

8. *Sheldahl R.E., Klimas P.C.* Aerodynamic Characteristics of Seven Symmetrical Airfoil Sections Through 180-Degree Angle of Attack // Tech. rep. SAND 80-2114. – Sandia National Labs., Albuquerque, NM, USA. – 1981. – 120 p.

9. Пат. 84319С Україна, МПК F03D 3/00, F03D 7/06. Вітросилова установка / В.В.Гребенников, В.П. Каян, С.О. Довгий, В.А. Кочин. – Опубл. 17.07.2008. Бюл. № 19.

10. *Каян В.П., Лебедь А.Г.* Оптимізація робочих характеристик полномасштабного макета ветроротора Дарье с прямыми управляемыми лопастями // Прикладная гидромеханика. – 2010. – 12. – №4. – С. 26–35.

11. *Каян В.П., Лебедь А.Г., Чмовж В.В.* Оптимізація робочих характеристик ветроротора Дарье с прямыми лопастями // Відновлювана енергетика. – 2011. – № 1. – С. 43–54.

12. *Гринченко В.Т., Каян В.П.* Оптимізація характеристик ветроротора Дарье с прямыми управляемыми лопастями // Доповиди НАН України. – 2015. – № 6. – С. 37–45.

13. *Гребешов Э.П., Коврижных Л.Д.* Пропульсивные характеристики крыла-двигателя, работающего вблизи экранирующих поверхностей // Труды ЦАГИ. – 1983. – Вып. 2211. – С. 6–20.

14. *Довгий С.А., Голубев С.А., Лебедь А.Г., Черний Д.И.* Математические, вычислительные и технологические решения для выявления и использования нелинейных закономерностей в ветроэнергетике // Методы дискретных особенностей в задачах мат. физики: Труды XV Международного симпозиума (МДОЗМФ–2011), 2011. – С. 175–180.

15. *Fiedler A.J., Tullis S.* Blade Offset and Pitch Effects on a High Solidity Vertical Axis Wind Turbine // Wind Engineering. – 2009. – V. 33. – No.3. – P. 237–246.

16. *Horiuchi K., Ushiyama I., Seki K.* Straight wing vertical axis wind turbines: A flow analysis // Wind Engineering. – 2005. – V. 29. – No. 3. – P. 243–252.

УДК 621.548

З.К.Сандовал (НТУУ "КПІ", Київ)

Аналіз потоків енергії вітру Республіки Еквадор

У статті наводяться результати аналізу потоків енергії вітру в Еквадорі. Отримані дані будуть використані для оцінки можливості встановлення автономних вітроелектричних установок переважно в районах, що знаходяться у сільській місцевості.

Ключові слова: вітроенергетика, вітроенергетичний потенціал, вітроелектрична установка.

В статье приведены результаты анализа потоков энергии ветра в Эквадоре. Полученные данные будут использованы для оценки возможности размещения автономных ветроэлектрических установок преимущественно в сельской местности.

Ключевые слова: ветроэнергетика, ветроэнергетический потенциал, ветроэлектрическая установка.

Сучасна Республіка Еквадор – це країна, що динамічно розвивається, змінює вектори експорту товарів і послуг, проводить пошук нових напрямків у виробничих питаннях та в поліпшенні умов життя населення. Еквадор має площу 270670 км² і населення більше 15 млн жителів (дані 2010 р.) [1]. Економіка базується на експорті нафти (до 40% доходу) та сільськогосподарських продуктів [2, 8]. У той же час, за офіційними даними урядових організацій Еквадору, запаси нафти в країні становлять 8832,0 млн барелів [3].

Завдяки реалізації Національної програми розвитку в 2009-2013 рр. була проведена електрифікація країни, яка охопила 98% міських та 96% сільських домогосподарств. Проте дефіцит електроенергії спостерігається в районних провінціях Амазонки [4]. Структура виробництва енергії в країні [4]

наведена в таблиці 1.

Таблиця 1. Структура виробництва енергії

Вид енергії	Е, ГВт-год	Частка, %
Традиційна	12398,68	49,65
Імпорт	836,19	3,34
Відновлювана:		
гідроенергетика	11287,30	45,2
вітроенергетика	79,72	0,32
фотоенергетика	14,38	0,06
енергія біомаси	357,57	1,43
Всього	24973,84	100%

Як видно з таблиці, більша частина енергії генерується на паливних станціях. В останні роки уряд взяв курс на виробництво енергії за допомогою гідроелектростанцій, частка яких вже склала майже половину виробітку. Якщо територію країни умовно розбити на чотири регіони (гірський,

Амазонка, узбережжя, острови), то електроспоживання домогосподарств має наступний вигляд (таблиця 2):

Таблиця 2. Середнє споживання електроенергії домогосподарствами країни

Район	Середнє споживання, кВт·год/доб
Гірський	1,340
Амазонка	1,053
Узбережжя	1,601
Острівний	0,159

Середнє споживання електроенергії домогосподарствами складає 1,402 кВт·год, і цей показник із часом буде зростати. Така тенденція на енергоринку спонукає до залучення енергії Сонця, вітру та інших відновлюваних видів енергії для заміщення традиційних джерел та поліпшення енергобалансу країни. Як видно з таблиці 1, на сьогодні частка відновлюваних джерел не перевищує 2% (не враховуючи гідроенергетику).

Для оцінки доцільності встановлення автономних вітроустановок в ізольованих домогосподарствах сільської місцевості Еквадору найбільш важливим є наявність достатньої потужності вітрового потоку в таких місцях. На сьогодні аналіз даних потоків провести доволі складно. Так, наприклад, в Атласі Еквадору (AWS True Power) наведені середні дані про швидкість вітру на висоті 50 м над землею (таблиця 3).

Щоб оцінити, де можливе встановлення автономних вітроелектричних систем, потрібно забезпечити дані з інших інформаційних джерел. Одним із таких джерел про швидкість вітру та інші параметри клімату є дані INHAMÍ (Національний інститут метеорології та гідрології) [5], який в останні роки модернізував свої метеостанції. Інформація, що публікується, призначена для аграрного та іншого господарського використання даних про кліматичні умови, але для оцінки вітрового потенціалу та вітрового потоку в конкретних місцевостях ця інформація є недостатньою. Так, наприклад, проаналізовані значення за період 1990-2011 рр. дають нам середню швидкість вітру 3,8 м/с. Але більшість метеостанцій знаходяться не в тих місцях, які потрібні для оцінки вітрового потенціалу, і не відповідають за висотою розташування анемометрів. Висота не перевищує 10 м, а на деяких станціях вона становить 2 м над поверхнею землі [5]. Ще одним джерелом інформації є дані, отримані з програмного забезпечення RETScreen, що містять дані НАСА [6]. Наведені дані про середньорічну швидкість вітру на висоті 10 м з шорсткістю земної поверхні 0,5 см [6].

Графік розподілу швидкості вітру в місяцях з допущенням, що сезон у гірських районах, де сильніші вітри, є сухим сезоном, наведений на рис. 1.

Таблиця 3. Середньорічні значення швидкості вітру по провінціях

Region			
Гірські провінції	$V_{\text{сер}}$ на рік, м/с	Провінції Амазонки	$V_{\text{сер}}$ на рік, м/с
Карчі	>7	Сукумвіос	<3
Імавура	>7	Напо	<3
Пічінча	>7	Пастаза	<3
Котопаксі	>7	Орельяна	<3
Тунгурауа	>6	Морона Сантіаго	<3
Волівар	>7	Замора Чінчіпе	>7
Чімворазо	>7		
Каніар	>7		
Азуай	>7		
Лоха	>7		
Домінго де лос Цачілас	<3		
Region			
Провінції узбережжя	$V_{\text{сер}}$ на рік, м/с	Острови	$V_{\text{сер}}$ на рік, м/с
Есмералдас	<4	Галапагос	>5
Манаві	<4		
Гуаяс	<4		
Лос Ріос	<4		
Ел Оро	<4		
Санта Елена	<4		

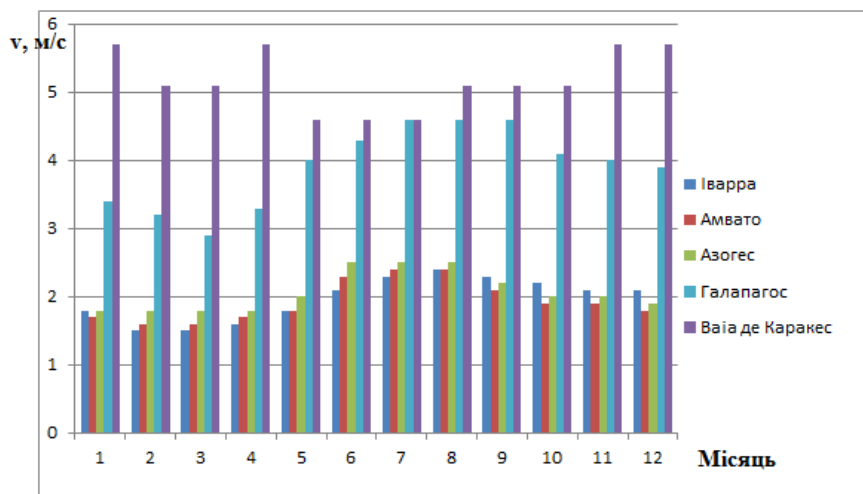


Рис. 1. Розподіл середньої швидкості вітру за місяцями для різних провінцій Еквадору.

Загалом географічне положення Еквадору таке, що характеризує його як країну з невисокою швидкістю вітру, але виключенням є гірські райони, де вже запропоновані проекти для розташування вітроелектричних станцій великої потужності. Для знаходження потенційних пунктів розташування вітроелектричних систем використані карти Атласу вітрового потенціалу, який входить у програмне забезпечення ARTPOWER та

інструменти програмного забезпечення Google-Maps. Швидкість вітру на цих картах подана на висоті 50 м від поверхні [7]. При виборі також враховувалось, що системи будуть розташовані недалеко від населених пунктів, як показано на рис. 2.

Перелік потенційних пунктів різних провінцій для розташування автономних вітроелектричних систем наведено в таблиці 4.



Рис. 2. Супутниковий знімок. Провінція Пічінча – Кангауа, $V_{сер} = 8$ м/с [7].

Таблиця 4. Перелік провінцій, де можливе розташування автономних вітроелектричних систем

Провінція	Пункт розташування	$V_{сер}$ на рік, м/с	Провінція	Пункт розташування	$V_{сер}$ на рік, м/с
Карчі	Ла Лівертад	5,1	Котопаксі	Тіксан	6,3
	Ел Ангел	5,4		Зумвагуа	6
	Гарсія Морено	5,9		Тігуа	6
		6,3		Гуангахе	6,5

Провінція	Пункт розташування	$V_{\text{сер}}$ на рік, м/с	Провінція	Пункт розташування	$V_{\text{сер}}$ на рік, м/с
	Круз	8		Гуінгопана	6,3
	Лос Андес	7,6	Азуаї	Онїа	6,3
Іварра	Пімампіро	5,22		Пурін	6,1
	Юракруз	6,3		Лас Ніевес	5,18
Пічінча	Олмедо	5		Навон	5,1
	Монхас Алто	6,5			
	Кангауа	6,5			
		8,4			
	Піфо	5,9			
		5			
		5			
	Пінтаг	5			
Порвенір	6,3				

Відповідно до вибраних потенційних пунктів розташування автономних вітроустановок, знайдені характеристики вертикального профілю вітру (зміну величини його швидкості за висотою) за формулою, запропонованою Д.Т.Лайхтманом [9]:

$$V = V_1 \frac{\log\left(\frac{h}{h_0}\right)}{\log\frac{h_1}{h_0}}, \quad (1)$$

де V – шукана швидкість на висоті h ; V_1 – швидкість вітру, що вимірюється біля Землі на висоті h_1 ; h_0 – висота, на якій швидкість вітру дорівнює нулю (вона залежить від шорсткості: для поверхні з низькою травою – 3,2 см; з більш

високими рослинами – 5-7 см); $h_{0\text{max}} = 20$ м.

Використовуючи дані з таблиці 4, за допомогою формули (1) знаходимо швидкість вітру на висоті 20 м з урахуванням шорсткості 0,5 см (таблиця 5).

Питома потужність вітрового потоку складе [9]:

$$\frac{P}{F} = 0,5 \cdot \rho \cdot V_n^3, \quad (2)$$

де F – площа поперечного перерізу; V_n – номінальна швидкість; ρ – масова густина повітря, що дорівнює:

$$\rho = 1,225 - (1,194 \cdot 10^{-4}) \cdot H, \quad (3)$$

де H – висота над рівнем моря.

Отримані дані наведено у таблиці 6.

Таблиця 5. Середньорічна швидкість вітру на висоті 20 м

Провінція	Пункт розміщення	$V_{\text{сер}}$ на рік, м/с	Провінція	Пункт розміщення	$V_{\text{сер}}$ на рік, м/с
Карчі	Ла Лівертад	4,4	Когопаксі	Тіксан	5,5
	Ел Ангел	4,7		Зумвагуа	5,2
	Гарсія Морено	5,1		Тігуа	5,2
		5,5		Гуангахе	5,6
	Круз	6,9		Гуінгопана	5,5
Лос Андес	6,6	Азуаї	Онїа	5,5	
	Пімампіро		4,5	Пурін	5,3
Юракруз			5,5	Лас Ніевес	4,5
Пічінча	Олмедо		4,3	Навон	4,4
	Монхас Алто	5,6			
	Кангауа	5,6			
		7,3			
	Піфо	5,1			
		4,3			
		4,3			
	Пінтаг	4,3			
Порвенір	5,5				

Таблиця 6. Питома потужність вітрового потоку

Провінція	Пункт розміщення	$V_{сер}$ на рік, м/с	Потужність, Вт/м ²
Карчі	Ла Лівертад	4,4	35,6
	Ел Ангел	4,7	42,4
	Гарсія Морено	5,1	57,3
		5,5	71,0
	Круз	6,9	147,0
Імвавур	Лос Андес	6,6	127,4
	Пімампіро	4,5	43,1
Пічінча	Юракруз	5,5	70,7
	Олмедо	4,3	34,4
		5,6	73,4
	Монхас Алто	5,6	77,7
		7,3	167,6
	Кангауа	5,1	54,9
		4,3	33,4
		4,3	35,3
Котопаксі	Пінтаг	4,3	34,0
	Порвенір	5,5	65,8
	Тіксан	5,5	65,8
	Зумвагуа	5,2	55,2
	Тігуа	5,2	56,0
Азуаї	Гуангахе	5,6	71,2
	Гуїнгопана	5,5	64,9
	Онія	5,5	71,7
	Пурін	5,3	65,1
Азуаї	Лас Нієвес	4,5	39,8
	Навон	4,4	38,0

На рис. 3 показано розташування районів можливого встановлення вітроелектричних установок на території країни.

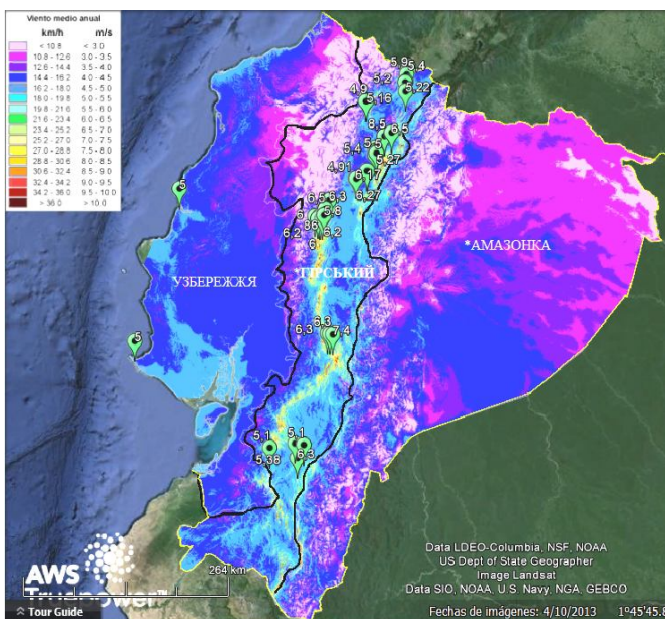


Рис. 3. Розташування районів можливого встановлення вітроелектричних установок.

Таким чином, аналіз вітрових потоків енергії вітру в Еквадорі дозволяє зробити наступні висновки:

- В районі Амазонки немає площадок, які мали б достатню складову для використання вітрового потенціалу.
- Натомість найбільший потенціал потоків енергії вітру знаходиться в гірських районах. За проведеними розрахунками середня швидкість вітру в гірській місцевості на висоті 20 метрів над землею – від 4,3 до 7,3 м/с, а питома потужність вітрового потоку – від 33,4 до 167,6 Вт/м².
- За допомогою пакетної програми Google Earth-AWS Truepower було оцінено потенціал місцевості для розташування вітроустановок. Згідно з отриманими результатами оцінки, найбільш ефективними для розташування вітроустановок є провінції Карчі, Імвавур, Пічінча, Котопаксі, Азуаї.

1. *Resultados del Censo 2010 de Población y Vivienda en el Ecuador*, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, pagina web: <http://www.ecuadorenconfias.gob.ec>

2. *Stephanie Paola Espín E., Mauricio León G., Sector Externo Crecimiento y Cambio Estructural, Revista Ecuador Económico – El desempeño económico en el 2012, Febrero 2013, pág. 23., pagina web: <http://www.politicaeconomica.gob.ec/revista-ecuador-economico/>*

3. *Organization of the Petroleum Exporting OPEC, Annual Statistical Bulletin 2014, pag. 104, page web: http://www.opec.org/opec_web/en/about_us/148.htm*

4. *CONELC, Plan Maestro de Electrificación 2013-2020. Perspectiva y expansión del sistema eléctrico ecuatoriano – Vol. 3. – P. 223.*

5. *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Anuario Meteorológico 2011 No. 5, Quito-Ecuador.*

6. *RETscreen International, Análisis de Proyectos de Energía Limpia con Software RETscreen, Minister of Natural Resources Canada 2001-2005. Page web: http://www.retscreen.net/es/t_training.php*

7. *Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Atlas Eólico del Ecuador con fines de generación eléctrica, 2012. – 56 p.*

8. *Edison Roberto Luna M., Tesis de Grado Evaluación del Potencial Eólico y Propuesta preliminar para la Instalación de un Parque Aerogenerador en el área de la Chocolatera – Puntilla de Santa Elena, Guayaquil-Ecuador, 2008. – 179 p.*

9. *Кудря С.О., Головки В.М. Основи констрування енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: навч. Посіб., НТУУ "КП", 2011. – 184 с.*