

УДК 621.548

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.17

ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

В. І. ЗАЦЕРКОВНИЙ¹, Н. В. ОБЕРЕМОК^{1*}, А. А. ПУЗИК²

¹ кафедра геоінформатики, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, УКРАЇНА

² Національний авіаційний університет, Київ, УКРАЇНА

*email: oberemokn@gmail.com

АННОТАЦІЯ Надані об'єктивні фактори, що обумовлюють необхідність розвитку нетрадиційних відновлюваних джерел енергії та передумови для її розвитку в Україні, енергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії. Запропоновано технології застосування геоінформаційного моделювання, орієнтовані на використання картографічної інформації для розв'язку завдань з планування, ухвалення управлінських рішень та розвитку енергетичної галузі. Практична реалізація запропонованого підходу передбачає розробку комплексу картографічних творів для потреб відновлюваної енергетики, укладання карт різної функціональної спрямованості (інвентаризаційних, оцінювальних, рекомендаційних, прогнозних), що відображають різні аспекти (ресурси, об'єкти, умови, фактори, стан та перспективи розвитку галузі) та охоплюють різні напрямки відновлюваної енергетики (вітроенергетику, геліоенергетику, біоенергетику, гідроенергетику та геотермальну енергетику).

Ключові слова: геоінформаційні системи; геоінформаційні технології; картографування; геоінформаційне моделювання; відновлювана енергетика; карта.

GEOINFORMATION MODELING IN THE PROBLEMS OF RENEWABLE ENERGY

V. ZATSERKOVNYI¹, N. OBEREMOK^{1*}, A. PUZYK²

¹ Department of Geoinformatics, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, UKRAINE

² Kyiv National University of Aviation, Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT The following is presented in the study - the objective factors that determine the necessity to develop non-traditional renewable energy sources and the prerequisites for their development in Ukraine, the energy potential of renewable energy sources. Technologies for the use of geo-information modeling aimed at using the cartographic information base to solve problems of planning, making managerial decisions and developing the energy industry are proposed. Practical implementation of the proposed approach provides for the development of a complex of cartographic works for the needs of renewable energy, the creation of maps of various functional and thematic direction (inventory, valuation, recommendation, forecast) that reflect various aspects (resources, objects, conditions, factors, state and perspectives of industry development) and cover various areas of renewable energy (wind power, solar energy, bioenergy, hydropower geothermal energy). The analysis of the development of renewable energy sources and their use is carried out. The tasks of geoinformation modeling for needs of renewable energy sources and their use are determined. The problems of the development of renewable energy sources and their use in Ukraine are determined. The conducted researches can serve as the basis for works on the construction of a decision support system for optimizing the work of the power industry. The present study presents existing approaches to energy saving perspectives and geoinformation analysis of the conditions for the use of alternative energy sources in Ukraine.

Key words: geo-information systems; geo-information technologies; mapping; geo-information modeling; renewable energy; map

Введення

Рациональне використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) являє собою одну з глобальних світових проблем, успішне розв'язання якої буде мати визначальне значення не тільки для подальшого розвитку світового суспільства, але й для збереження середовища його існування. Друга глобальна проблема – забруднення навколишнього середовища продуктами згоряння органічного палива. Навіть якщо розглядати окремо кожну грань цієї проблеми, то картина буде жахлива. Наприклад, як свідчать дані статистики щодо викиду в навколишнє середовище шкідливих речовин автомобілями: з вихлопними газами автомобілів в атмосферу потрапило 14,7 мільйона тонн оксиду вуглецю, 3,4

мільйона тонн вуглеводнів, близько одного мільйона тонн оксидів азоту, більше 5,5 тисячі тонн високотоксичних сполук свинцю. І це дані за далекий 1993 рік і якщо врахувати, що кожен рік з конвеєрів автомобільних заводів сходять понад 40 мільйонів машин, і темпи виробництва зростають, то можна сказати, що вже через десять років усі великі міста світу загрузнуть у смозі. До цього ще необхідно додати продукти згоряння палива на теплових електростанціях, затоплення величезних територій гідроелектростанціями та постійна небезпека в районах АЕС. Але у цієї проблеми є і друга сторона медалі: всі нині використовувані джерела енергії є вичерпаними ресурсами. Тобто через століття при таких темпах споживання вугілля, нафти і газу населення Землі загрузне в енергетичній кризі.

Одним із перспективних шляхів вирішення цієї проблеми є застосування нових енергозберігаючих технологій, що використовують нетрадиційні відновлювальні джерела енергії.

Незважаючи на те, що сучасна енергетика головним чином базується на традиційних, невідновлюваних джерелах енергії (близько 80% у світовому енергетичному балансі складають нафта, газ і кам'яне вугілля), зацікавленість до відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) невинно зростає. Головними аргументами для використання ВДЕ є висока ціна традиційного палива, енергетична безпека для країн-імпортерів нафти і газу і проблеми охорони навколишнього середовища.

У зв'язку з цим однією з важливих науково-технічних проблем в енергетичній галузі є забезпечення інформацією та підтримка ухвалення управлінських рішень державних органів у сфері планування розвитку сектора енергоощадних технологій на основі ВДЕ. Стратегія розвитку енергетики для будь-якого регіону країни і залучення ВДЕ в його енергетичний баланс напряму залежать від наявного потенціалу, як по окремим видам, так і по сукупності видів ВДЕ (комплексного потенціалу).

Відновлювана енергетика пропонує цікаві перспективи для економіки України. Вона розширює діапазон доступних джерел енергії, створюючи нові ринки збуту для виробників, зміцнює енергетичну незалежність країни за рахунок урізноманітнення джерел енергопостачання. Тому актуальним є пошук джерел енергії, яку можливо отримувати на будь-якій території та в будь-якій кількості і з мінімальними екологічними збитками. Звісно, що цей процес не є швидким, але задля забезпечення майбутнього економічного процвітання України, її гідного місця у Європейській спільноті потрібно вже сьогодні активізувати вирішення цієї актуальної проблеми.

Проблемі енергозабезпечення і вибору шляхів її розв'язання присвячені праці багатьох науковців. Доробок вчених відрізняється своїм розмаїттям. Так, В. Андрійчук [1], В. Лір, У. Письменна [2] пов'язують дослідження з проблемою енергетичної безпеки держави. А. Прокіп [3] зосереджує увагу на визначенні перспектив енергозабезпечення світової спільноти з огляду на концепцію сталого розвитку. С. Кудря [4] аналізує переваги відновлюваної енергетики. С. Корсунський [5] вдається до з'ясування перспектив енергозабезпечення України за умови її залучення до Європейського Союзу.

Проблемами розвитку світового ринку енергетичних ресурсів та впровадження інноваційних проектів у галузі альтернативної енергетики займалися зарубіжні вчені: С. Азар, Ван ден Брок, В. Дорнбург, Е. Смітс, А. Файдж, Б. Фішер, К. Хеймлінк, М. Хоогвайк, В. Алексеев, Н. Рустамов, Е. Берман, Н. Міроненко, А. Синюгін та ін. Серед вітчизняних учених проблеми світового ринку енергоресурсів висвітлюються в працях Є. Воробйова, А. Голікова, О. Андрюхіна, О. Довгаль, В. Новицького, А.

Савицького, І. Смирнова, Б. Слуцького, О. Поппель, А. Філіпенко, А. Федоренко, Б. Яценко та ін.

Складність та різноманітність дослідження поставленої проблеми потребують продовження наукового пошуку.

Мета роботи

Мета дослідження: висвітлення існуючих підходів до перспектив енергозбереження та геоінформаційний аналіз умов застосування альтернативних джерел енергетики на території України.

Об'єкт дослідження – альтернативні джерела енергетики на території України.

Предмет дослідження – умови застосування альтернативних джерел енергетики на території України.

Завдання дослідження:

1. аналіз розвитку відновлювальних джерел енергетики та їх використання;
2. постановка завдань геоінформаційного моделювання для потреб відновлювальних джерел енергетики та їх використання;
3. визначення проблем розвитку відновлювальних джерел енергетики та їх використання в Україні.

Виклад основного матеріалу

Успішний поступ людської цивілізації у значній мірі залежить від вирішення енергетичної проблеми, яка набула глобального характеру. На сьогодні є принаймні два головні шляхи. Перший – це енергозбереження, а другий – впровадження й використання нетрадиційних (альтернативних) та відновних джерел енергії.

Можливості нарощування енергетичної бази нині суттєво змінилися. Високі енергоносії, на яких базується розвиток сучасної техносфери, наблизилися до межі вичерпання. Це висуває перед людством нові проблеми, стосовно перспектив економічного, демографічного, соціального та екологічного розвитку.

Українська економіка, за даними експертів Європейського банку реконструкції та розвитку (ЄБРР) є однією з найбільш енергоємних у світі: на виробництво одиниці ВВП витрачається в 3-5 разів більше енергії, ніж в країнах Східної Європи. Це зумовлює зростання навантаження на державний бюджет у зв'язку з необхідністю субсидувати закупівлі "надмірної" кількості енергоресурсів, у тому числі газу; збільшення забруднення довкілля і створює проблеми для конкурентоспроможності економіки в майбутньому. Причин такого стану декілька:

– низька ефективність виробництва і передачі усіх видів енергії;

– численні прорахунки в ціно- і тарифоутвореннях на енергетичних ринках, що не стимулюють до підвищення енергетичної ефективності як для виробників, так і для споживачів;

– протиріччя між Енергетичною стратегією України на період до 2030 року (далі – Стратегія) і останніми тенденціями розвитку економіки України (у Стратегії наголошується на збільшенні виробництва електроенергії, а не на підвищенні енергоефективності);

– відсутність конкурентного ринку вугілля і альтернативних джерел енергетичних ресурсів для теплової енергетики.

Загострення глобальних енергетичних та екологічних проблем у другій половині ХХ століття призвело до пошуків нових альтернативних джерел енергії. Як наслідок – переважна більшість країн світу спрямовує зусилля на розвиток відновлюваної енергетики (ВЕ). Трансформація енергетичної галузі, що проявляється у впровадженні технологій використання відновлюваних джерел енергії, вимагає розв'язку низки завдань законодавчого, технологічного, інформаційного характеру.

Для прийняття рішень щодо можливості і доцільності розвитку того чи іншого напрямку ВЕ необхідне проведення комплексу науково-дослідних робіт з оцінки наявності ресурсів, їх просторового розподілу, часової динаміки, економічних, соціальних та екологічних чинників, що лімітують розміщення об'єктів галузі.

Застосування геоінформаційного моделювання дозволяє не тільки інтегрувати і в зручній формі візуалізувати результати проведення вишукувальних робіт з оцінки ресурсного потенціалу ВДЕ, а й ефективно розв'язувати задачі просторової оптимізації галузі.

Геоінформаційне моделювання (ГІМ) – інтегративна теорія, яка на новій методологічній основі об'єднує вже відомі методи проектування, укладання, використання та аналізу геоінформаційних моделей для дослідження об'єктів реального світу за допомогою системи упорядкування і трансформації інформації про ці об'єкти.

ГІМ можна визначити як моделювання просторових об'єктів, взаємопов'язаних з атрибутивними даними (базами даних) за допомогою математичних методів і програмних засобів геоінформаційних систем (ГІС). На відміну від теоретичних методів моделювання, ГІМ є високотехнологічним процесом (за рахунок взаємодії з об'єктами бази даних) і виступає інструментом, який забезпечує збір, збереження, обробку, доступ, відображення та розповсюдження просторово-координатних даних.

ГІМ є засобом інтелектуальної обробки та відображення просторової інформації для одержання нових знань. Комп'ютерне електронно-графічне моделювання, застосування графічних, графо-

математичних та електронно-графічних моделей і ГІТ – основа ГІМ.

Теоретичну основу ГІМ становить уявлення про картографо-кібернетичну систему, що функціонує завдяки картографічним даним і алгоритмам, які описують усі процеси створення й використання карт із залученням цифрової та графічної інформації.

ГІМ полягає в умінні конструювати геоінформаційні моделі та аналізувати їх для вивчення об'єктів реального світу. Його можна розглядати як сучасну ГІТ, яка, на відміну від теоретичних методів моделювання, є технологічним процесом, оскільки взаємодіє з об'єктами бази даних ГІС.

У процесі ГІМ утворюється новий тематичний шар електронної карти, що якісно відрізняється від того, що дослідник бачив раніше. З цієї точки зору, до процедур ГІМ відноситься й тематична обробка даних ДЗЗ, оскільки в результаті тематичної класифікації утворюється новий шар – класифіковане зображення. Однак це найпростіший приклад ГІМ. Класифіковане растрове зображення без накладання на нього хоча б якихось векторних шарів не є ГІМ, це просто перефарбована в умовні кольори картина земної поверхні. А ось коли на підставі класифікації створюється тематична карта – це вже ГІМ (етап *image understanding*).

Виділяють декілька видів ГІМ, яке реалізується як у векторних, так і в растрових ГІС, а саме [16]:

1) геогруповання – побудова просторово-часової динамічної моделі шляхом об'єднання сукупностей геооб'єктів у більш великі. Тут використовуються аналітичні залежності і фізичні моделі. Апарат достатньо добре формалізований, тому більша частина процесів може бути автоматизована;

2) буферизація – процедура побудови буферних зон для різних типів об'єктів. Апарат – побудова обвідної на заданій відстані від межі об'єктів, а потім об'єднання і видалення перекриттів. Ця процедура також є формальною, тому може виконуватись автоматично;

3) генералізація – узагальнення графічних об'єктів і зміна їх відображення при зміні масштабу. Методологічний апарат дуже розмаїтий. Повна формалізація практично неможлива: занадто багато чинників, які потрібно враховувати;

4) комбінування – композиція і декомпозиція геооб'єктів на основі відношень між ними. Якщо геогруповання використовується головним чином при роботі з растровими моделями, то комбінування – це методологія для векторних ГІС. Найпростішим прикладом комбінування є одна з операцій редагування полігонів. Комбінування – це, головним чином, методологія прикладного геоінформаційного аналізу (певна просторова вибірка за заданими критеріями). Наприклад, розв'язок транспортних задач здійснюється головним чином за допомогою процедур комбінування. Більшість задач цього типу

можуть бути розв'язані методами дискретного аналізу, зокрема, методами теорії графів;

5) геокодування – процедура позиціонування (координатна прив'язка) табличних даних. У загальному випадку задача є відносно простою і відноситься до теорії реляційних баз даних;

6) узагальнення даних – процедура створення атрибутів нових об'єктів на основі відношень між вихідними. Процедура узагальнення часто включає топологічний аналіз графічних об'єктів, однак загалом вона достатньо добре формалізується. Може бути інтерактивною, проте може бути й суто аналітичною. Наприклад, на основі певних значень показників А, В, С розраховується показник D, потім виконується групування об'єктів за цим показником. Саме таким чином відбувається побудова карти рослинного покриву за складом рослинності в межах певного контуру. Тут переважно використовується апарат дискретного аналізу і теорії баз даних;

7) побудова тематичних карт на основі аналізу та обробки атрибутивних даних. Ця методологія лежить в основі створення легенд. Класифікація здійснюється за одним атрибутом. Якщо потрібна класифікація об'єктів за декількома атрибутами, то використовується кореляційний і факторний аналіз. Врешті-решт, це все методологія розпізнавання, що ґрунтується на багатомірній кластеризації. Однак такий підхід найчастіше використовується при створенні так званих синтетичних карт. У багатьох випадках новий показник просто розраховується за заданими формулами;

8) ректифікація даних. Коли при цьому також ставиться і розв'язується завдання максимально можливого усунення спотворень, зумовлених рельєфом місцевості, то таке ректифікування називають орторектифікуванням;

9) проведення автоматичної класифікації ознак геооб'єктів (включаючи растрові) за заданими критеріями.

Картографічне забезпечення ВЕ має ряд особливостей, не притаманних традиційним (усталеним) напрямам тематичного картографування, як то: просторово-часова темпоральність об'єктів картографування як їх онтологічна сутність; стохастичність окремих видів відновлюваних енергетичних ресурсів (ВЕР); нестача у натурних спостереженнях значної частки вихідних характеристик об'єктів картографування і, як наслідок, потреба їх розрахунку із застосуванням математичних і математико-картографічних методів, а також аналізу ГІС [6].

До нетрадиційних відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) відносять гідроелектростанції (великі, середні та малі), геотермальну, сонячну, фотоелектричну та теплову енергію, енергії припливів, хвиль океану, вітру, тверду біомасу, газу з біомаси, рідкі біопалива та відновлювані муніципальні відходи, а також теплову енергію.

Проблеми ефективності використання традиційних джерел енергії в Україні стоять ще гостріше, ніж в інших країнах світу. Причинами цього є застарілі технології, вичерпання ресурсів використання основних фондів генерації електроенергії і тепла, що разом з низькою ефективністю використання палива призводить до значних обсягів викидів шкідливих речовин.

Таким чином, Україна має нагальну потребу у переході до енергетично ефективних та екологічно чистих технологій, якими є, в тому числі, і НВДЕ. Але, незважаючи на декларативні заяви щодо усвідомлення цієї потреби з боку різних гілок влади та низку нормативно-законодавчих актів, які стосуються розвитку НВДЕ, – реальних кроків щодо впровадження НВДЕ зроблено досить мало.

Змінити ситуацію можна шляхом проведення відповідної енергетичної політики, вдосконалення нормативно-правової бази та залучення інвестицій у розвиток НВДЕ. Звісно, що цей процес не є швидким, але задля забезпечення майбутнього економічного процвітання України потрібно вже сьогодні активізувати вирішення цієї актуальної проблеми.

Питання оптимізації картографічного забезпечення НВДЕ тісно пов'язані із застосуванням можливостей комп'ютерної техніки та сучасних програмних засобів, передусім – геоінформаційних систем (ГІС) [7].

Сучасний розвиток геоінформаційних технологій (ГІТ) йде шляхом реалізації складних алгоритмів просторового аналізу на основі геоданих, розробки автоматизованих алгоритмів математико-картографічного моделювання та вирішення прикладних аналітичних задач [8]. Ця тенденція значною мірою проявляється у картографуванні для потреб НВДЕ. Необхідність вирішення різнопланових задач, пов'язаних як з геообробкою первинних даних про НВДЕ (зокрема проведення інтерполяції показників геліо-, вітро-, геотермальних ресурсів, моделювання річкової мережі та параметрів річкового стоку тощо), так і з подальшим проведенням комплексного просторового аналізу умов та факторів території для ухвалення управлінських, стратегічних та оперативних рішень у сфері НВДЕ, робить ГІС незамінним інструментом створення картографічних моделей різної складності в процесі картографічного забезпечення галузі.

В Україні практичні розробки з картографування НВДЕ представлені як у працях ряду організацій (Інституту відновлюваної енергетики НАН України, Інституту географії НАН України, Інституту гео- фізики НАН України), так і в дослідженнях окремих науковців (С.А. Величка, О.С. Третякова, А. К. Шидловського та ін.). Зростаючий попит на картографічну інформацію, що розкриває різні аспекти використання НВДЕ, викликає необхідність удосконалення картографічного забезпечення НВДЕ України.

Картографічні твори для потреб НВДЕ мають важливе практичне значення, характеризуються широкими можливостями використання в різних сферах людської діяльності та здатні виконувати різні функції.

За призначенням картографічні твори НВДЕ пропонується поділяти на дві групи: спеціалізованого (профільного, цільового) та неспеціалізованого (багатоцільового) призначення.

Перші застосовуються при вирішенні практичних завдань, пов'язаних з управлінням та розвитком НВДЕ, плануванням та впровадженням нових енергетичних об'єктів, що використовують ресурси відновлюваних джерел енергії.

Друга група картографічних творів НВДЕ призначена для широкого кола користувачів та може використовуватися у різних сферах – освітній, науково-дослідній діяльності, для залучення інвесторів, популяризації відновлюваних джерел енергії серед широких верств населення, в довідникових цілях, тощо. Відповідно до призначення виділено управлінську, промислово-проектну, інформаційно-пізнавальну, популяризаційну, інвестиційну, виховну, навчально-освітню та науково-дослідну функцію картографічних творів НВДЕ [9,10].

Розробка структури системи картографічних творів для потреб НВДЕ ґрунтується на концепції, принципах, запропонованій класифікації карт НВДЕ за змістом та функціональною спрямованістю, що обґрунтовувались з позицій системного картографування.

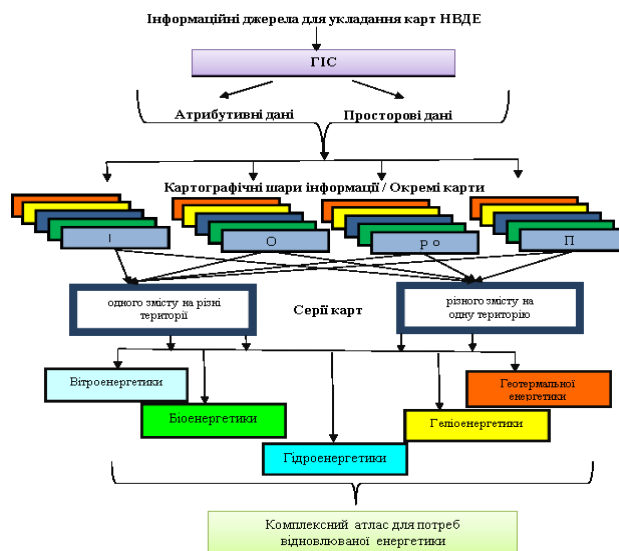
В основу системи покладено формування загальнодержавної ГІС для потреб НВДЕ, що наповнюється даними з різних інформаційних джерел та включає набори просторових та атрибутивних даних, які в свою чергу формують тематичні картографічні шари (рис. 1.).

На основі цих картографічних шарів даних укладаються окремі карти НВДЕ різної функціональної спрямованості – інвентаризаційні, оцінювальні, рекомендаційні, прогнози, що відображають різні аспекти (ресурси, об'єкти, умови, фактори, стан та перспективи розвитку галузі) та охоплюють різні напрямки НВДЕ (вітроенергетику, геотермальну енергетику, біоенергетику, гідроенергетику та геотермальну енергетику).

Вітроенергетика – галузь відновлюваної енергетики, що спеціалізується на використанні кінетичної енергії вітру. Цей вид джерела енергії є непрямою формою сонячної енергії, і тому належить до відновлюваних джерел енергії. На планеті виникнення вітрів має характер випадковий і неконтрольований. Це стосується як напрямку, так і сили вітру. Вітроенергетика, як високотехнологічна, економічно та екологічно ефективна галузь енергетики, базується на використанні відновлюваного джерела енергії для розв'язання однієї з найбільш критичних проблем людини –

споконвічної боротьби за енергію та, водночас, зменшення негативного впливу на довкілля [11-12].

За даними Міжгалузевого науково-технічного центру вітроенергетики Національної академії наук України, територія нашої країни має значні ресурси вітрової енергії, які оцінюються у 30 ТВт х год./рік [13].



Вид карт: І – інвентаризаційні, О – оцінювальні, Р – рекомендаційні, П – прогнози.

Рис. 1 – Система картографічних творів для потреб НВДЕ

За результатами обробки статистичних метеорологічних даних по швидкості та повторюваності швидкості вітру проведено районування території України по швидкостях вітру і визначено питомий енергетичний потенціал вітру на різній висоті відповідно до зон районування. Приведені дані є базовими при впровадженні вітроенергетичного обладнання і призначені до використання проектувальниками об'єктів вітроенергетики для встановлення оптимальної потужності вітроагрегатів та тилу енергії (електрична або механічна) для ефективного її виробництва в конкретній місцевості [11].

Застосування вітроустановок для виробництва електроенергії в промислових масштабах найбільш ефективно в регіонах України, де середньорічна швидкість вітру перевищує 5 м/с: на Азово-Чорноморському узбережжі, в Одеській, Херсонській, Запорізькій, Донецькій, Луганській, Миколаївській областях, АР Крим та в районі Карпат.

Вітрові умови району відносно використання вітру визначаються вітроенергетичним кадастром, який включає різні показники швидкості вітру, обумовлені результатами багаторічних спостережень: середньорічні і середньомісячні швидкості вітру; повторюваність швидкості вітрових напрямів протягом року, місяця, доби [13].

Таким чином, можна зробити висновки про те, що вітроенергетика визначена у світі найбільш перспективною галуззю відновлюваної енергетики, а Україна входить до числа країн, що мають значний вітровий та науково-виробничий потенціал і при цьому гостро потребує власних енергоресурсів, існує потреба і можливість у розробці та впровадженні інноваційно-інвестиційних проєктів розвитку в окремих регіонах та створенні цілісної вітроенергетичної галузі України [11-12].

Створена авторами картодіаграма енергетичного потенціалу вітру територій України за даними [14] представлена на рис. 2.



Рис.2 – Картодіаграма енергетичного потенціалу вітру територій України

Потенціал використання сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і фотоенергетичного обладнання. Середньорічна кількість сумарної сонячної енергії, що надходить на 1 кв. кілометр поверхні території України, становить в межах 1070 кВт·год у північній частині країни та 1400 кВт·год і вище в Автономній Республіці Крим.

Потенціал сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і фотоенергетичного обладнання практично в усіх областях. За результатами обробки статистичних метеорологічних даних по надходженню сонячної радіації визначено питомі енергетичні показники з надходження сонячної енергії та розподіл енергетичного потенціалу сонячного випромінювання для кожної з областей України. Потенціал сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і фотоенергетичного обладнання практично в усіх областях [14].

Достатньо високий рівень готового до серійного виробництва та широкий діапазон можливого застосування в Україні обладнання сонячної теплової енергетики свідчить, що для

масштабного впровадження і отримання значної економії ПЕР необхідно лише підвищення зацікавленості виробників до випуску великих партій такого обладнання. Перетворення сонячної енергії в електричну енергію в умовах України слід орієнтувати в першу чергу на використання фотоелектричних пристроїв. Наявність значних запасів сировини, промислової та науково-технічної бази для виготовлення фотоелектричних пристроїв може забезпечити сповна не тільки потреби вітчизняного споживача, але й представляти для експортних поставок більше двох третин виробленої продукції [15].

Створена авторами картодіаграма потенціалу сонячної енергії на території України за даними [14] представлена на рис. 3.



Рис.3 – Картодіаграма потенціалу сонячної енергії на території України

Аналіз енергетичного потенціалу енергії малих річок України та функціонування малих ГЕС на території України свідчить, що в Україні є значний потенціал розвитку цього виду відновлювальних джерел енергії.

При використанні гідропотенціалу малих річок України можна досягти значної економії ПЕР, причому розвиток малої гідроенергетики сприятиме децентралізації загальної енергетичної системи, чим вирішить ряд проблем в енергопостачанні віддалених і важкодоступних районів сільської місцевості.

Україна має потужні ресурси гідроенергії малих річок — загальний гідроенергетичний потенціал малих річок України становить близько 12,5 млрд кВт·год, що дорівнює приблизно 28% загального гідропотенціалу всіх річок України [14].

Коливання осереднених даних по загальному потенціалу в Україні досить незначні, тоді як дані по технічному та доцільно-економічному потенціалу малих річок потребують уточнення - в звичайних ситуаціях не менше одного разу в 5 років, а в виняткових випадках - щорічно.

Головною перевагою малої гідроенергетики є дешевизна електроенергії, генерованої на гідроелектростанціях, відсутність паливної складової в процесі отримання електроенергії при впровадженні малих гідроелектростанцій дає позитивний економічний та екологічний ефект.

При використанні гідропотенціалу малих річок України можна досягти значної економії паливно-енергетичних ресурсів, причому розвиток малої гідроенергетики сприятиме децентралізації загальної енергетичної системи, чим зніме ряд проблем як в енергопостачанні віддалених і важкодоступних районів сільської місцевості, так і в керуванні гігантськими енергетичними системами, при цьому вирішуватиметься цілий комплекс проблем в економічній, екологічній та соціальній сферах життєдіяльності та господарювання в сільській місцевості, в тому числі і районних центрів.

Освоєння потенціалу малих річок із використанням малих та мікрогідроелектростанцій допомагає вирішити проблему енергозабезпечення споживачів. Найефективніші малі гідроелектростанції, що будують на існуючих гідротехнічних спорудах.

Створена авторами картодіаграма потенціалу гідроенергетичного потенціалу територій України за даними [14] представлена на рис. 4.



Рис. 4 – Картодіаграма гідроенергетичного потенціалу територій України

Енергетичний потенціал біомаси в Україні. Україна має великий потенціал біомаси, доступної для енергетичного використання. Шляхом залучення цього потенціалу до виробництва енергії в найближчій перспективі можна задовольнити 13-15% потреби держави в первинній енергії [15]. Енергетична ефективність біоенергетики достатньо висока для того, щоб виділити її в окремий напрям енергетичного господарства. В Україні існує достатній енергетичний потенціал практично всіх видів біомаси і необхідна науково-технічна та промислова база для розвитку даної галузі енергетики.

Показники енергетичного потенціалу біомаси відрізняються від потенціалу інших відновлюваних джерел енергії тим, що, окрім кліматометеорологічних умов, енергетичний потенціал біомаси в країні в значній мірі залежить від багатьох інших факторів, в першу чергу від рівня господарської діяльності [14].

Енергетичний потенціал біомаси представлено такими її складовими – енергетичним потенціалом тваринницької сільськогосподарської і рослинної сільськогосподарської біомаси та енергетичним потенціалом відходів лісу.

Оцінка потенціалу відходів тваринництва проводилась із залученням статистичного методу. Цей метод дає змогу розрахувати лише теоретичний потенціал біомаси. Він базується на обласних статистичних даних, нанесених на карту у просторово-явному вигляді [15].

Наведені середньорічні показники енергетичного потенціалу основних видів біомаси для енергетичних потреб можуть бути використані для встановлення потенціалу при врахуванні відповідних коефіцієнтів по збільшенню або зменшенню обсягів отриманої біомаси в розрахунковому році. Тому дані про наявність кожного з видів біомаси для енергетичних потреб в областях України потребують щорічного обліку, дані про розподіл її енергетичного потенціалу відповідно потребують щорічного перерахунку.

Економічна ефективність біоенергетичного обладнання в більшості випадків забезпечується правильним вибором технології переробки біомаси та розташуванням обладнання в місцях постійного її накопичення; важливим є також ефективне і, по можливості, комплексне використання всіх отриманих в процесі переробки продуктів.

Створена авторами картодіаграма потенціалу біомаси територій України за даними [14] представлена на рис. 5.

Наразі біомаса в Україні застосовується в основному для виробництва теплової енергії. На деревну біомасу переведено більше 1000 котлів, які експлуатуються на підприємствах лісового господарства. близько 2000 котлів використовують відходи деревини (тріски, гранули). Більше 70 котлів, які обслуговують олійноекстракційні заводи та масложирові комбінати, використовують як паливо лушпиння соняшника].

Потенціал використання біопалива для великих ТЕЦ в Україні залишається нерозкритим. Але вже існують приклади такого використання. У ТОВ «Комбінат Каргілл» та ПАТ «Кіровоградолія» побудовано дві промислові ТЕЦ, які використовують як паливо відходи власного виробництва. Важливим є поширення досвіду використання енергетичного потенціалу біомаси по всій країні. Для цього необхідно налагодження виробництва паливних гранул, зокрема брикетів.



Рис.5 – Картодіаграма потенціалу біомаси території України



Рис.6 – Картодіаграма потенціалу теплової енергії території України

Енергетичний потенціал теплової енергії стічних вод в Україні. Основними джерелами низькопотенціальної скидної теплоти техногенного походження є вентиляційні викиди та охолоджуюча вода технологічного та енергетичного обладнання підприємств, промислові та комунально-побутові стоки. Досвід провідних країн свідчить, що найбільш ефективним є використання теплової енергії стічних вод за допомогою теплових насосів.

Потужні теплонасосні станції теплопостачання можуть розміщатися біля відвідних каналів очищених комунально-побутових вод. Можливим є створення окремих теплонасосних установок для утилізації теплоти умовно чистих стоків басейнів, спортивних комплексів, пральних комбінатів та інших об'єктів побутового і промислового призначення.

Теоретичні ресурси низькопотенціальної теплової енергії стічних вод розраховуються, виходячи з загального обсягу каналізаційних стоків відповідної області. Технічно доступні ресурси розраховуються, виходячи з загального обсягу очищених каналізаційних стоків лише від міських поселень [14].

Економічно-доцільні обсяги використання низькопотенціальної теплової енергії стічних вод розраховуються, виходячи з половини обсягу очищених стоків від міських поселень відповідної області (враховуються обмеження, пов'язані з нерівномірністю надходження стоків).

Завдяки роботі теплонасосних станцій можна зменшити споживання високоякісного палива в комунальних системах теплопостачання міст; при використанні теплових насосів з приводом від двигунів внутрішнього згоряння, паро- або газотурбінних установок значно збільшуються можливі обсяги виробництва товарної теплової енергії, а ефективність теплонасосних станцій зростає майже у два рази.

Створена авторами картодіаграма потенціалу теплової енергії території України за даними [14] представлена на рис. 6.

Енергетичний потенціал теплоти ґрунту та ґрунтових вод в Україні. Температура ґрунту та гірських порід біля поверхні Землі визначається балансом теплової енергії, що надходить від Сонця та тепловим випромінюванням земної поверхні. Теплова енергія, що надійшла від Сонця, акумулюється в шарі ґрунту осадових та гірських порід на глибинах до ізотермічної поверхні. Шар ґрунту між глибиною промерзання та ізотермічною поверхнею може розглядатися як природний сезонний акумулятор теплової енергії, причому енергія, відведена в зимовий період буде відновлюватись в теплий період року; це стосується і ґрунтових вод, що насичують вищевказаний шар ґрунту та осадових порід.

Теплова енергія ґрунту та ґрунтових вод може використовуватися для обігріву та вентиляції приміщень. Відбір теплової енергії від ґрунту може здійснюватися за допомогою фунтових теплообмінників різних типів.

Температура теплоносія в ґрунтовому теплообміннику становить від мінус 5-7 до плюс 10-12°C і є придатною для виробництва теплоносія з температурою 40-70°C за допомогою теплових насосів. Досвід провідних країн свідчить, що енергію ґрунту найчастіше використовують в теплонасосних установках потужністю до 70-100 кВт, які обслуговують окремі невеликі будинки, головним чином садибні житлові будинки. В умовах України це можуть бути садибні будинки міст та сіл [14].

Оцінки ресурсів низькопотенціальної теплової енергії ґрунту та ґрунтових вод, визначені на основі статистичних даних про житловий фонд та споживання котельно-пічного палива, можуть прийматися в якості прогнозу на найближчі роки.

Створена авторами картодіаграма потенціалу низькопотенціальної енергії ґрунту території України за даними [14] представлена на рис. 7.



Рис.7 – Картодіаграма потенціалу низькопотенціальної енергії ґрунту території України

Висновки

Використання НВДЕ на сучасному етапі розвитку економіки України є недостатнім і не відповідає загальноєвропейському рівню. Однак поступові кроки у законодавчій та нормативно-правовій базі держави зробили поштовх для подальшого розвитку відновлюваної енергетики в Україні.

Основним завданням геоінформаційного моделювання для потреб НВДЕ є забезпечення просторово-координованою інформацією про ресурсний потенціал, умови, фактори, стан та перспективи розвитку галузі, що реалізується шляхом розробки картографічних творів різного типу (окремі карти, серії карт, атласи, ГІС, веб-атласи та веб-ГІС), територіального охоплення (від карт світу до карт окремих енергетичних об'єктів) та функціонального призначення.

Проблема розвитку НВДЕ регіону та включення відповідних ресурсів є доволі складною за кількістю виконуваних етапів та проміжних завдань задачею. Відтак, навіть існування доволі великої кількості методів не вичерпує актуальність та перспективи розвитку даної задачі. Досягнення ефективного використання НВДЕ повинно передбачати аналіз всіх альтернатив використання доступних ресурсів, врахування прямих та опосередкованих економічних та екологічних вигід, для досягнення максимального рівня енергетичного самозабезпечення в регіоні.

Результати досліджень можуть слугувати основою для робіт з побудови системи підтримки прийняття рішень щодо оптимізації роботи енергетичної галузі.

Список літератури

1. Андрійчук, В. Шляхи досягнення енергетичної безпеки / В. Андрійчук // *Політика і час*. – 2006. – № 12. – С. 35–38.
2. Лір, В. Е. Енергоефективність як детермінанта енергетичної безпеки держави та конкурентоспроможність національної економіки / В. Е.

Лір, У. Є. Письменна // *Економіка і прогнозування*. – 2009. – № 1. – С. 35–52.

3. Прокіп, А. Сучасні підходи до енергозабезпечення людства в умовах формування суспільства сталого розвитку / А. Прокіп // *Економіка України*. – 2012. – № 5. – С. 85–90.
4. Кудря, С. О. Відновлювана енергетика: основні тенденції та напрямки розвитку / С. О. Кудря // *Проблеми розвитку енергетики*. – 2009. № 6. – С. 135–137.
5. Корсунський, С. Енергетична політика України: європейський вибір / С. Корсунський // *Політика і час*. – 2006. – № 11. – С. 11–13.
6. Сінна, О. І. Ландшафтно-екологічне картографування на основі геоінформаційних технологій (на прикладі Харківської області): дис. на здобуття вченого ступ. канд. геогр. наук : 11.00.12 / О. І. Сінна. – *Ін-т географії НАНУ*, 2014. – С. 265.
7. Зацерковний, В. І. Геоінформаційні системи в науках про Землю / В. І. Зацерковний, І. В.Тішаєв, І. В. Віршило, В. К. Демидов // *НДУ ім. М. Гоголя*, 2016. – 510 с.
8. Бурачек, В. Г. Геоінформаційний аналіз просторових даних / В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, В. І. Зацерковний // *Ніжин: ТОВ Видавництво «Аспект-Поліграф»*, 2011.
9. Митчел, Э. Руководство ESRI по ГИС анализу. Том 1: Географические закономерности и взаимодействия. ESRI, 2009. – 176 с.
10. Башинська, Ю. І. Особливості регіональних програм з використання відновлюваних джерел енергії / Ю. І. Башинська // *Регіональна економіка*. – Львів, 2014. – № 1. – С. 165-174.
11. Півняк, Ф. Шкрабель, О. Н. Нойбергер, Д. Ципленков // *М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ*, 2015. – 335 с.
12. Волковая, О. О. Моделирование ветрового потенциала локальной ділянки лісостепу для потреб вітроенергетики з використанням гіс-технологій / О. О. Волковая, О. С. Третьяков, І. Г. Черваньов // *Український географічний журнал*. - 2015. - № 4. - С. 10-16. – doi: 10.15407/ugz2015.04.010.
13. Носенко, Ю. Вітроенергетика – практичні аспекти і перспективи / Ю. Носенко // *Агробізнес сьогодні*. – 2012. – № 1/2. – С. 42-44.
14. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України [Електронний ресурс]. URL: <http://istochnik-13.narod.ru/atlas.doc>.
15. Лакида, П. І. Енергетичний потенціал біомаси в Україні / П. І. Лакида, Г. Г. Гелетуша, Р. Д. Васишин, та ін. // *Навчально науковий інститут лісового і садово-паркового господарства НУБіП України*. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2011. – 28 с.
16. Зацерковний, В. І. Геоінформаційні системи і бази даних т.2 / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко // *Ніжин: НДУ ім. М.Гоголя*, 2017. – 237 с.

Bibliography (transliterated)

1. Andriyчук, V. Ways of achieving energy security. *Politics and time*, 2006, 12, 35-38.
2. Lira, V., Pysmenna, U. Energy efficiency as a determinant of the state's energy security and the competitiveness of the

- national economy. *Economy and Forecasting*, 2009, **1**, 35-52.
3. **Prokip, A.** Modern approaches to energy supply of humanity in the conditions of formation of a society of sustainable development. *Economy of Ukraine*, 2012, **5**, 85-90.
 4. **Kudrya, S.** Renewable Energy: Main Trends and Directions of Development. *Problems of energy development*, 2009, **6**, 135-137.
 5. **Korsunsky, S.** Energy Policy of Ukraine: European Choice. *Politics and Time*, 2006, **11**, 11-13.
 6. **Sina, O.** Landscape-ecological mapping on the basis of geoinformation technologies (for example, Kharkiv region): diss. for obtaining a scientific degree. Cand. geogr. Sciences: 11.00.12 *Institute of Geography, National Academy of Sciences*, 2014, 265.
 7. **Zatserkovnyi, V. Tishayev, I., Virshylo, I., Demydov, V.** Geoinformation Systems in the Sciences of the Earth. *NDU them. M. Gogol*, 2016, 510.
 8. **Buracek, V., Zheleznyak, O., Zatserkovnyy, V.** Geoinformation analysis of spatial data. *Nizhyn: LLC Aspect-Polygraph Publishing House*. 2011.
 9. **Mitchell, E.** ESRI's Guide to GIS Analysis. Volume 1: Geographic patterns and interactions. *ESRI*, 2009. 176.
 10. **Bashinskaya, Y.** Peculiarities of Regional Programs on the Use of Renewable Energy Sources. *Regional Economics, Lviv*, 2014, **1**, 165-174.
 11. **Pivnyak, G., Pivnyak H., Shkrabets, F., Noyberher, O., Tsyplenkov D.** Basics of Wind Energy: Textbook. *Ministry of Education and Science of Ukraine, National Academy of Sciences of Ukraine. NMU*, 2015, 335.
 12. **Volkova, O., Tretyakov O., Chervanov I.** Simulation of the wind potential of a local forest-steppe area for the needs of wind energy using hi-tech. *Ukrainskiy geografichnyi gurnal*, 2015, **4**, 10-16, doi: 10.15407/ugz2015.04.010.
 13. **Nosenko, Y.** Wind power engineering - practical aspects and perspectives. *Agrobusiness today*, 2012, **1/2**, 42-44.
 14. Atlas of energy potential of renewable and non-traditional energy sources of Ukraine. Available at: <http://istochnik-13.narod.ru/atlas.doc>.
 15. **Lakida, P., Geltukha, G., Vasilishin, R., etc.** Energy potential of biomass in Ukraine. *Educational Scientific Institute of Forestry and Landscape Management of NUBiP of Ukraine. Publishing Center of NUBiP of Ukraine*, 2011, 28.
 16. **Zatserkovny, V., Buracek, V., Zheleznyak, O. Tereshchenko, A.** Geoinformation Systems and Databases. *Nizhyn: NDU them. M. Gogol*, 2017, 237.

Сведения об авторах (About authors)

Зацерковний Віталій Іванович – доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, завідувач кафедри геоінформатики, м. Київ, Україна; e-mail: vitalii.zatserkovnyi@gmail.com.

Vitalii Zatserkovnyi – doctor of science, associate professor, Taras Shevchenko National University of Kiev, Chief of geoinformatics department, Kiev City, Ukraine; e-mail: vitalii.zatserkovnyi@gmail.com.

Оберемок Наталія Василівна – кандидат технічних наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, докторант кафедри геоінформатики, м. Київ, Україна; e-mail: oberemokn@gmail.com.

Nataliia Oberemok – Ph.d., Taras Shevchenko National University of Kiev, department of geoinformatics, Kiev City, Ukraine; e-mail: oberemokn@gmail.com.

Пузик Анастасія – Київський національний авіаційний університет, студент, м. Київ, Україна; e-mail: a.puzykk@gmail.com.

Anastasiia Puzik – National Aviation University of Kiev, student, Kiev City, Ukraine; e-mail: a.puzykk@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Зацерковний, В. І. Геоінформаційне моделювання в задачах відновлювальної енергетики / **В. І. Зацерковний, Н. В. Оберемок, А. А. Пузик** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 118-127. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.17.

Please cite this article as:

Zatserkovnyi, V., Oberemok, N., Puzyk, A. Geoinformation modeling in the problems of renewable energy. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **9** (1285), 118-127, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.17.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Зацерковный, В. И. Геоинформационное моделирование в задачах возобновляемой энергетики / **В. И. Зацерковный, Н. В. Оберемок, А. А. Пузик** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: *Новые решения в современных технологиях*. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 118-127. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.17.

АННОТАЦИЯ Представлены объективные факторы, обуславливающие необходимость развития нетрадиционных возобновляемых источников энергии та предпосылки их развития в Украине, энергетический потенциал возобновляемых источников энергии. Предложены технологии использования геоинформационного моделирования, ориентированных на использование картографической базы информации для решения задач планированию, принятию управленческих решений и развития энергетической отрасли. Практическая реализация предложенного подхода предусматривает разработку комплекса картографических произведений для нужд возобновляемой энергетики, составления карт различной функциональной и тематической карт направленности (инвентаризационных, оценочных, рекомендационных, прогнозных), которые отображают различные аспекты (ресурсы, объекты, условия, факторы, состояние и перспективы развития отрасли) и охватывают различные направления возобновляемой энергетики (ветроэнергетику, гелиоэнергетику, биоэнергетику, гидроэнергетику и геотермальную энергетику).

Ключевые слова: геоинформационные системы; геоинформационные технологии; картографирование; геоинформационное моделирование; возобновляемая энергетика; карта.

Поступила (received) 12.03.2018