

С.М. БОЙКО, М.В. КІРЮХІНА
 Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету
 С.Я. ВИШНЕВСЬКИЙ
 Вінницький національний технічний університет
 А.В. НЕКРАСОВ, А.Ю. ДМИТРЕНКО
 Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

ПЕРЕДУМОВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВ В МЕЖАХ БЕРЕГОВИХ ЗОН ВОДОЙМ УКРАЇНИ

Дослідження, проведене у статті, показало, що особливо великі водоймища мають позитивний вплив на швидкість та стабільність вітру. Аналіз можливості впровадження вітроенергетичних станцій та комплексів на узбережжі водойм в цілому та в умовах залізрудного підприємства ВАТ «Полтавський ГЗК» показав позитивний вплив водойм, залежно від їх об'єму та віддаленості, на енергетичні показники вітроенергетичних станцій. Запропоновано структуру системи електропостачання насосної станції від вітроенергетичного комплексу, що також може бути використана в ході впровадження вітроенергетичних станцій в умовах підприємства ВАТ «Полтавський ГЗК». Україна має потужні ресурси вітрової енергії: річний технічний вітроенергетичний потенціал дорівнює 30 млрд кВт·год. Експлуатація тихохідних багатолопатевих вітроустановок з підвищеним обертаючим моментом є ефективною практично на всій території України [1]. Між тим, в Україні налічується близько 30 тисяч водосховищ, ставків, великих каналів, з поміж яких 10 великих водоводів у водозабірних басейнах річок. У зв'язку з цим в країні створено комплекс водозахисних дамб загальною протяжністю 3,8 тис. км, 1,2 тис. км берегових укріплень [2]. В ряді попередніх досліджень автори обґрунтовують позитивний ефект водойм на енергетичні показники вітру, а саме збільшення швидкості та стабільності вітру у береговій зоні водойм, і чим більша водойма тим більший ефект. Таким чином ці об'єкти, а це в масштабах України сотні гектарів, за всіма своїми параметрами можуть і повинні стати полігоном для розміщення комплексів ВЕС, які по суті повинні стати міні- або мікроелектростанціями в структурі систем електропостачання підприємств України, у тому числі залізрудних [3].

Ключові слова: ресурси вітрової енергії, вітроенергетичні станції, узбережжя водойм, тихохідні багатолопатеві вітроустановки.

S.M. BOIKO, M.V. KIRIUKHINA
 Kremenchuk Flight College of the National Aviation University
 S.YA. VYSHNEVSKYI
 Vinnytsia National Technical University
 A.V. NEKRASOV, A.YU. DMYTRENKO
 Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

prerequisites OF THE IMPLEMENTATION OF WIND POWER STATIONS FOR ELECTRICITY SUPPLY OF ENTERPRISES WITHIN COASTAL ZONES OF UKRAINIAN WATERS

The study, presented in this article, showed that especially large reservoirs have a positive effect on the speed and stability of the wind. The analysis of the possibility of the introduction of wind power stations and complexes on the coast of the reservoirs in general and in the conditions of the iron ore company OJSC "Poltava ore mining and processing plant" has shown a positive influence of reservoirs, depending on their volume and distance, on the energy indexes of wind power stations. The authors have proposed the structure of the electricity supply system of the pump station from the wind power complex, which can also be used in the course of the implementation of wind power stations in the conditions of the enterprise OJSC "Poltava ore mining and processing plant". Ukraine has powerful wind energy resources: the annual technical wind energy potential is 30 billion kW·h. Operation of slow-moving multi-vane wind turbines with an increased torque is effective practically all around Ukraine [1]. Meanwhile, in Ukraine there are about 30 thousand water reservoirs, ponds, large canals, 10 of which are large water conduits in the water catchment areas of the rivers. In this regard, a complex of water protection dams with a total length of 3.8 thousand km and 1.2 thousand km of coastal fortifications were created in the country [2]. In some previous researches the authors substantiate the positive effect of water reservoirs on wind energy indexes, such as increasing of the speed and stability of wind in the coastal zone of reservoirs; the larger the reservoir is the greater the effect is. Thus, these objects (that is hundreds of hectares on the scale of Ukraine) according to all their parameters can and should become a testing ground for the installation of wind energy complexes, which in essence should become mini- or micro-power plants in the structure of the power supply systems of Ukrainian enterprises, including iron ore enterprises [3].

Key words: wind power resources, wind power stations, the coast of the water reservoirs, slow-moving multi-vane wind turbines.

Мета роботи

Метою роботи є аналіз можливості впровадження вітроенергетичних станцій та комплексів на узбережжі водойм в цілому та в умовах підприємств, що розташовані у зазначеній зоні, у тому числі залізрудних.

Матеріал і результати досліджень

Як відомо, переважна більшість орографічних утворень в Україні (Волинська, Подільська, Придніпровська та Донецька височини, Придніпровська низовина й Українські Карпати) орієнтовані з північного заходу на південний схід відповідно до напрямку основних геоструктурних елементів. Середня швидкість вітру, близько 4 м/с, спостерігається в центральних частинах лісостепової і степової зон,

Чернігівському Поліссі, північній частині Полтавсько-Роменської лісостепової області Придніпровської низовини і підобласті передгір'я Кримських гір. Весною на більшій частині території України переважають середні швидкості вітру (4–5 м/с), влітку – 3–4 м/с. Восени майже на всій лісостеповій зоні спостерігаються швидкості вітру в межах 3–4 м/с. Степова зона характеризується швидкостями вітру 4–5 м/с.

Окрім вище зазначеного, на місцеві особливості клімату України впливають також і водойми, що займають близько 0,3 % площі території країни. Вплив водосховищ, відстійників, ставків і боліт на режим метеорологічних величин різний. Найбільше водосховища впливають на вітер: його швидкість над акваторією та узбережжям підвищується на кілька десятків відсотків [4].

Деяке зростання швидкостей вітру спостерігається повсюдно на прибережному схилі, що спричинене насамперед близькістю водосховища. Швидкість вітру над акваторією водосховища майже не змінюється (15–20%) в холодний період, а в теплий період зростає на 50–100%. Восени на навітряному березі водосховища спостерігається збільшення в 2–3 рази повторюваності сильних вітрів (понад 15 м/с) в порівнянні з вихідними вітровими умовами. В сторону суші бризи можуть проникати на відстань 3 км і більше, захоплюючи по висоті зону в 100–300 м. За наявності вітру із суші швидкістю понад 4 м/с, бриз зазвичай не утворюється [4].

Тому створення гідровулів головним чином викликає зміни у мікрокліматі прилеглих територій, причому ступінь їх впливу зменшується зі зростанням відстані від зрізу води. Причини таких змін, у першу чергу, пов'язані з підвищенням сумарної радіації та зміною радіаційного балансу водойми, а також більшою величиною теплоємності водної маси у порівнянні з сушею. На узбережжі великих водоймищ, наприклад водосховищ, виникають ознаки «приморського клімату»: підвищується вологість повітря, зменшується добова амплітуда температур, виникає бризова циркуляція. Під час створення водосховищ змінюється добовий хід швидкості вітру. Над акваторією максимальна швидкість вітру реєструється в нічні години, а мінімальна – у денні. На узбережжі цей розподіл інший: максимум – у денні години, а мінімум – у ранкові [4].

Енергетичні установки зазвичай використовують вітер у приземному шарі на висоті до 50...70 м, рідше – до 100...150 м від поверхні Землі, тому найбільший інтерес представляють характеристики руху повітряних потоків саме в цьому шарі. Найважливішою характеристикою, що визначає енергетичну цінність вітру, є його швидкість. В силу ряду метеорологічних чинників (збурення атмосфери, зміни сонячної активності, кількості теплової енергії, що поступає на Землю, та інших причин), а також внаслідок впливу рельєфних умов, безперервна тривалість вітру в даній місцевості, його швидкість і напрямок змінюються за випадковим законом. Тому потужність, яку може виробляти вітроустановка в різні періоди часу, вдається передбачати з дуже малою ймовірністю. У той же час сумарне вироблення агрегату, особливо за тривалий проміжок часу, можна розрахувати з високим рівнем достовірності, так як середня швидкість вітру і частота розподілу швидкостей протягом року або сезону змінюються незначно.

Як і будь-яке рухоме тіло, вітер володіє певним запасом кінетичної енергії, яка може бути перетворена в механічну роботу або електричну енергію за допомогою спеціальних пристроїв і установок, що одержали назву вітряних. Швидкість вітру є найважливішою характеристикою технічних властивостей вітру. Кінетична енергія вітрового потоку E , як всякого тіла, що рухається зі швидкістю V і має масу γ , дорівнює [5]:

$$E_{кін} = \frac{\gamma v^2}{2}. \quad (1)$$

У свою чергу, маса повітря в перерізі перед вітроагрегатом є масовою витратою повітря, що могло б пройти через площу S вітроколеса за одиницю часу, маючи щільність ρ :

$$m = \rho v A, \quad (2)$$

де $\rho = \frac{\gamma}{g}$ – масова щільність повітря; γ – питома вага повітря; g – прискорення сили тяжіння; A – площа, через яку протікає вітровий потік; v – швидкість вітру.

Площа обмахування вітроколеса – це геометрична проекція площі вітроколеса на площину, перпендикулярну вектору швидкості вітру. У разі перпендикулярності вектора швидкості вітру до площі обмахування S , її величина визначається за формулами [6]:

– для горизонтально-осьового вітродвигуна:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}; \quad (3)$$

– для вертикально-осьового вітродвигуна:

$$A = D \cdot H. \quad (4)$$

Розглянемо трубку потоку повітря радіусом R зі швидкістю потоку V і визначимо масу повітря, що проходить через перетин трубки в одиницю часу:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot dl = \rho \cdot A \cdot v \cdot \Delta t = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v \cdot \Delta t, \quad (5)$$

де ρ – питома щільність (вага) повітря, кг/м³; V – об'єм, який займає повітря, м³; A та R – відповідно площа і радіус трубки потоку повітря, м², м; dl – елемент довжини потоку, який долається за час Δt .

Отже, отримаємо рівняння для визначення кінетичної енергії повітряного потоку (вітру) та його потужності [6]:

$$E_{\text{кін}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3 \cdot t. \quad (6)$$

Таким чином, з формул 1–6 видно, що найбільший вплив на енергетичні показники вітру має швидкість вітру, а на другому місці – щільність повітря.

Сучасні вітрогенератори перетворюють в механічну енергію не більше 45–48% кінетичної енергії вітрового потоку. Тому теоретична максимальна потужність вітроустановки не перевищує:

$$W_{\text{т}} = \frac{\xi \cdot \rho \cdot v^3 \cdot F}{2} \quad (7)$$

На підставі даних спостереження швидкостей вітру за висотою деякими дослідниками виведено узагальнюючі формули для визначення швидкості вітру за висотою. З них найбільш проста залежність для висоти від 5 м і вище має наступне вираження:

$$V_1 = V_0 \cdot \left(\frac{H_1}{H_0} \right)^k, \quad (8)$$

де V_1 – швидкість вітру на заданій висоті; V_0 – швидкість вітру на відомій висоті (для метеостанцій прийнято 10 м); H_1 – задана висота; H_0 – висота виміру; k – емпіричний показник жорсткості провітрюваної поверхні.

Із наведеної вище формули всі показники відомі, крім ступеня k . Значення k в багатьох роботах приймається $k=0,143$. В нормативних документах рекомендують $k=0,2$. В США для різних місць представлені значення від 0,2 до 0,26. Під час вимірювань на різних висотах значення k досягає 0,34. В окремих працях для України використовується $k=0,167$. Тим не менш підбір значень потребує обережності [7].

Так як місцем для встановлення вітроенергетичної станції розглядається відвал, що являє собою повністю відкритий ландшафт, то степеневий показник жорсткості приймаємо 0,2.

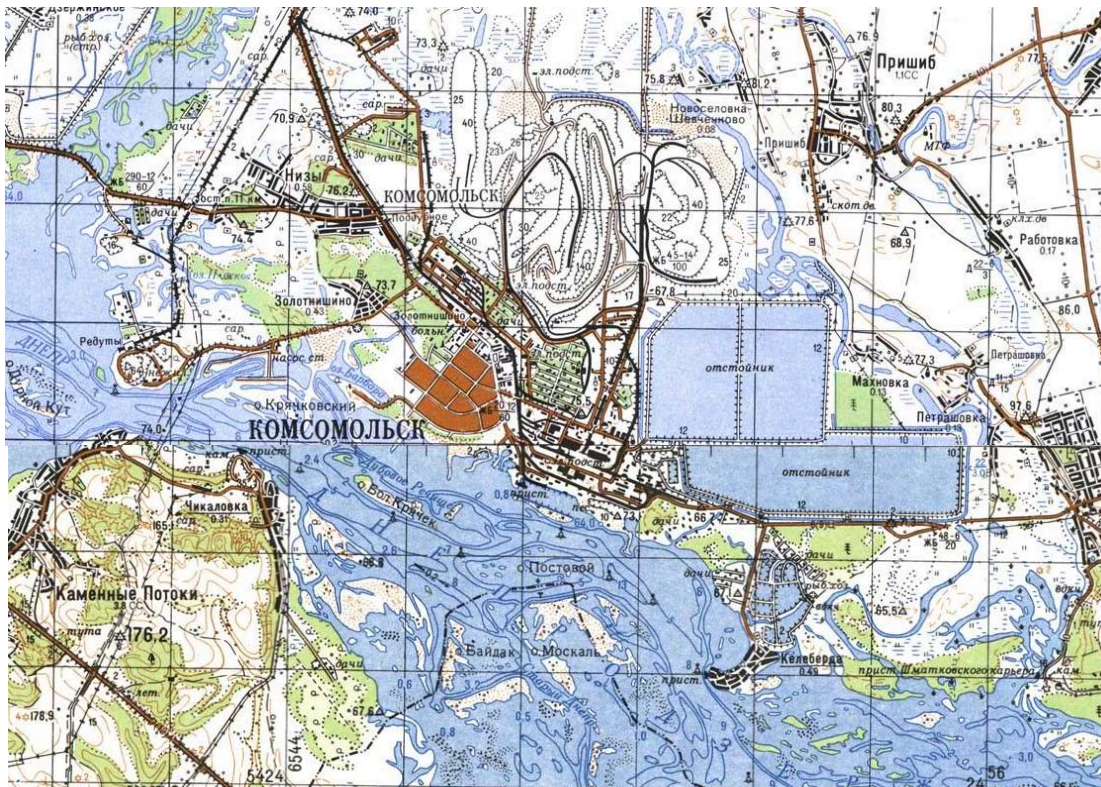


Рис. 1. Розташування залізрудного підприємства ВАТ «Полтавський ГЗК» відносно навколишніх природних та штучних водойм

Таким чином, враховуючи перераховану проблематику організації функціонування насосних та компресорних станцій гідрозахисних споруд, у тому числі систем їх електропостачання та факт розташування на узбережжі Дніпродзержинського водосховища одного з потужних залізрудних підприємств України ВАТ «Полтавський ГЗК» (рис. 1), що має у своєму складі, за технологією, гідротехнічні споруди (відстійники), було запропоновано розташування вітроенергетичних комплексів (ВЕК) та вітроенергетичних станцій (ВЕС) в межах берегової зони водойм. Встановлення ВЕК та ВЕС біля

водойм, в перше чергу, сприятиме покращенню їх енергетичних показників та збільшенню надійності систем електропостачання насосних та компресорних станцій гідрозахисних споруд та насосних станцій ВАТ «Полтавський ГЗК».

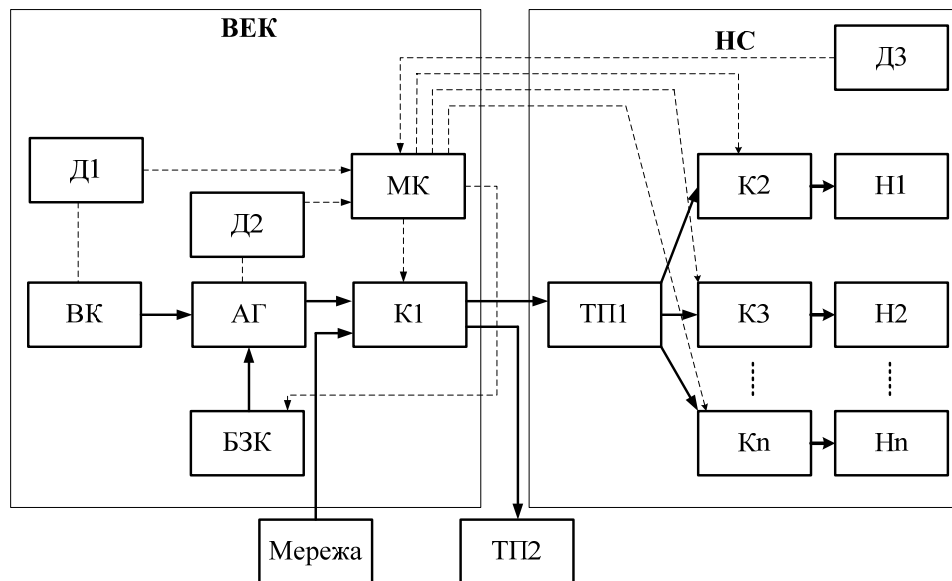


Рис. 2. Структура системи електропостачання насосної станції від вітроенергетичного комплексу:
ВЕК – вітроенергетичний комплекс; **НС** – насосна станція; **ВК** – вітрове колесо; **АГ** – асинхронний генератор;
МК – мікроконтролер; **БЗК** – блок збуджуючих конденсаторів; **Н1, Н2, Нn** – насоси;
ТП1, ТП2 – трансформаторна підстанція; **К1, К2, К3, Кn** – комутатор; **Д1** – датчик частоти обертів **ВК**;
Д2 – датчик напруги та частоти напруги згенерованої **АГ**; **Д3** – датчик рівня води

В основу запропонованого схемного рішення (рис. 2) поставлена задача підвищення ефективності роботи системи електропостачання з використанням додаткового джерела енергії на базі вітроустановки, що дозволить підвищити надійність та безперебійність електропостачання підключених до нього споживачів (у тому числі насосних станцій). Таким чином, при впровадженні запропонованого схемного рішення система має можливість корегувати роботу вітроустановки як додаткового джерела живлення на одну спільну систему електропостачання насосної станції кар'єру, в результаті аварійної ситуації насосна станція живиться від магістральної електромережі, система за необхідності може підключати та відключати певну кількість насосів, з метою регулювання навантаження та ефективної роботи насосної станції, що зумовлює підвищення надійності електропостачання насосної станції і підвищує ефективність роботи вітроенергетичного комплексу [8–11].

Висновки. 1. Аналіз можливості впровадження вітроенергетичних станцій та комплексів на узбережжі водойм в цілому та в умовах залізничного підприємства ВАТ «Полтавський ГЗК» показав позитивний вплив водойм, залежно від їх об'єму та віддаленості, на енергетичні показники вітроенергетичних станцій.

2. Запропоновано структуру системи електропостачання насосної станції від вітроенергетичного комплексу, що також може бути використана в ході впровадження вітроенергетичних станцій в умовах підприємства ВАТ «Полтавський ГЗК».

Література

1. Клімат України / [за ред. В.М. Лівійського, В.А.Дячука, В.М. Бабіченко]. – К. : Вид-во Раєвського, 2003. – С. 133.
2. Загальна гідрологія : підр. / [Левківський С.С., Хільчевський В.К., Оболюцький О.Т. та ін.] ; за ред. С.М. Лисогора. – К. : Фітосоціоцентр, 2000. – 264 с.
3. Аерологія гірничих підприємств / [А.О. Гурін, П.В. Бересневич, А.А. Немченко, І.Б. Ошманський]. – Кривий Ріг : Видавничий центр КНУ, 2007. – 262 с. – ISBN 978-966-350-369-1.
4. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. [Електронний ресурс] // Сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. – Режим доступу : <http://mpe.kmu.gov.ua>.
5. Основні параметри енергозабезпечення національної економіки на період до 2020 року / [Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В. та ін.]. – К. : Вид. Ін-ту електродинаміки НАН України, 2011. – 275 с.
6. Дмитренко Л.В. Вітроенергетичні ресурси в Україні / Л.В. Дмитренко, С.Л. Барандіч // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2007. – Вип. 256. – С. 166–173.
7. Дослідження вітрового режиму України, виявлення основних кліматоутворюючих факторів глобального і регіонального масштабів, які обумовлюють сучасні особливості вітрового режиму України: Аналіз даних довгострокових спостережень вітропотенціалу на гідрометеорологічних станціях України. Том

1 : рвіт з НДР / МНТЦ вітроенергетики НАНУ. – К., 2001. – 136 с.

8. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. – К. : ТОВ «ВіолаПрінт», 2008. – 55 с.

9. Энергоэффективность железорудных производств. Оценка, практика повышения : монография / [Синчук О.Н., Синчук И.О., Гузов Э.С. и др.]. – Кременчуг : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 346 с.

10. Праховник А.В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения / Праховник А.В. – К. : «Освіта України», 2007. – 464 с.

11. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : підручник / С.О. Кудря. – К. : Національний технічний університет України («КПІ»), 2011. – 494 с.

References

1. Klimat Ukrainy / [za red. V.M. Liviiskoho, V.A. Diachuka, V.M. Babichenko]. – K. : Vyd-vo Raievskoho, 2003. – S. 133.
2. Zahalna hidrologiia : pidr. / [Levkivskiy S.S., Khilchevskiy V.K., Obolotskiy O.T. ta in.] ; za red. S.M. Lysohora. – K. : Fitosotsiotsentr, 2000. – 264 s.
3. Aerologhiia hirnychkykh pidpriemstv / [A.O. Hurin, P.V. Beresnevych, A.A. Nemchenko, I.B. Oshmanskiy]. – Kryvyi Rih : Vydavnychiy tsentr KNU, 2007. – 262 s. – ISBN 978-966-350-369-1.
4. Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2035 r. [Elektronnyi resurs] // Sait Ministerstva enerhetyky ta vuhilnoi promyslovosti Ukrainy. – Rezhym dostupu : <http://mpe.kmu.gov.ua>.
5. Osnovni parametry enerhozabezpechennia natsionalnoi ekonomiky na period do 2020 roku / [Stohnii B.S., Kyrylenko O.V., Prakhovnyk A.V. ta in.]. – K. : Vyd. In-tu elektrodynamiky NAN Ukrainy, 2011. – 275 s.
6. Dmytrenko L.V. Vitroenerhetychni resursy v Ukraini / L.V. Dmytrenko, S.L. Barandich // Nauk. pr. UkrNDHMI. – 2007. – Vyp. 256. – S. 166–173.
7. Doslidzhennia vitrovoho rezhymu Ukrainy, vyivlennia osnovnykh klimatoutvoriuiuchykh faktoriv hlobalnoho i rehionalnoho mashtabiv, yaki obumovliuiut suchasni osoblyvosti vitrovoho rezhymu Ukrainy: Analiz danykh dovhostrokovykh sposterezen vitropotentsialu na hidrometeorologichnykh stantsiiakh Ukrainy. Tom 1 : pvit z NDR / MNTTs vitroenerhetyky NANU. – K., 2001. – 136 s.
8. Atlas energetichnogo potentsialu vidnovlyuvanykh dжерел energii Ukrainy. – K. : TOV «ViolaPrint», 2008. – 55 s.
9. Energoeffektivnost jelezorudnykh proizvodstv. Otsenka, praktika povyisheniya : monografiya / [Sinchuk O.N., Sinchuk I.O., Guзов E.S. i dr.]. – Kremenchug : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 346 s.
10. Prakhovnik A.V. Malaya energetika: raspredelennaya generatsiya v sistemah energosnabjeniya / Prakhovnik A.V. – K. : «Osvita Ukrainy», 2007. – 464 s.
11. Kudria S.O. Netradyciini ta vidnovliuvani dzherela enerhii : pidruchnyk / S.O. Kudria. – K. : Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Ukrainy («KPI»), 2011. – 494 s.

Рецензія/Peer review : 19.9.2018 р.

Надрукована/Printed : 20.9.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сінчук О.М.