E-mail: liliana.i.chyshynska-hlybovych@lpnu.ua
Контактний тел.: +38 093 8212587
Кількість статей у загальнодержавних базах даних – 3
Номер ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8591-233X>

Liliana Chyshynska-Hlybovych
Department of Economics and Marketing
Institute of Spatial Planning and Advanced Technologies
Lviv Polytechnic National University
12 Bandera St., Lviv, Ukraine, 79013
E-mail: liliana.i.chyshynska-hlybovych@lpnu.ua
Contact tel.: +38 093 8212587
The number of articles in national databases - 3
Number ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8591-233X>