

С.В. Мінухін, М.Г. Сизранцев

Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця, Харків

ОПТИМІЗАЦІЙНА МОДЕЛЬ РОЗТАШУВАННЯ ТА ПОСТАЧАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОСТОРОВИХ ДАНИХ

Проаналізовано характеристики просторових даних, моделі просторових даних та типи запитів до них. Розглянуто метод розміщення кліматичних даних PRISM. Для доступу до даних запропоновано архітектуру Entity Framework 6. Розроблено модель знаходження можливих джерел альтернативної енергії на базі сучасних інформаційних технологій. Розв’язок задачі оптимізації постачання енергії споживачам реалізовано алгоритмом Дейкстри з використанням SQL Builder API та функцій Entity Framework.

Ключові слова: ГІС, просторові дані, альтернативні джерела енергії, Entity Framework 6, Azure SQL Database, PRISM, алгоритм Дейкстри.

Вступ

Постановка завдання. В даній статті запропоновано модель розв’язку задачі знаходження можливих джерел альтернативної енергії. Метою розробки моделі є знаходження найприйнятніших місць для розміщення видобувного обладнання біля альтернативних джерел енергії та оптимізації постачання добутої електроенергії від джерела до споживачів.

Для досягнення поставленої мети пропонується вирішити такі задачі:

1. Розробити метод перетворення даних з PRISM Climate Group в таблиці просторової бази даних.
2. Розробити модель знаходження найприйнятніших місць для розміщення видобувного обладнання відповідно до типу альтернативної енергії.
3. Розробити алгоритм пошуку оптимальних маршрутів постачання енергії від альтернативних джерел енергії до споживачів.

Розроблена модель представлена на рис. 1.

Аналіз просторових даних та роботи з ними

Різноманіття публікацій щодо просторових даних та баз даних [1–2] підтверджує необхідність взаємодії між різними галузями знань, такими як інформаційні технології та ГІС. Існують різні області знань, які вимагають управління географічними, геометричними та просторовими даними [3].

Просторові дані представляють собою багатовимірні дані з точками, поверхнями та лініями, які складаються зі списку чисел у певній системі координат. З розвитком ІТ-технологій існуючі інформаційні технології розширили своє застосування у географічних інформаційних системах, сховищах даних і системах спостереження NASA [4].

Просторові дані підтримують 3 геометричні примітиви та об’єкти, що складаються з колекцій цих типів. До них відносяться (рис. 2) [5]:

1. 2D точка і групи точок.
2. 2D рядок.
3. 2D N-точковий полігон.



Рис. 1. Модель пошуку альтернативних джерел енергії



Рис. 2. Примітивні просторові типи

Просторові дані можуть зберігатись лише в СУБД, які підтримують просторові дані. Наприклад: PostgreSQL за замовчуванням не підтримує просторові дані, але завдяки інсталяції компоненту PostGIS [6] це можливо. Цей компонент дозволяє виконувати SQL-запити для взаємодії з географічними об'єктами бази даних.

До моделей просторових даних відносяться:

1. Ієрархічна.
2. Реляційна.
3. Об'єктно-орієнтована.

В ієрархічній моделі просторові дані представляють собою елементи, геометричні об'єкти та шари. Шари об'єднують геометричні об'єкти, які у свою чергу складаються з елементів. Кожний геометричний об'єкт асоціюється з просторовим індексом, який зберігається в базі даних і показує в якому шарі знаходиться геометричний об'єкт. Просторовий індекс також потрібен для більш швидкого виконання запитів. Геометричний об'єкт зберігає елементи в упорядкованому вигляді та має унікальний ідентифікатор – числовий ідентифікатор геометрії (GID) [5].

Реляційна модель представляє собою модель SQL-запитів.

Об'єктно-орієнтована модель даних розглядає світ як поверхню, вкриту об'єктами, які розпізнаються (річки, дороги), та які існують незалежно від їх місця розташування. Так як основою є об'єкт, то в ньому одразу зберігаються дані про напрямок, швидкість та інша інформація [5].

Більшість існуючих СУБД об'єднують декілька моделей просторових даних (наприклад, Oracle, PostgreSQL).

Консорціумом Open Geospatial Consortium (OGC) розроблено стандарт типів даних та функцій, які повинні підтримувати мови високого рівня для роботи з просторовими даними. Багато з мов, які відповідають цьому стандарту, є SQL-подібними: HiveQL, Secondo SQL, Contextual Query Language (CQL) та Array Query Language (AQL) [1].

Більшість стандартів OGC використовуються для середовища веб-сервісів – це стандарти, спільно іменовані OGC Web Services (OWS). OGC Web Services показує, як можуть взаємодіяти декілька просторових баз даних.

Запити до просторових даних можуть бути:

1. Базові: запит на проміжок і “k nearest neighbor” (kNN) запит, або як його ще називають пошук найближчих сусідів.

2. Об'єднуючі запити: запит на просторовий join та kNN join.

3. Запити обчислення геометрії: запит на об'єднання полігонів та перетин полігонів.

4. Запити на інтелектуальний аналіз даних: запит на кластеризацію та на класифікацію даних.

5. Запити на операції з растровими зображеннями: запит на якість зображення.

Архітектура СУБД впливає на типи запитів: наприклад: Hadoop спрямований на аналіз операцій, таких як kNN join та просторовий join, HBase більш підходить для базових запитів [7].

Характеристики, які впливають на вибір набору просторових даних:

1. Зміна в часі. Наприклад: географічні дані дуже повільно змінюються в часі, порівняно з метеорологічними даними.

2. Спосіб подання даних до кінцевих споживачів. Наприклад: географічні дані про адміністративний поділ, розташування місць, рельєфу і гідрографії дуже корисні робітникам метеорологічних служб для відображення погоди.

3. Точність даних. В залежності від масштабу карти (дрібномасштабна, середньомасштабна, великомасштабна) треба обирати відповідні дані [7].

Аналіз методів розміщення кліматичних даних PRISM

Впровадження географічних інформаційних систем (ГІС) дало можливість комбінувати різні географічно прив'язані змінні і параметри таким чином, що їх можна використовувати для оцінки метеорологічних і кліматологічних змінних. Цей потенціал був визнаний European Climate Support Network (ECSN) [8].

Всі просторові методи засновані на математичних методах. Перш, ніж обирати той чи інший алгоритм просторової інтерполяції, треба розглядати інтерполяцію даних, обмеження методів та характеристики явищ, які мають бути проаналізовані.

Просторові методи можна розділити на декілька категорій:

1. Детерміновані методи.
2. Ймовірнісні методи.
3. Фізичні методи.
4. Штучні нейронні мережі.
5. Гібридні методи.

Серед гібридних методів в метеорології та кліматології широко застосовується метод PRISM (Parameter Regression on Independent Slopes Model) метод, який використовує переваги місцевого кліматично-рельєфної регресії для кожної сітки-точки [9]. Важливу роль відіграють спостережні станції, розташування яких визначено шляхом з урахуванням просторових даних про зміну кліматичних умов та, особливо, метеорологічних умов між кожним секто-

ром карти. Наприклад, такі характеристики, як вид місцевості, відстань до берега. Метод також включає в себе двошарову репрезентацію атмосфери для того, щоб подолати температурні інверсії. Так як метод включає в себе багато параметрів, це вимагає наявності інформації щодо кліматичних умов з боку користувачів, а також доступу до зовнішніх наборів даних. Метод PRISM найкраще себе проявляє у районах з розсіяною мережею станцій, відносно низькими градієнтами опадів, і дуже добре в тих областях, де мережа станції знаходиться на території без зміни рельєфу місцевості [7].

Модель знаходження можливих джерел альтернативної енергії

Розв'язок задачі знаходження можливих джерел енергії є важливим з точки зору зменшення викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище.

Місця розміщення обладнання для видобування альтернативної енергії повинні мати такі характеристики:

1. Для сонячної енергії – показники найбільшої середньорічної температури, найменшої кількості середньорічних опадів, найвищої точки над рівнем моря.
2. Для вітрової енергії – показники найбільшої середньорічної швидкості вітру.
3. Для гідроенергії – показники найбільшої середньорічної швидкості вітру, найвищого перепаду висоти над рівнем моря, знаходження біля річки.
4. Для геотермальної енергії – знаходження в області навколо країв континентальних плит (бажано недалеко від вулканів).
5. Для енергії приливів – знаходження біля берегів моря.

Однією з задач є перетворення знайдених секторів, в яких можливе розміщення обладнання, в точки на плоскому графі для пошуку найкоротшої відстані від місця видобутку альтернативної енергії до місця споживання.

Так як точок на графі може бути кілька сотень, (тисяч), це призводить до необхідності введення максимальної відстані пошуку споживачів від джерела альтернативної енергії.

Споживачі альтернативної енергії повинні:

1. Перебувати у відомому на карті населеному пункті, до якого ведуть електричні стовпи.
2. Знаходитись від місця видобування альтернативного джерела енергії не більше, ніж за 8 км [10].
3. Мати електричні стовпи в населеному пункті.

Розв'язок задачі знаходження можливих джерел альтернативної енергії пропонується виконати в 4 етапи.

Етап 1. Завантажити дані з PRISM Climate Group [11] та перетворити їх в таблиці просторової бази даних.

Етап 2. Знаходження найбільш прийнятних місць розміщення обладнання для видобування альтернативної енергії за критеріями, наведеними в математичній моделі.

Етап 3. Перетворення знайдених місць в точки майбутнього графа.

Етап 4. Побудова дерева найкоротших шляхів у плоскому графі G від кожного знайденого місця до споживачів за алгоритмом Дейкстри [12]. Вагами ребер графу є відстані від знайденого місця видобутку енергії до споживача.

В якості бази даних було обрано Azure SQL Database [13]. У 2008 р. Microsoft випустила СУБД SQL Server, яка має просторові типи, функції та індекси та має повну підтримку просторової функціональності у всіх версіях SQL Server. Сервіс Azure SQL Database використовується як PaaS (Platform as a Service) або DBaaS (Database as a Service), яка оптимізована для розробки програм на платформі SaaS (Software as a Service) [14]. Це забезпечує сумісність з більшістю функцій SQL Server. Оплата за використання Azure SQL Database відбувається за час зберігання даних з опціями для зміни розміру сховища або для більшої потужності без переривання роботи бази даних. Також Azure SQL Database надає можливість доступу до серверу з локальних програм для їх розгортання [13].

В якості основної мови програмування обрано C#, за допомогою якої реалізовано алгоритми побудови та пошуку оптимальних маршрутів постачання електроенергії. Так як працювати напряму з базою даних в коді складно, для розробки моделі було обрано Entity Framework 6 – об'єктно-орієнтовану технологію доступу до даних для .NET Framework від Microsoft [14].

Архітектура Entity Framework складається з таких компонентів (рис. 3) [14].

EDM (Entity Data Model – модель даних з використання сутностей) складається з трьох основних частин: концептуальної моделі (Conceptual model), відображення (Mapping) та моделі зберігання (Storage model). Концептуальна модель містить модель класів і їхні взаємовідносини, що дозволяє абстрагуватися від структури таблиці бази даних.

Відображення складається з інформації про те, у якому вигляді концептуальна модель знаходиться в моделі зберігання.

Модель зберігання даних – модель проектування бази даних, яка містить таблиці, представлення, збережені процедури і їх відносини та ключі.

LINQ to Entities (L2E) – мова запитів, що використовується для написання запитів до об'єктної

моделі. Вона повертає сутності, визначені в концептуальній моделі.

Entity SQL – мова запитів, яка дозволяє робити запити до концептуальної моделі. Мова Entity SQL дозволяє керувати великою кількістю об'єктів у графі.

Object Services (об'єкт обслуговування) – основна точка входу доступу до даних і повернення їх до бази даних. Об'єкт обслуговування відповідає за матеріалізацію, яка являє собою процес перетворен-

ня даних, отриманих від провайдера даних сутностей клієнта (наступний шар) до структури сутностей об'єкта.

Entity Client Data Provider – перетворення L2E або запитів Entity SQL в SQL-запити, які «зрозумілі» базі даних. Він зв'язується з постачальником даних ADO.NET, який, в свою чергу, надсилає або отримує дані з бази даних.

ADO.Net Data Provider взаємодіє з базою даних з використанням стандартного ADO.Net [14].

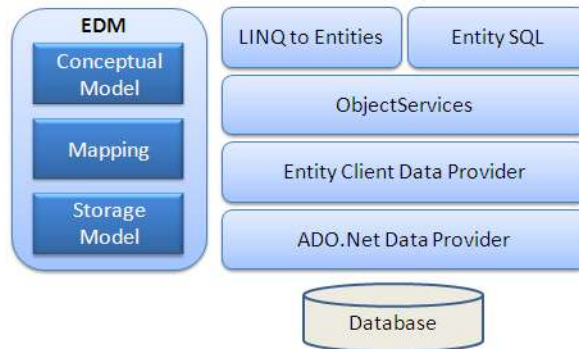


Рис. 3. Архітектура Entity Framework 6

Отже Entity Framework дозволяє:

1. Працювати з просторовими типами даних у вигляді властивостей класів і створювати зв'язок з просторовими стовпцями в базі даних.

2. Створювати LINQ (Language Integrated Query) запити, які використовують просторові оператори для фільтрації, сортування та групування на основі просторових обчислень, що виконуються в базі даних.

В Entity Framework використовується 2 основних типи просторових даних:

1. Географічні дані (DbGeography) – зберігають еліпсні дані, наприклад, GPS дані широти та довготи.

2. Геометричні дані (DbGeometry) – зберігають дані в евклідовій системі координат.

Так як дані зберігаються в базі даних у вигляді точок, то для побудови графу відстаней від альтернативного джерела енергії до споживачів потрібно знайти відстань між його окремими точками. Для цього використана функція Entity Framework STDistance() [15], яка повертає найкоротшу дистанцію між 2 точками, які є екземплярами геометричного типу даних.

Для побудови ребер графу обраний SQL Builder API [16] – множина інтерфейсів і класів, яка дозволяє побудувати просторові типи, обравши базову точку, а потім додавати наступні точки. SQL Builder API дозволяє не тільки створювати нові екземпляри просторових даних, а й використовувати наявні екземпляри точок. В SQL Builder API є можливість перетворення екземплярів просторових даних в інший формат. Серед усіх функцій використано функ-

цію AddLine(), яка будує ребро між 2 точками та представляє собою LineString [15] – одновимірний об'єкт – послідовність точок і відрізків, що з'єднують точки.

Так як просторовими даними можна працювати як з геометричними об'єктами, то к ним можна застосовувати алгоритми на графах. Для оптимізації маршрутів на побудованому графі постачання електроенергії від місця розташування можливих місць видобутку альтернативних джерел енергії до споживачів було обрано алгоритм Дейкстри – знаходження найкоротшого шляху в неорієнтованому графі, який має малу обчислювальну складність та може використовуватися для графів великої розмірності [12].

Результати експериментального дослідження

Для реалізації запропонованої моделі пошуку альтернативних джерел енергії були використані дані по кліматичним умовам та існуючим місцям видобування електроенергії з альтернативних джерел енергії в США [11; 17].

Розроблена модель дозволила отримати результати, представлені на рис. 4 (південно-західна територія США). Інформація про населені пункти, що зображені на рис. 4, приведена у табл. 1, дані про елементи на рис. 4 – у табл. 2.

Виходячи з рис. 4, можна зробити висновок, що оптимальним маршрутом постачання енергії буде маршрут від міста Death Valley, який знаходиться на відстані 4330 м до джерела альтернативної енергії.

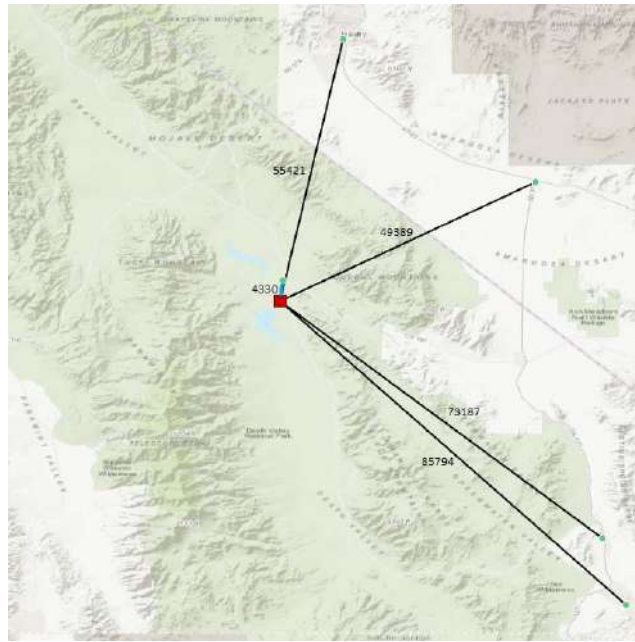


Рис. 4. Результат реалізації розробленої моделі розташування та постачання енергії

Таблиця 1

Склад населених пунктів

№	Назва населеного пункту	Відстань до джерела альтернативної енергії, м	Округ	Населення
1	Beatty	55421	Nye County	менше 10 000
2	Amargosa Valley	49389	Nye County	менше 10 000
3	Death Valley	4330	Inyo County	менше 10 000
4	Shoshone	73187	Inyo County	менше 10 000
5	Tecopa	85794	Inyo County	менше 10 000

Таблиця 2

Опис елементів зображення

№	Назва елементу зображення	Опис
1	Красна точка	Можливе місце розміщення обладнання по видобутку сонячної енергії. При натисканні відображаються показники середньорічної температури, кількість середньорічних опадів, висота точки над рівнем моря
2	Зелена точка	Місце розташування населених пунктів споживачів. При натисканні відображаються назва населеного пункту, кількість населення та назва округу
3	Чорна лінія	Відстань від можливого місця розміщення обладнання по видобутку сонячної енергії до населеного пункту споживачів, які знаходяться на неоптимальній відстані
4	Синя лінія	Оптимальний маршрут (шлях) доставки альтернативної енергії
5	Цифри	Відстань від джерела альтернативної енергії до споживачів, м

Висновки

1. Проведений аналіз просторових даних показав, що вони дають можливість вирішити задачі у різних прикладних напрямках. В даній роботі це стосується кліматології, в якій неможливо уявити роботу без просторових даних. Стандарти Open Geospatial Consortium дають подальший розвиток програмним продуктам для роботи з просторовими даними, що об'єднують існуючі технології.

2. Для аналізу методу розміщення кліматичних даних обрано метод PRISM, який є ефективним для великих територій з відносно низькими градієнтами опадів та з розсіяною мережею метеорологічних станцій.

3. Запропоновано модель розв'язання задачі знаходження ще не використаних джерел альтернативної енергії. Вона дозволяє зменшити викиди шкідливих речовин в навколишнє середовище шля-

хом переходу на менш шкідливі методи видобутку електроенергії.

4. Для розробки моделі запропонована архітектура Entity Framework 6, в якій використовуються рівні взаємодії з даними і можливі мови запитів для обробки даних з бази даних.

5. Для оптимізації запропонованої моделі по-

стачання електроенергії використано алгоритм Дейкстри, за допомогою якого знайдені найближчі населені пункти, які є споживачами електроенергії, добутої з альтернативного джерела енергії. Результати експериментального дослідження показали працездатність розробленої моделі на реальних даних [11; 17].

Список літератури

1. Eldawy A. The Era of Big Spatial Data: A Survey / A. Eldawy, Mohamed F. Mokbel // *Foundation and Trends in Databases*. – 2016. – Vol. 6, No. 3-4. – P. 163-273. <http://dx.doi.org/10.1561/19000000054>.
2. Thirunavukkarasu K. Spatial Data System: Architecture and Applications / K. Thirunavukkarasu, Dr. Manoj Wadhwa // *International Journal of Computer Science Trends and Technology*. – 2016. – Vol. 4, Issue 5. – P. 133-139.
3. Guo D. Spatial data mining and geographic knowledge discovery – An introduction / D. Guo, J. Mennis // *Computers, Environment and Urban Systems*. – 2009. – Vol. 33, Issue 6. – P. 403-408.
4. Earth Observation Data [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data>.
5. Spatial Data Concepts. Oracle7 Spatial Data Option User's Guide and Reference [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://www.helsinki.fi/~atkk_klp/oradoc/DOC/server/doc/A48124/sdo_intr.htm.
6. PostGIS. Spatial and Geographic objects for PostgreSQL [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://postgis.net/>.
7. Chapman L. The use of geographical information systems in climatology and meteorology / L. Chapman, J.E. Thornes // *Progress in Physical Geography*. – 2003. – Vol. 27, issue 3. – P. 313-330. <https://doi.org/10.1191/0309133303pp384ra>.
8. The Geographical information systems in climatological application. Final report COST Action719 / Ole Einar Tveito, Martin Wegehenkel, Frans van der Wel, Hartwig Dobesch. November 2006. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.klimat.geo.uj.edu.pl/stromy/studenci/COST719_final_2.pdf.
9. Daly C. A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain / C. Daly, R.P. Neilson, D.L. Phillips // *Journal of Applied Meteorology*. – 1994. – Vol. 13. – P. 140-158. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(1994\)033<0140:ASTMFM>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(1994)033<0140:ASTMFM>2.0.CO;2).
10. Methodology for Evaluating Renewable Energy Projects. Metodología de Evaluación de Proyectos de Energía Renovable, 2007. Proyecto Desarrollo de Energías Limpias en Chile Fundación Chile – BID Fomin September 2012 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://fch.cl/wp-content/uploads/2012/10/8_-_Methodology_for_Evaluating_Renewable_Energy_Projects1.pdf.
11. PRISM Climatex Group. PRISM Climate Data [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://prism.oregonstate.edu/>.
12. Dijkstra's Algorithm: Implementation and Running Time [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://ru.coursera.org/learn/algorithms-graphs-data-structures/lecture/Pb9p9/dijkstras-algorithm-implementation-and-running-time>.
13. Choose a cloud SQL Server option: Azure SQL (PaaS) Database or SQL Server on Azure VMs (IaaS) [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/sql-database/sql-database-paas-vs-sql-server-iaas>.
14. Entity Framework Architecture [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.entityframeworktutorial.net/EntityFramework-Architecture.aspx>.
15. STDistance (geometry Data Type) [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.microsoft.com/en-us/sql/t-sql/spatial-geometry/stdistance-geometry-data-type>.
16. SQL 2008 Spatial Samples, Part 3 of 9 – SQL Builder API [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://blogs.msdn.microsoft.com/davidlean/2008/10/30/sql-2008-spatial-samples-part-3-of-9-sql-builder-api/>.
17. Mapping how the United States generates its electricity [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://www.washingtonpost.com/graphics/national/power-plants/?utm_term=.52810b4a2c18.

References

1. Eldawy, A. and Mokbel, Mohamed F. (2016), The Era of Big Spatial Data: A Survey, *Foundations and Trends in Databases*, Vol. 6, No. 3-4, pp. 163-273. <https://dx.doi.org/10.1561/19000000054>.
2. Thirunavukkarasu, K. and Dr. Manoj Wadhwa (2016), Spatial Data System: Architecture and Applications, *International Journal of Computer Science Trends and Technology*, Vol. 4, Issue 5, pp. 133-139.
3. Guo, D. and Mennis, J. (2009), Spatial data mining and geographic knowledge discovery – An introduction, *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 33, Issue 6, pp. 403-408.
4. *Earth Observation Data*, <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data>. – Title from the screen.
5. *Spatial Data Concepts. Oracle7 Spatial Data Option User's Guide and Reference*, www.helsinki.fi/~atkk_klp/oradoc/DOC/server/doc/A48124/sdo_intr.htm. – Title from the screen.
6. *PostGIS. Spatial and Geographic objects for PostgreSQL*, www.postgis.net/. – Title from the screen.
7. Chapman, L. and Thornes, J.E. (2003), The use of geographical information systems in climatology and meteorology, *Progress in Physical Geography*, Vol. 27, Issue 3, pp. 313-330. <https://doi.org/10.1191/0309133303pp384ra>.
8. Ole Einar Tveito, Martin Wegehenkel, Frans van der Wel and Hartwig Dobesch (2006), *The Geographical information systems in climatological application. Final report COST Action719*, November 2006, www.klimat.geo.uj.edu.pl/stromy/studenci/COST719_final_2.pdf. – Title from the screen.
9. Daly, C., Neilson, R.P. and Phillips, D.L. (1994), A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 13, pp. 140-158. [https://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(1994\)033<0140:ASTMFM>2.0.CO;2](https://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(1994)033<0140:ASTMFM>2.0.CO;2).

10. *Methodology for Evaluating Renewable Energy Projects*, https://fch.cl/wp-content/uploads/2012/10/8_-_Methodology_for_Evaluating_Renewable_Energy_Projects1.pdf. – Title from the screen.
11. *PRISM Climate Group. PRISM Climate Data*, www.prism.oregonstate.edu/. – Title from the screen.
12. *Dijkstra's Algorithm: Implementation and Running Time*, <https://ru.coursera.org/learn/algorithms-graphs-data-structures/lecture/Pbpp9/dijkstras-algorithm-implementation-and-running-time>. – Title from the screen.
13. *Choose a cloud SQL Server option: Azure SQL (PaaS) Database or SQL Server on Azure VMs (IaaS)*, <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/sql-database/sql-database-paas-vs-sql-server-iaas>. – Title from the screen.
14. *Entity Framework Architecture*, www.entityframeworktutorial.net/EntityFramework-Architecture.aspx. – Title from the screen.
15. *STDistance (geometry Data Type)*, <https://docs.microsoft.com/en-us/sql/t-sql/spatial-geometry/stdistance-geometry-data-type>. – Title from the screen.
16. *SQL 2008 Spatial Samples, Part 3 of 9 – SQL Builder API*, <https://blogs.msdn.microsoft.com/davidlean/2008/10/30/sql-2008-spatial-samples-part-3-of-9-sql-builder-api/>. – Title from the screen.
17. *Mapping how the United States generates its electricity*, https://www.washingtonpost.com/graphics/national/power-plants/?utm_term=.52810b4a2c18. – Title from the screen.

Надійшла до редколегії 6.02.2018
Схвалена до друку 20.03.2018

Відомості про авторів:

Мінухін Сергій Володимирович
доктор технічних наук професор кафедри
Харківського національного економічного
університету ім. Семена Кузнеця,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9314-3750>
e-mail: minukhin.sv@gmail.com

Сизранцев Максим Глібович
магістрант
Харківського національного економічного
університету ім. Семена Кузнеця,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2996-2070>
e-mail: Maksym.Syzrantsev@hneu.net

Information about the authors:

Sergii Minukhin
Doctor of Technical Sciences Professor of
Department of
Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9314-3750>
e-mail: minukhin.sv@gmail.com

Maksym Syzrantsev
Graduate Student of
Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2996-2070>
e-mail: Maksym.Syzrantsev@hneu.net

**ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАЗМЕЩЕНИЯ И ПОСТАВКИ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГИИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ**

С.В. Минухин, М.Г. Сизранцев

Проанализированы характеристики пространственных данных, модели пространственных данных и типы запросов к ним. Рассмотрен метод размещения климатических данных PRISM. Для доступа к данным предложена архитектура Entity Framework 6. Разработана модель нахождения возможных источников альтернативной энергии на базе современных информационных технологий. Решение задачи оптимизации поставок энергии потребителям реализовано алгоритмом Дейкстры с использованием SQL Builder API и функций Entity Framework.

Ключевые слова: ГИС, пространственные данные, альтернативные источники энергии, Entity Framework 6, Azure SQL Database, PRISM, алгоритм Дейкстры.

**OPTIMIZATION MODEL FOR DEPLOYMENT AND DELIVERY OF ALTERNATIVE ENERGY
WITH USE OF SPATIAL DATA**

S. Minukhin, M. Syzrantsev

The approach and model of determination of the location of alternate sources of power based on the use of spatial data are considered. For data processing the system PRISM datasets which provide estimates of climate elements precipitation, temperature, mean dew point, vapor pressure deficit is selected. To achieve the goal of constructing an optimization model for the selection and delivery of alternative energy sources, a model including loading data from PRISM datasets and converting them into a spatial database table; finding the most suitable places for placement of equipment for the extraction of alternative energy according to the criteria; transformation of the found places into the points of the future graph; construction of the tree of the shortest paths by the Dijkstra's algorithm. To implementation of the model, Entity Framework 6 - Microsoft-based Object-Oriented Data Access for Microsoft .NET Framework was selected. For building a distance alternative source of energy to consumers Entity Framework STDistance is used. To build the edges of the graph, the SQL Builder API is allows to build spatial types. The results of the application of the proposed model for the location and supply of energy in the southwestern US territory - possible locations for the equipment for the production of solar energy, location of consumer settlements, optimal route (route) of delivery of alternative energy - are presented.

Keywords: GIS, spatial data, alternative energy sources, Entity Framework 6, Azure SQL Database, PRISM, Dijkstra's algorithm.