

УДК: 551.553.6

РЕЖИМ ШВИДКОСТІ ВІТРУ В МАРОККО НА ПОЧАТКУ ХХІ СТОЛІТТЯ**Юссеф Ель Хадрі, асп.,
В. М. Хохлов, д-р геогр. наук, проф.***Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, magribinets@ukr.net*

В роботі описані результати дослідження швидкості вітру на 26 метеорологічних станціях Марокко за період 2005-2014 рр. Проведено порівняльний аналіз середньої швидкості вітру за періоди 1980-1999 рр. та 2005-2014 рр. Представлені результати розрахунку повторюваності швидкості вітру по групах різної сили вітру. Визначено райони з переважанням швидкостей вітру, сприятливих для розгортання вітроенергетичних установок.

Ключові слова: швидкість вітру, повторюваність, режим вітру.

1. ВСТУП

Актуальність дослідження сучасних особливостей вітрового режиму Марокко визначається необхідністю врахування актуальних змін характеристик вітру для розвитку вітроенергетики, добувної промисловості та транспортної інфраструктури.

Енергетична система Марокко сильно залежить від зовнішніх енергетичних ринків. Відповідно до інформації Міністерства енергетики, у теперішній час в Марокко імпортується більш 93 % енергоносіїв. У 2009 році уряд Марокко розробив Національну енергетичну стратегію, одним з пріоритетних напрямків якої є збільшення частки поновлюваних технологій в енергетиці країни. У Марокко є великі запаси вітрових ресурсів; наприклад, окремі розрахунки вітроенергетики у Марокко показують, що технічний потенціал вітрової енергії може скласти 26 ГВт [1].

Для оцінки вітроенергетичних ресурсів зазвичай розглядають потенційні, технічні та економічні ресурси.

Потенційними вітроенергетичними ресурсами є сумарна енергія руху повітряних мас, які переміщуються над даною територією протягом року.

Технічними вітроенергетичними ресурсами є частина потенційних ресурсів, яку можна використовувати за допомогою наявних технічних засобів. Тут відбувається також облік неминучих втрат при використанні вітрової енергії.

Необхідно відзначити, що середня швидкість, є недостатньою характеристикою для оцінок природного, і технічного потенціалу вітрової енергії територій, які визначаються потужністю вітрового потоку і середньою виробленою енергією заданим типом вітроенергетичної установки. При знаходженні цих характеристик, першо-

рядне значення має повторюваність швидкості вітру, у певні точці території [2].

Вихідною вимогою до місця розгортання автономних вітроенергетичних установок (ВЕУ) та вітроенергетичних станцій є наявність високого вітроенергетичного потенціалу. У першому наближенні його можна характеризувати рівнем середньої річної швидкості вітру ≥ 5 м/с на висоті 10 м над підстильною поверхнею [3]. Крім того, місце для розміщення ВЕУ має характеризуватися невеликою повторюваністю (не більше 20-30 %) періодів, коли швидкості вітру менша за 5 м/с.

Вивчення вітру в Марокко присвячені роботи групи марокканських вчених з Університету Мохаммеда V під керівництвом Х. Нфауї, які у роботі [4] провели оцінку вітрових характеристик і вітрового потенціалу Марокко для періоду 1978-1998 рр. В результаті проведеного дослідження автори прийшли до висновку, що найсприятливіші для вітроенергетики умови спостерігаються у районі Гібралтару, на ділянці узбережжя Атлантики між Лааюном і Дахлою, де швидкість вітру набуває значення вище 6 м/с, та на відрізку Атлантичного узбережжя між Касабланкою та Агадіром, де швидкість вітру перевищує 4 м/с.

В іншій роботі [5] наводяться результати розрахунку статистичних характеристик вітру і пов'язаних параметрів розподілу Вейбула, розраховані на основі даних метеоспостережень на ст. Лааюн і Дахла. Оцінка вітрових характеристик надає можливість стверджувати, що в районі Дахла існують більш вигідні умови для розміщення вітроустановок.

Для найбільш ефективного використання енергії, що виробляється вітроустановкою, необхідно накопичувати і перерозподіляти енергію в разі розбіжності піків споживання електроенергії і часу найбільшої повторюваності робочих

швидкостей установки. З цією метою, Х. Нфауї та іншими [6] була побудована модель, за допомогою якої зроблено розрахунок погодинної послідовності швидкості вітру на ст. Танжер.

Основу вихідної інформації для визначення кліматичних характеристик вітроенергетичних ресурсів становлять матеріали регулярних спостережень на мережі метеорологічних станцій. Відповідно до рекомендацій Головної геофізичної обсерваторії ім. А.І. Воейкова [7], для отримання стійких значень середньої швидкості вітру достатнім є 10-річний ряд спостережень. Як можна бачити з огляду попередніх досліджень, переважна їх більшість для території Марокко була зроблена принаймні на початку 2000-х років і тому є надзвичайно актуальним здійснення нових досліджень на актуальному та сучасному метеорологічному матеріалі, що й було започатковано у роботі Сліже та інших [8], в якій представлені результати дослідження сезонних змін швидкості та напрямку вітру в Марокко за період 2005-2014 рр. і були виявлені два типи річного ходу швидкості вітру, а так само визначені переважачі напрямки вітру на досліджуваних станціях.

Метою ж цього дослідження є виявлення особливостей сучасного вітрового режиму Марокко для оцінки вітроенергетичного потенціалу.

2. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА МАРОККО

2.1 Географічне положення Марокко

Марокко знаходиться на північному сході Африки, на широті від 20° до 35° півн. ш. Площа території складає 446550 км². На півночі Марокко омивається водами Середземного моря, а на заході – Атлантичного океану. Марокко відокремлюється від Європи Гібралтарською протокою. Східні кордони проходять всередині континенту. Найвищою точкою країни є гора Тубкаль (4165 м), яка розташована у хребті Високого Атласу, а найнижча – Себха-Тах (55 м нижче рівня моря). Річки Мулуя і Себу – головні річки країни.

Довжина берегової лінії Марокко становить 1835 км і, в основному, покрита піщаними пляжами, розділеними виходом скелястих порід. Берег в районі Рифа стрімкий, з вузькою смугою пляжів.

Територію країни можна розділити на чотири фізико-географічні регіони: Ер-Риф (гірський район), розташований паралельно Середземноморському узбережжю, його висота не перевищує

1500 м; Атлаські гори, які пролягають з південного заходу на північний схід і розділені на три основні хребти: Антиатлас (2360 м), Високий Атлас, вершини якого перевищують 3700 м, і Середній Атлас, північна частина якого є плато, розташоване на висоті близько 1800 м; регіон прибережних рівнин, що лежать на Атлантичному узбережжі; долини, розташовані на південь від Атлаських гір, що переходять у пустелю.

Гірський хребет Атлас проходить через центр країни, утворюючи розділову лінію між двома основними кліматичними зонами, середземноморським північним прибережним регіоном, а також південним, внутрішнім районом, який лежить на краю гарячої пустелі Сахара.

2.2 Клімат Марокко

Розташування між посушливими районами Західної Сахари і помірними середземноморськими і атлантичними регіонами забезпечує велику різноманітність кліматичних умов від помірно вологих і субгумідних кліматів на північних схилах Високого Атласу і гірського клімату вище до напівзасушливих і посушливих кліматичних умов на південь від Атласу. Типи ландшафту змінюються від рівнинних зон в північно-західній частині до високогірних районів Атласу і Рифа [9].

Температури в прибережних районах коливаються між 22-25 °С влітку (липень, серпень, вересень) і 10-12 °С в зимовий період (січень, лютий, березень). На великих висотах в Атлаських горах температури протягом року є значно нижчими за цей діапазон. Сезон дощів має місце зачіпаючи тільки на півночі Марокко і триває з листопада по березень з кількістю опадів в середньому від 50 до 100 мм на місяць. У Сахарі середньорічна сума опадів не перевищує 200 мм, але іноді опади можуть взагалі не випадати протягом року. Районами з найбільшим зволоженням є Риф, Середній Атлас і вершини Високого Атласу (в деякі роки кількість опадів перевищує 1000 мм). Середньорічні суми опадів на прибережних Атлантичному океану рівнинах коливаються від 533 мм в Рабаті до 254 мм у Марракеші. В горах, на висотах понад 1500 м, з листопада по березень можуть спостерігатися опади у вигляді снігу [9].

Внутрішні прикордонні області Марокко відчувають ряд сезонних коливань температури, із середньою температурою від 25 до 30 °С в літній період і значним зниженням взимку до менш ніж 15 °С. Цей регіон є дуже сухим протягом цього року.

Найбільш спекотній клімат спостерігається у Марракеші, де з травня по вересень денна температура знаходиться в межах 38-40 °С. Влітку в горах на рівні 1500 м максимальні температури не перевищують 32 °С. З вторгненням теплого морського повітря взимку пов'язані часті тумани на узбережжі [10].

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

За даними спостережень за вітром на 25 метеостанціях Марокко були розраховані середньорічні значення швидкості вітру та повторюваність швидкості вітру по градаціях для періоду 2005-2014 рр.

3.1 Міжрічна мінливість швидкості вітру

Розподіл середньої швидкості вітру по території Марокко (рис. 1) має нерівномірний характер. Найбільші значення вона набуває у південній частині країни і на Атлантичному узбережжі. У центральних гірських районах середня швид-

кість вітру не перевищує 3 м/с. Максимальне значення середньої за досліджуваний період швидкості вітру фіксується на ст. Дахла (7,7 м/с), а мінімальне – на ст. Таза (1,5 м/с). Середня швидкість вітру більше 5 м/с спостерігалася також на ст. Тан-Тан (5,7 м/с).

У дослідженому періоді максимальна величина середньорічної швидкості вітру фіксувалася у 2014 р. на ст. Дахла (9,0 м/с), мінімальна у 2012 р. на ст. Таза (1,2 м/с).

Аналіз показав, що на більшості станцій у 2012-2014 рр. спостерігалася зростання середньорічної швидкості вітру.

На рис. 2 представлені середні швидкості вітру на станціях Марокко для періодів 1980-1999 рр. та 2005-2014 рр. Аналіз продемонстрував, що відбувалося як зростання, так і зменшення швидкості вітру, в основному зміни мають незначний характер, але на деяких станціях вони досягають 20-44 % від величини.

Наприклад, на ст. Уарзаат середня швидкість

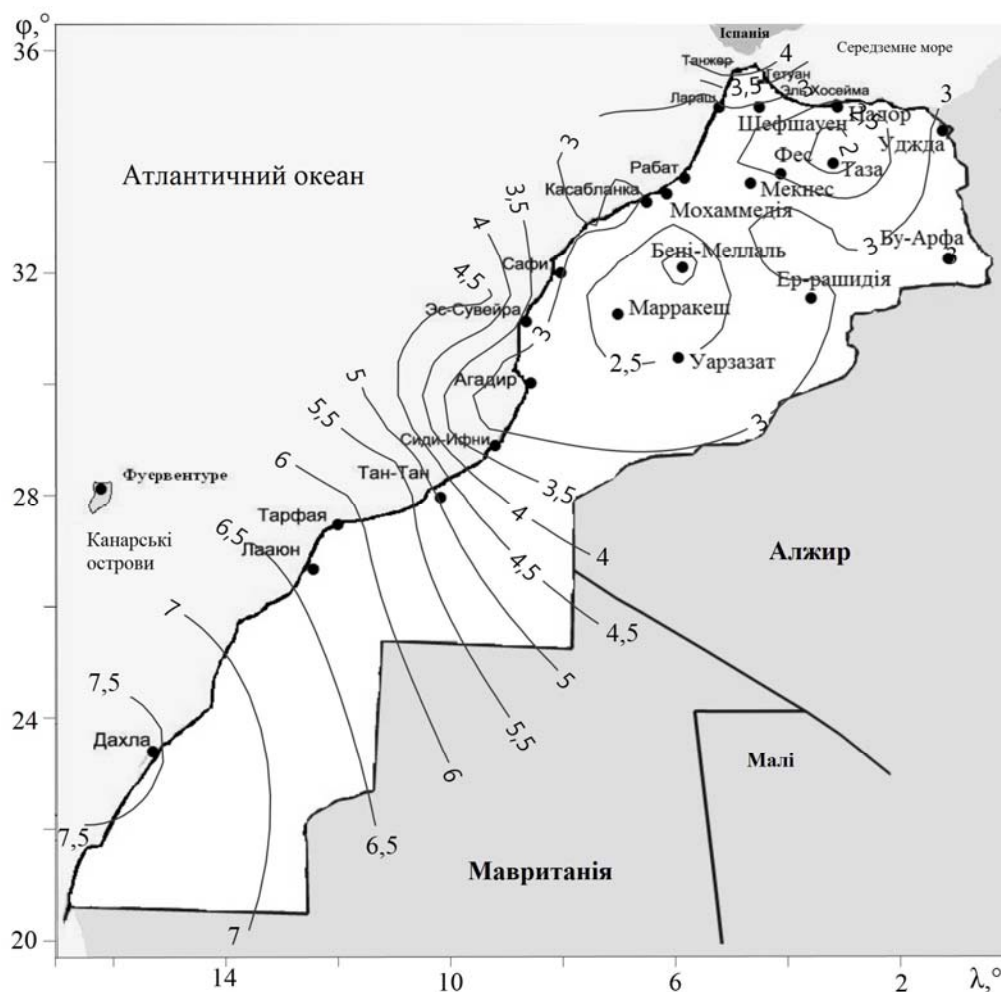


Рис. 1 – Середня швидкість вітру у Марокко за період 2005-2014 рр. за даними спостережень на метеорологічних станціях.

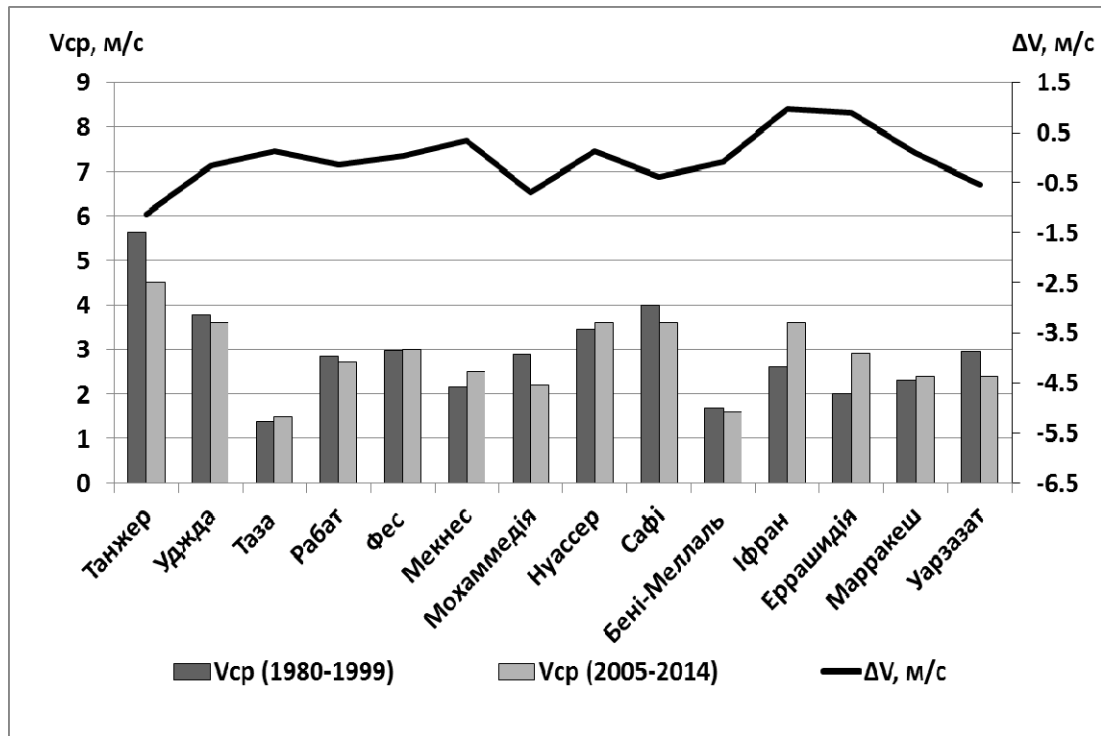


Рис. 2 – Середні швидкості вітру над Марокко за періоди 1980-1999 рр. та 2005-2014 рр. за даними спостережень на метеорологічних станціях.

вітру знизилася на 19 %, ст. Танжер – на 20 %, ст. Мохаммедія – на 24 %. На станціях Іфран і Еррашидія відбулось її зростання на 38 і 44 %, відповідно. Такі зміни можуть пояснюватися як будівництвом поблизу станції, Танжер і Мохаммедія – це портові місця зі зростаючою інфраструктурою – так і зміною циркуляційних умов.

Населені пункти Уарзаат і Еррашидія розташовані на відстані 250 км один від одного, в долині що пролягає між хребтами Високого Атласу та Антиатласу, на висоті близько 1200 м, і зміна швидкості вітру, на цих станціях, може бути викликана зміною напрямку переважаючих потоків повітря при натіканні на гірські схили з різною орієнтацією.

В цілому на інших станціях Марокко зміни не такі істотні.

3.2 Повторюваність швидкостей вітру

Повторюваність швидкості вітру по градаціях, як і середня швидкість вітру, є одним з параметрів які входять до переліку кліматичних показників, за допомогою яких проводиться оцінка теоретичного вітроенергетичного потенціалу території, вона є статистичним показником, який характеризує режим швидкості вітру [11].

З метою виявлення розподілу швидкості вітру по групах різної сили вітру, була розрахована повторюваність швидкості вітру по градаціях на

станціях за досліджуваний період. Використовувалися такі градації: штиль (0 м/с), слабкий вітер (1-4 м/с), помірний вітер (5-7 м/с), свіжий вітер (8-10 м/с), сильний вітер (11-15 м/с), міцний і дуже міцний вітер (16 м/с і більше).

Аналіз розподілу повторюваності швидкості вітру по градаціях дозволив розділити метеостанції за такими групами.

До першої групи належать станції, на яких переважно спостерігається слабкий вітер, а вітер інших швидкостей, включаючи штиль, спостерігається приблизно в 30 % із загального числа випадків (рис. 3). Дана група станції, характеризується таким розподілом повторюваності швидкості вітру: в 65-80 % випадків спостерігається слабкий вітер, штиль в 5-16 % випадків, помірний вітер спостерігається в 3-18 %, свіжий вітер зафіксований в 1-4 % спостережень. До цієї групи належать станції: Сіді-Іфні, Лараче, Ель-Хосейма, Рабат, Фес, Мекнес, Бені-Меллаль, Еррашидія, Марракеш, Агадір-аль-Массіра. Ці станції розташовані в горах Рифа, та в районі Середнього і Високого Атласу.

На станціях другої групи переважає, так само слабкий вітер, але з деяким перерозподілом кількості випадків між слабким і помірним вітром (рис. 4). Ця група, характеризується таким

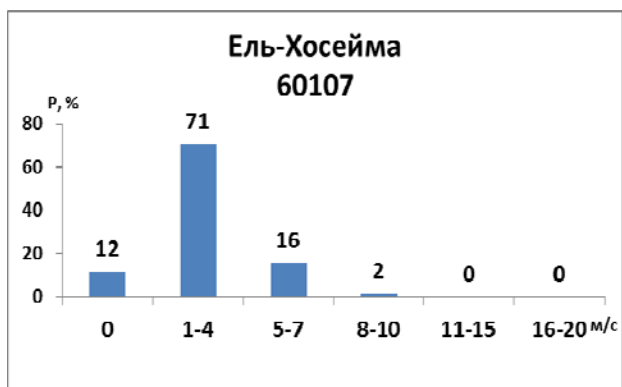


Рис. 3 – Повторюваність (%) швидкостей вітру на ст. Ель-Хосейма.

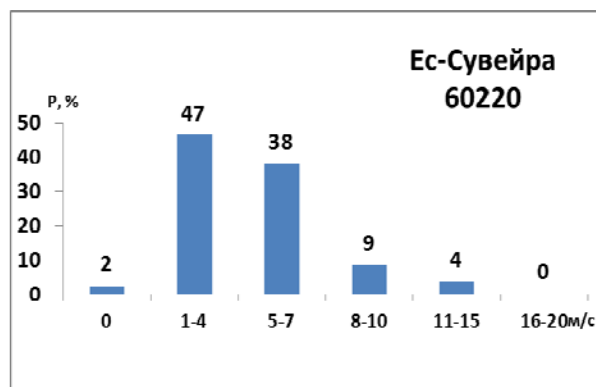


Рис. 5 – Повторюваність (%) швидкостей вітру на ст. Ес-Сувейра.

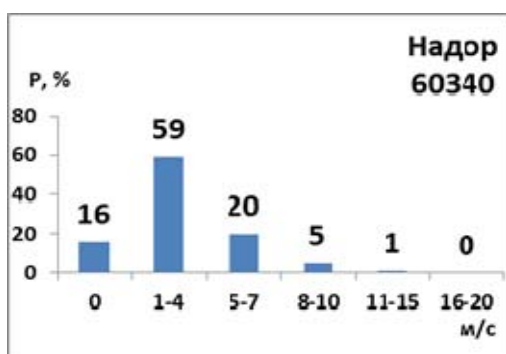


Рис. 4 – Повторюваність (%) швидкостей вітру на ст. Надор.

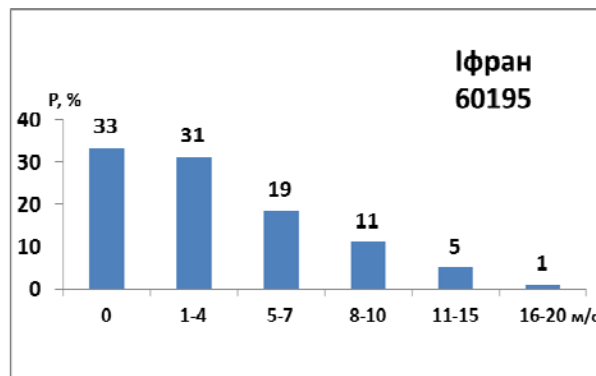


Рис. 6 – Повторюваність (%) швидкостей вітру на ст. Іфран.

розподілом повторюваності швидкості вітру: в 59-65 % випадків спостерігається слабкий вітер, штилі у 4-16 %, помірний вітер у 20-26 %, на частку свіжого вітру припадає 2-8 % числа спостережень. До цієї групи належать станції: Шефшауен, Уджада, які розташовані в гірському районі Ер-Рифа, Надор – на березі Середземного моря, та Нуассер у 25 км від Атлантичного узбережжя.

У даній групі можна виділити окрему підгрупу станції Танжер і Ес-Сувейра (рис. 5), на яких штилі складають 2-8 % від загального числа спостережень, в 46-47 % фіксувався слабкий вітер, в 29-38 % – помірний, в 9-13 % – свіжий вітер і 4 % припадає на сильний вітер зі швидкістю 11-15 м/с. Дані станції лежать на Атлантичному узбережжі Марокко, Танжер у його північній частині, Ес-Сувейра в 600 км на південь.

До третьої групи належать станції зі значною повторюваністю штилів і слабого вітру (рис. 6). Штилі, на цих станціях, становлять 24-46 %, на долю слабого вітру випадає 31-50 %, помірний складає 4-21 % випадків. Повторюваність свіжого вітру коливається у таких межах: практично відсутні на ст. Таза і спостерігаються у 11 % випадків на ст. Іфран. До даної групи належать

станції розташовані в Середньому Атласі (ст. Таза, Іфран, Уарзат), на березі Середземного моря (ст. Сіді-Бель-Аббесі), та на кордоні Марокко з Алжиром у горах Сахарський Атлас (ст. Бешар).

Четверта група визначається переважанням помірного та свіжого вітру (рис. 7). На станціях цієї групи спостерігається такий розподіл швидкості вітру: в 29-39 % випадків фіксується помірний вітер, 24-34 % – свіжий, 16-32 % – слабкий, 3-19 % – сильний вітер. На частку штилів припадає 1-2 % числа спостережень. До даної групи належать станції: Тан-Тан і Дахла, які лежать у південній частині узбережжя Атлантичного океану.

4. ВИСНОВКИ

В останнє десятиріччя на станціях Марокко спостерігалось зростання швидкості вітру, особливо в 2011-2014 рр.

На більшості станцій переважає слабкий вітер, який вносить основний вклад у формування вітрового режиму даної території. В районі Гібралтарської протоки, Атлантичному узбережжі та у південній частині країни переважає

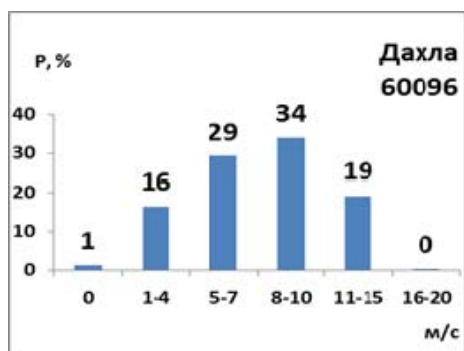


Рис. 7 – Повторюваність (%) швидкостей вітру на ст. Дахла.

помірний і свіжий вітер. До станцій зі середньою швидкістю вітру більше 5 м/с належать ст. Тан-Тан і Дахла, розташовані у південній частині Атлантичного узбережжя. Повторюваність швидкостей вітру нижче 5 м/с на цих станціях становить 34 % та 17 %, відповідно. Це свідчить про наявність більш сприятливих умов, в даному регіоні, для розміщення вітроенергетичних установок.

Перспективні дослідження за цією тематикою можуть бути зроблені для характеристик вітру в Марокко у найближчому майбутньому. Вихідними даними для такої роботи можуть бути дані моделювання регіональних кліматичних моделей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Fishedick M. *Renewable Energy Transitions in Jordan and the MENA Region*. Amman: Friedrich Ebert Stiftung. 2015. URL: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/amman/12045.pdf> (accessed 28 April 2017)
2. Киселева С. В., Рафикова Ю. Ю. Использование климатических баз данных для оценки природно-ресурсного и технического потенциала ветровой энергии // Вестник аграрной науки Дона. 2010. № 1. С. 27-32.
3. Рекомендации по определению климатических характеристик ветроэнергетических ресурсов. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 80 с.
4. Nfaoui H., Buret J., Sayigh A. A. M. Wind characteristics and wind energy potential in Morocco. *Solar Energy*, 1998, vol. 63, no. 1, pp. 51-60.
5. Nfaoui H., Essiarab E., Sayigh A.A.M. Wind energy and its economy in south of Morocco. *Proceedings of the 8th World Renewable Energy Congress. 28 August – 3 September 2004*. Denver, Colorado (USA), 646 p.
6. Nfaoui H., Buret J., Sayigh A. A. M. Stochastic simulation of hourly average wind speed sequences in Tangiers (Morocco). *Solar Energy*, 1996, vol. 56, no. 3, pp. 301-314.
7. Методические указания «Проведение изыскательских работ по оценке ветроэнергетических ресурсов обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергетических установок». РД 52.04.275-89. М.: Госкомгидромет, 1991. 57 с.
8. Слиже М. О., Семергей-Чумаченко А. Б., Эль Хадри Ю. Современное распределение ветра в Марокко // Український гідрометеорологічний журнал. 2016. №17. С. 61-70. <http://uhmj.odeku.edu.ua/uk/sovremennoe-raspredelenie-vetra-v-marokko/>

9. Born K., Christoph M., Fink A. H., Knippertz P., Paeth H., Speth P. Moroccan Climate in the Present and Future: Combined view from Observational Data and Regional Climate Scenarios. *Climatic Changes and Water Resources in the Middle East and North Africa: Part of the series Environmental Science and Engineering*, 2008. pp. 29-45. (Eds.: Zereini F. H., Hötzl A. A.)
10. Гаврилов Н. И. Марокко. М.: Географгиз, 1998. 187 с.
11. Кобышева Н. В., Наровлянский Г. Я. Климатическая обработка метеорологической информации. Л.: Гидрометеоздат, 1978. 296 с.

REFERENCES

1. Fishedick M. *Renewable Energy Transitions in Jordan and the MENA Region*. Amman: Friedrich Ebert Stiftung. 2015. URL: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/amman/12045.pdf> (accessed 28 April 2017)
2. Kiseleva S. V., Rafikova Yu. Yu. The use of climate databases to assess the natural resource and technical potential of wind energy. *Vestnik agrarnoy nauki Dona – Don Agrarian Science Bulletin*, 2010, no. 1. pp. 27-32. (In Russian)
3. *Rekomendatsii po opredeleniyu klimaticheskikh kharakteristik vetroenergeticheskikh resursov* [Recommendations for the determination of climatic characteristics of wind energy resources]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989. 80 p.
4. Nfaoui H., Buret J., Sayigh A. A. M. Wind characteristics and wind energy potential in Morocco. *Solar Energy*, 1998, vol. 63, no. 1, pp. 51-60.
5. Nfaoui H., Essiarab E., Sayigh A.A.M. Wind energy and its economy in south of Morocco. *Proceedings of the 8th World Renewable Energy Congress. 28 August – 3 September 2004*. Denver, Colorado (USA), 646 p.
6. Nfaoui H., Buret J., Sayigh A. A. M. Stochastic simulation of hourly average wind speed sequences in Tangiers (Morocco). *Solar Energy*, 1996, vol. 56, no. 3, pp. 301-314.
7. *Metodicheskie ukazaniya «Provedenie izyskatel'skikh rabot po otsenke vetroenergeticheskikh resursov obosnovaniya skhem razmeshcheniya i proektirovaniya vetroenergeticheskikh ustanovok»*. RD 52.04.275-89. [Methodical instructions "Carrying out of prospecting works for the evaluation of wind energy resources for the justification of layouts for the layout and design of wind power plants". RD 52.04.275-89] Moscow: Goskomgidromet, 1991. 57 p.
8. Slizhe M. O., Semergey-Chumachenko A. B., El' Hadri Yu. Current distribution of wind in Morocco. *Ukr. gidrometeorol. ž. - Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 2016, no. 17, pp. 61-70. (In Russian). <http://uhmj.odeku.edu.ua/uk/sovremennoe-raspredelenie-vetra-v-marokko/>
9. Born K., Christoph M., Fink A. H., Knippertz P., Paeth H., Speth P. Moroccan Climate in the Present and Future: Combined view from Observational Data and Regional Climate Scenarios. *Climatic Changes and Water Resources in the Middle East and North Africa: Part of the series Environmental Science and Engineering*, 2008. pp. 29-45. (Eds.: Zereini F. H., Hötzl A. A.)
10. Gavrilo N. I. *Marokko* [Morocco]. Moscow: Geografiz, 1998. 187 p.
11. Kobysheva N. V., Narovlyanskiy G. Ya. *Klimaticheskaya obrabotka meteorologicheskoy inoformatsii* [Climate processing of meteorological information]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1978. 296 p.

MODE OF THE WIND SPEED IN MOROCCO IN EARLY XXI CENTURY

Youssef El Hadri, PhD student,
V. M. Khokhlov, Dr Sci (Geogr.), Prof.

*Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, magribinets@ukr.net*

The energy system in Morocco is strongly dependent on external energy markets. Currently, Morocco imports more than 93% of energy. In 2009, the Moroccan Government has developed a National Energy Strategy containing ways to increase a generation of renewable energy in the country. This study aims to identify features of current wind regime in Morocco in order to assess the resources of wind energy.

The data on the wind speed from 25 meteorological stations in Morocco for the period 2005-2014 were used to calculate the values of annual mean wind speed and the frequency of different wind speeds. The comparison of annual mean wind speed for the periods 1980-1999 and 2005-2014 showed that the recent values have increased especially in 2011-2014.

Light wind prevails at most stations of Morocco. Nevertheless, moderate and fresh wind prevails near the Gibraltar Strait, the Atlantic coast and in the southern part of country. These stations are Tan-Tan and Dakhla located in the southern part of the Atlantic coast. At these stations, the frequency of wind speeds below 5 m/s is the 34% and 17% respectively. This allows concluding that the conditions for wind power plants are favorable in southern part of the Atlantic coast.

Keywords: Wind Speed, Frequency, Wind Conditions.

РЕЖИМ СКОРОСТИ ВЕТРА В МАРОККО В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

Юсеф Эль Хадри, асп.,
В. Н. Хохлов, д-р геогр. наук, проф.

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, magribinets@ukr.net*

В работе описаны результаты исследования скорости ветра на 26 метеорологических станциях Марокко за период 2005-2014 гг. Проведен сравнительный анализ средней скорости ветра за периоды 1980-1999 гг. и 2005-2014 гг. Представлены результаты расчета повторяемости скорости ветра по группам различной силы ветра. Определены районы с преобладанием скоростей ветра, благоприятных для развертывания ветроэнергетических установок.

Ключевые слова: скорость ветра, повторяемость, режим ветра.

*Дата першого подання: 17. 05. 2017
Дата надходження остаточної версії: 16. 06. 2017
Дата публікації статті: 29. 06. 2017*