

УДК 621.548

М.М.Хворов, докт.хім.наук (Європейський університет, Київ)

Оптимізація просторового розміщення об'єктів відновлюваної енергетики на основі використання геоінформаційних систем

Показана можливість застосування сучасних геоінформаційних технологій для розв'язання задач оптимізації розміщення об'єктів відновлюваної енергетики. Тривимірна фотореалістична візуалізація територій методами комп'ютерної графіки і створення тривимірних моделей реальних поверхонь здатні змінити технологію та практику вибору місць розташування вітрових та сонячних електростанцій, геотермальних станцій, сонячних колекторів. Крім інформації про висоту об'єктів, третя координата може служити характеристикою інших параметрів енергетичних систем, будь-яких процесів або явищ (температури, забруднення тощо) та використовуватися для їх просторового подання.

Представлена возможность применения современных геоинформационных технологий для решения задач оптимизации размещения объектов возобновляемой энергетики. Трёхмерная фотореалистичная визуализация территорий методами компьютерной графики и создания трёхмерных моделей реальных поверхностей способны изменить технологию и практику выбора мест размещения ветровых и солнечных электростанций, геотермальных станций, солнечных коллекторов. Кроме информации о высоте объектов, третья координата может служить характеристикой для других параметров энергетических систем, любых процессов или явлений (температуры, загрязнения и т.п.), а также использоваться для их пространственной подачи.

Вибір оптимального варіанту розміщення об'єктів відновлюваної енергетики (вітрових та сонячних електростанцій, геотермальних станцій, сонячних колекторів тощо) є складною багатопараметричною просторовою задачею, яка в умовах значного зростання обсягів використання альтернативних джерел енергії в усьому світі та рівнів антропогенного навантаження на довкілля набула виняткової актуальності. Параметрами оптимізації є енергетична та економічна ефективність, безпека експлуатації та екологічна безпека. Визначення основних характеристик і параметрів, які обумовлюють вибір майданчиків для об'єктів відновлюваної енергетики, таких як енергетичний потенціал, рельєф місцевості, особливості ландшафту, стан поверхні, наявність шляхів, відстань до споживачів енергії, близькість до житлової інфраструктури, вплив на навколишнє середовище тощо, потребує значного часу, проведення ретельного екологічного моніторингу, економічного та енергетичного аудиту і матеріальних витрат.

Цей процес далеко не завжди закінчується знаходженням оптимального варіанту розміщення енергетичних об'єктів і потребує постійного вдосконалення та доробок. Використання сучасних геоінформаційних технологій дозволяє значно

прискорити роботу щодо вибору майданчиків розміщення, забезпечити визначення максимально ефективного варіанту цього вибору та мінімізувати обсяги матеріальних і фінансових витрат. Сучасні геоінформаційні системи (ГІС-технології) – це сукупність технічних, програмних та інформаційних засобів, що забезпечують введення, збереження, обробку, математико-картографічне моделювання та образне інтегроване представлення географічних і співвіднесених з ними атрибутивних даних для вирішення проблем територіального планування і керування [1, 2]. Головною особливістю географічних інформаційних систем є наявність у їхньому складі специфічних методів аналізу просторових даних, що в сукупності із засобами введення, збереження, маніпулювання і представлення просторово-координованої інформації і складають основу технології географічних інформаційних систем, чи ГІС-технології.

Ефективність застосування таких технологій для вирішення задач оптимізації розміщення об'єктів відновлюваної енергетики обумовлена їх можливостями описування даних реальних об'єктів, таких як дороги, будівлі, водойми, лісові масиви, які можна розділити на дві абстрактні категорії: дискретні (будинки, технічні споруди,

територіальні зони) і безперервні (рельєф, інженерно-геологічні характеристики та якісні характеристики ландшафтів, гідрогеологічні дані, рівень опадів, середньорічна температура). Для представлення цих двох категорій об'єктів використовуються векторні та растрові дані.

Важливою особливістю ГІС-технологій є тривимірне моделювання, яке вимагає відповідних інструментів, методик та даних. Тривимірна фото-реалістична візуалізація територій методами комп'ютерної графіки і створення тривимірних ГІС здатні змінити технологію та практику вибору місць розташування об'єктів відновлюваної енергетики. Крім інформації про висоту об'єктів, третя координата може служити характеристикою інших параметрів енергетичних систем, будь-яких процесів або явищ (температури, забруднення тощо) та використовуватися для їх просторового подання.

Для роботи із тривимірними моделями компанією *ESRI* було розроблено модуль *ArcGIS 3D Analyst* [2], який доповнює продукти *ArcGIS Desktop* (*ArcView*, *ArcEditor*, *ArcInfo*), надає користувачам функції моделювання та аналізу поверхонь, а також додатки для створення і тривимірного відображення моделей місцевості як локального (додаток *ArcScene*), так і глобального (додаток *ArcGlobe*) масштабу. Інформація про рельєф та двовимірні просторові дані, складові основи тривимірної моделі місцевості можуть бути доповнені реалістичними моделями об'єктів, написами й анімацією.

Застосування технологій тривимірного просторового моделювання вкрай ефективно при виборі оптимальних варіантів розміщення будь-яких об'єктів відновлюваної енергетики, перш за все, сонячних, вітрових та геотермальних станцій. Кожен з них має свої особливості, які обумовлюють застосування конкретних варіантів ГІС-технологій. Так, наприклад, при визначенні площадки для вітроустановки обов'язковим є дослідження вітрового потенціалу, реального рельєфу місцевості та динаміки його змін у результаті природних процесів і антропогенної діяльності, а також типу і природи земної поверхні, системи шляхів, відстані до об'єктів електропостачання тощо [3–5].

Вибір програмних засобів для створення моделей об'єктів, насамперед, диктується доступними вихідними даними. Крім цього,

важливим критерієм є те, яким чином тривимірна модель впроваджується в ГІС: як умовний знак для точкових об'єктів; у якості 2,5-вимірного вектора; у якості реальної 3D-геометрії (наприклад, *MultiPatch*). Для створення тривимірних моделей доцільно використовувати програмний продукт *SketchUp* – простий в освоєнні інструмент для створення тривимірних моделей, який дає можливість імпорту/експорту безпосередньо в базу геоданих *ESRI* (імпорт 2D-векторів, експорт у *MultiPatch* із текстурами в реальних координатах), *KML/KMZ*, інші обмінні формати. Компанія-розроблювач розробила безкоштовну версію з можливостями експорту тільки у формат *Google Earth*. При використанні відповідного плагіна моделі у форматі *SketchUp* можуть бути використані в якості тривимірних умовних символів у додатках *ArcScene* й *ArcGlobe*.

Вибір програмного забезпечення залежить у першу чергу від поставленого завдання. Визначившись із методами та функціями, за допомогою яких буде вирішуватися поставлене завдання, можна знайти оптимальне по функціональності й вартості ПЗ для створення 3D моделей місцевості.

У випадку оцінки впливу міської забудови на ефективність роботи об'єкту відновлюваної енергетики в умовах міста для створення тривимірної моделі можна прийняти наступні вхідні дані:

1. Векторні шари будинків, доріг, точкових об'єктів ситуації.
2. Фотографії фасадів будинків.
3. Векторні шари горизонталей, пікетів і насипів (для створення TIN поверхні).
4. Архітектурні креслення будинків та споруд.
5. Висотні показники контурів дахів будинків.

Усі вихідні векторні дані знаходяться у місцевій системі координат, отже і тривимірна модель, побудована на їх основі, також буде в місцевій системі координат.

Першочерговою задачею є надійна оцінка і прогнозування вітрового енергетичного потенціалу в місці розташування станції [5, 6]. Для побудови карти розсіювання вітру завдяки особливостям рельєфу на основі топографічного плану місцевості за допомогою геоінформаційної системи, такої як *ArcView 3.1*, складають карту розподілу

схилів за експозицією, тобто за напрямками їх орієнтації по сторонах світу та карту кутів нахилу рельєфу [7].

На підставі аналізу середньорічної рози вітрів для даної місцевості (для території м. Києва це переважно вітри західного та північно-західного напрямку [8], рис. 1) схили на карті експозиції відносять до тих, які паралельні основному напрямку вітрів, навітряні та підвітряні.

Співставлення отриманої карти експозиції схилів із картою кутів нахилу рельєфу для трьох складових схилів (верхню, середню та нижню) дає можливість отримати карту реального вітрового режиму у вигляді поправочних коефіцієнтів змін швидкості вітру в різних умовах рельєфу. Такі коефіцієнти змінюються в діапазоні $0,8 \div 1,3$, а саме: $K=1 \div 1,1$ для нормального режиму швидкостей, $K=0,9$ і менше та $K=1,2$ і більше – відповідно для зменшених та збільшених значень швидкостей вітру (таблиця 1).

Запропонована методика аналізу реального вітрового режиму за допомогою ГІС-технологій ефективна в умовах значного антропогенного впливу на ландшафт, що важливо при виборі місць розташування вітрових станцій у місцях інтенсивної забудови, системи шляхів, ліній електропередач та телекомунікацій. Планування вулиць, напрями розташування та висота будівель і споруд, наявність зелених масивів створюють різні форми перешкод вітровим та світловим потокам і сприяють утворенню особливих метеоумов міста.

Важливою складовою проблеми оптимального розміщення об'єктів відновлюваної енергетики є мінімізація їх впливу на довкілля, зокрема на

Табл. 1. Коефіцієнти змін швидкості вітру в різних умовах рельєфу за даними ГІС досліджень

Форма рельєфу	K на рівному місці $V = 3-5$ м/с	K на висоті 2 м $V = 6-20$ м/с
Відкрите рівне місце	1	1
Відкритий горб	1,2 – 1,3	1,1 – 1,2
Навітряні схили крутизною 3-10 градусів		
Верхня частина	1 – 1,1	1 – 1,1
Середня частина	1	0,9 – 1
Нижня частина	1,1 – 1,2	1 – 1,1
Паралельні вітру схили крутизною 3-10 градусів		
Верхня частина	0,9 – 1	0,8 – 0,9
Середня частина	0,8 – 0,9	0,7 – 0,8
Нижня частина	0,8 – 0,9	0,7 – 0,8
Підвітряні схили крутизною 3-10 градусів		
Верхня частина	0,7 – 0,8	0,7 – 0,8
Середня частина	1,1 – 1,2	1,2 – 1,3
Нижня частина	0,7 – 0,8	0,7 – 0,8

атмосферне повітря. Велика відповідальність лягає на плануючі та експертні служби охорони атмосферного повітря, які зобов'язані оцінювати стійкість території до існуючих та передбачуваних навантажень і робити обґрунтовані висновки про доцільність будівництва планованого об'єкту в тому чи іншому місці. При вирішенні такого питання, як правило, потрібно розглядати кілька альтернативних проектів і вибирати з них оптимальні за навантаженням на атмосферне повітря. Для цього необхідно, перш за все, знати потенціал розсіюючої здатності атмосфери, під яким слід розуміти комплекс метеорологічних умов, характерних для тієї чи іншої місцевості, що сприяють як накопиченню домішок в атмосфері, так і її самоочищенню.



Рис. 1. Роза вітрів для Києва та області.

Спостереження показують, що навіть при постійних обсягах і складі промислових і транспортних викидів у результаті впливу метеорологічних умов рівень забруднення повітря може відрізнятись в кілька разів. Облік цього впливу дуже важливий. Одним із головних метеорологічних параметрів, що впливають на розсіювання домішок в атмосфері, є швидкість і напрям вітру. Швидкість вітру сприяє переносу і розсіюванню домішок, оскільки з посиленням вітру зростає інтенсивність перемішування повітряних шарів. На поширення домішок також впливають упорядковані вертикальні рухи, зумовлені неоднорідністю підстилаючої поверхні. В умовах пересіченої місцевості на навітряних схилах виникають висхідні, а на підвітряних – нисхідні потоки руху. При нисхідних потоках приземні концентрації збільшуються, при висхідних – зменшуються. У деяких формах рельєфу, наприклад, в улоговинах, повітря застоюється, що призводить до накопичення шкідливих речовин поблизу підстилаючої поверхні, особливо від низьких джерел викидів. У горбистій місцевості максимуми приземної концентрації домішок зазвичай більші, ніж за відсутності нерівностей рельєфу.

Сучасні геотехнології доцільно застосовувати також для проектування та оптимальної прив'язки до місцевості об'єктів сонячної енергетики, зокрема фотоелементів і геліоустановок для гарячого водопостачання та опалювання будинків, а також систем геотермальної енергетики (глибинної та поверхневої), теплових насосів та акумуляторів тепла.

Висновки. Застосування сучасних геоінформаційних технологій, які містять технічні, програмні та інформаційні засоби для введення, збереження, обробки та математико-картографічного представлення географічних і співвіднесених з ними даних для вирішення задач оптимізації розміщення об'єктів відновлюваної енергетики, дозволяє значно прискорити роботу щодо вибору майданчиків розташування, забезпечити визначення максимально ефективного варіанту цього вибору та мінімізувати обсяги матеріальних і фінансових витрат.

1. Руденко Л.Г. Чабанюк В.С. Концепция геоинформационной системы многоцелевого использования и ее поэтапная реализация на Украине // Геоинформационные и геоэкологические исследования в странах СНГ. – М.: Геос, 1999. – С. 9–30.
2. Енди Митчел. Руководство ESRI по ГИС анализу. Том 1: Географические закономерности и взаимодействия. ESRI, 2009. – 176 с.
3. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. – К.: НТУУ "КПІ", 2012. – 492 с.
4. Програма фінансування альтернативної енергетики в Україні (Програма USELF). Технічний звіт з оцінки потенціалу відновлюваної енергетики в Україні: Енергія вітру. Black & Veatch. 2011. – 18 с.
5. Тутко Р., Калініченко В. Відновлювані джерела енергії. – Видавництво OWG, Варшава, 2010. – 533 с.
6. Кудря С., Тучинський Б., Дресвянніков В., Рамазанова З. Дослідження тенденцій розвитку вітроенергетики в Європі і в Україні // Вітроенергетика України. – 2004. – № 1–2. – С. 4–7.
7. Серебровский Ф.Л. Аэрация населенных мест. – М., Стройиздат, 1985. – 185 с.
8. Опис клімату Київa. meteoproг.ua 2003–2013.