

УДК 629.128:621.359.7

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ, ЯК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

Шевченко В. В., к.т.н., професор кафедри автоматики та електроустаткування Національного університету кораблебудування (Херсонська філія), e-mail: shevchenko.kb.nuos@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9324-7023;

Філіпчук О. М., старший викладач кафедри автоматики та електроустаткування Національного університету кораблебудування (Херсонська філія), e-mail: filipschuk5@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4061-7577;

Гузєєв Р. Ю., магістрант кафедри автоматики та електроустаткування Національного університету кораблебудування (Херсонська філія), e-mail: r.guzeev@gmail.com;

Набільський Ю. Р., магістрант кафедри автоматики та електроустаткування Національного університету кораблебудування (Херсонська філія), e-mail: yurezn@ukr.net

У роботі дано аналіз та розглянуті перспективи впровадження вітроенергетичних установок (ВЕУ) в фермерських господарствах південної України, як альтернативного джерела енергії. Були проведені дослідження по вибору та впровадженню ВЕУ малої потужності з вибором ефективного методу демінералізації артезіанської води. Роза вітрів для приведених районів Азово-Чорноморського басейну стабільна, що забезпечує розрахункову потужність для оптимальної роботи ВЕУ малої потужності в фермерських господарствах, а також на морських судах. Наведені сучасні моделі вітрогенераторів малої потужності з урахуванням їх модифікації, а також надана методика оптимізаційного розрахунку основних параметрів установки.

При виборі технології опріснення було прийнято електродіалізний метод знесолення і пом'якшення артезіанської води з концентрацією солі 10 г/л, а також морської води з концентрацією розчиненої солі до 35 г/л, що притаманно світовому океану. Обрана класична схема прямотечійного електродіалізного апарату (ЕДА) і на основі виконаних досліджень було розроблено універсальний модуль продуктивністю $Q = 2$ т/добу, за допомогою якого можна отримати необхідну концентрацію води на виході тракту знесолення, що відповідає Європейським стандартам.

Ключові слова: вітроенергетична установка, роза вітрів, демінералізація, електродіаліз, електродіалізний опріснювач, періодичний реверс.

DOI: 10.33815/2313-4763.2018.2.19.191–199

Вступ. Вибір та впровадження вітроенергетичних установок (ВЕУ) в степових зонах південної України являється перспективним напрямком використання енергії для фермерських господарств. В цих районах має місце дефіцит прісної води, тому що артезіанська вода з загальним солевмістом ($C=2\div 10$ г/л) і жорсткістю більш ніж ($Ж>10$ мг-екв/л) не відповідає Європейським стандартам.

Актуальність досліджень. В техніко-економічному відношенні електродіаліз вигідно різниться від інших методів опріснення води рядом переваг, які відображені в роботах [1, 2, 3]. Опріснення водяних розчинів залишається актуальною задачею для морського транспорту з концентрацією розчинених солей до 35 мг/л з перевагою іонів хлору (Cl^-), натрію (Na^+) і сульфатної групи (SO_4^{2-}), а також компоненти, що визначають жорсткість морської води – іони магнію (Mg^{2+}), кальцію (Ca^{2+}) і калію (K^+) [4, 5, 6]. Особливо нестачу прісної води відповідної якості відчують фермерські господарства віддалені від штучних зрошувальних каналів та енергосистем. Цей дефіцит в прісній воді відповідної якості може бути покритий опрісненням солоних (солевміст більше 10 г/л) і солонуватих ($2\div 10$ г/л) підземних вод. Нестача прісної води може бути ліквідована за рахунок подачі її по трубопроводах чи каналах з районів, в яких вона є в надлишку. При водоспоживанні до 1000 м³/добу, опріснення солонуватої води на місці вигідніше ніж

подача прісної води на відстань більшу за 40–50 км [7, 8]. Тому були проведені дослідження по вибору та впровадженню ВЕУ малої потужності з вибором ефективного метода опріснення артезіанської води [9, 10].

Постановка задачі досліджень. Аналіз і вибір вітрогенератора малої потужності з урахуванням основних техніко-економічних показників в комплексі з електродіалізічним опріснювачем є перспективним напрямом для знесолення і пом'якшення артезіанської води, що відповідає Європейським стандартам на опріснену воду.

Результати досліджень. При виборі ВЕУ і технології опріснення артезіанської води керувались умовами надійності, економічності та вимогами техніки безпеки в умовах експлуатації ВЕУ з електродіалізічним опріснювачем (ЕДО) прямотечійного типу.

Аналіз характеристик рози вітрів (рис. 1) показує, що швидкість вітру для приведених районів Азово-Чорноморського басейну південної України стабільна впродовж року і навіть в літній період швидкість вітру перевищує $v = 3 \text{ м/с}$ і складає по часу біля 20%, а інший період часу (80%) напір вітру забезпечує розрахункову потужність для оптимальної роботи ВЕУ.

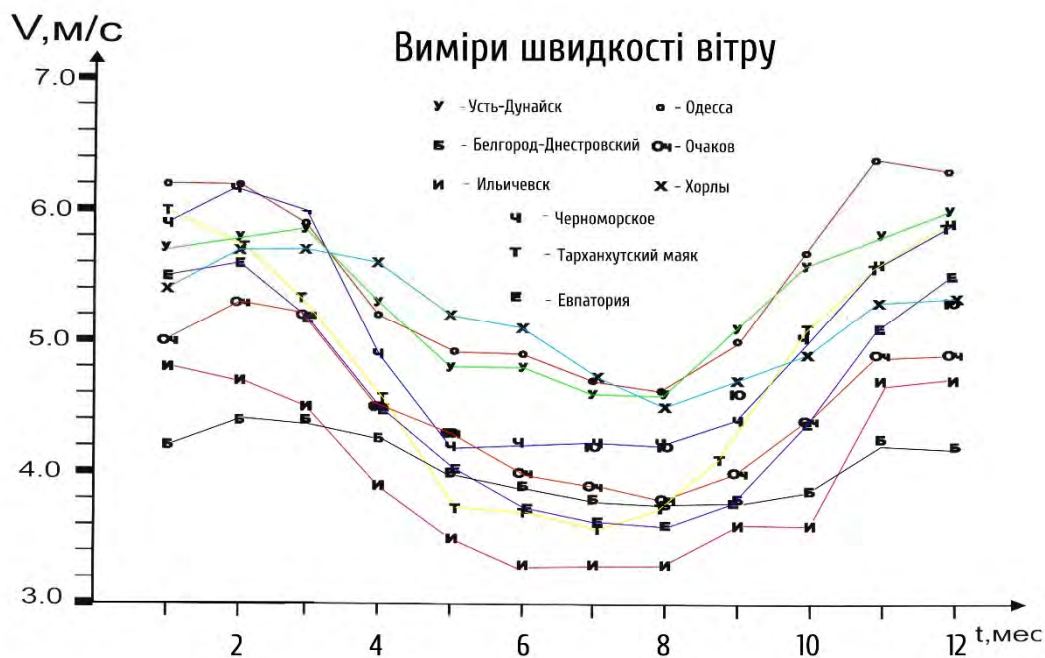


Рисунок 1 – Характеристика швидкості руху повітряних мас

Звідси слідує, що однією з найважливіших характеристик вітроколеса ВЕУ є його швидкохідність, яка залежить від трьох основних змінних параметрів: швидкості вітру, радіусу кола вітроколеса і кутової швидкості обертання колеса.

Основні параметри вітроустановки зв'язані між собою нескладними однозначними фізичними залежностями, які зазначені на рис. 2, а саме:

v_p – розрахункова швидкість вітру, м/с

D – діаметр вітротурбіни, м;

$P_{ном}$ – номінальна потужність, кВт;

W_m – вироблена енергія за рік.

Параметри $P_{ном}$ і W_m залежні від середньої швидкості вітру.

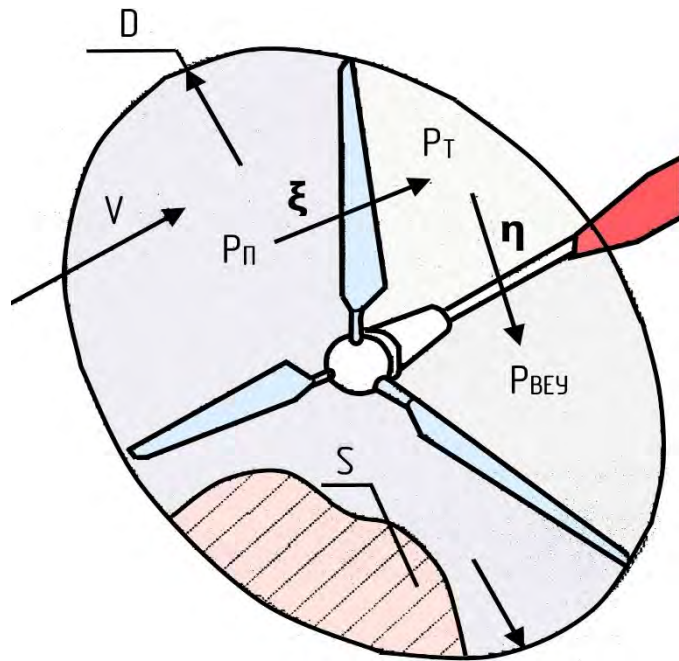


Рисунок 2 – Основні параметри вітроустановки

Середня потужність виробленої енергії за одиницю часу (доба, місяць, рік) буде дорівнювати реальній потужності ВЕУ з урахуванням ККД генератора і трансмісії $\eta = (0,8 \dots 0,9)$

$$P_{BEУ} = \eta \cdot P_T,$$

де P_T – потужність вітротурбіни з урахуванням реального коефіцієнту вітровикористання $\xi = 0,4 \dots 0,55$ складає

$$P_T = \xi \cdot P_{II}.$$

Тут потужність вітрового потоку, що проходить через площу S вітротурбіни дорівнює

$$P_{II} = \frac{\rho \cdot v^3}{2} \cdot S,$$

де $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$, щільність повітря (стандартне значення); v – незбуреного вітрового потоку, м/с; $S = \pi D^2/4$, ометаєма площа вітро колеса, м².

При розрахунку місячного вироблення електроенергії приймаються наступні припущення:

- якщо швидкість вітру менша за розрахункову, то потужність пропорційна кубу швидкості вітру:

$$P = P_{НОМ} \cdot \left(\frac{v}{v_p} \right)^3,$$

- якщо швидкість вітру вища за розрахункову, то потужність вітроустановки підкоряється закону Гауса:

$$P = A \cdot e^{-\pi \cdot A \cdot (v-v_0)^2},$$

де v_0 – середня швидкість вітру, м/с; A – параметр залежний від v_0 і розрахований на базі статистичних даних згідно табл. 1.

Таблиця 1 – Чисельні значення коефіцієнта A

$v_0, \text{м/с}$	3,0	4,0	5,0	6,0
A	0,228	0,185	0,165	0,15

Таким чином, середня потужність вітроустановки залежно від її розрахункової швидкості і середньої швидкості вітру складе

$$P_{cp} = \int_0^{\infty} P_{НОМ} \left(\frac{v_0}{v_p} \right)^3 A \cdot e^{-\pi \cdot A^2 (v-v_0)^2} dv,$$

Таблиця 2 – Порівняльні характеристики для вітрогенераторів в діапазоні потужності від 0,5 кВт до 5,0 кВт

Номінальна потужність/максимальна потужність, Вт	500/700	1000/1500	2000/2800	3000/4200	5000/8500
Діаметр вітроколеса, м	2,5	2,8	3,8	4,0	5,5
Номінальна швидкість вітру, м/с	8,0	8,0	8,0	10,0	10,0
Стартова швидкість вітру, м/с	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Робоча швидкість вітру, м/с	3÷25	3÷25	3÷25	3÷25	3÷25
Номінальна швидкість обертання, об/хв	450	380	380	300	260
Робоча напруга, В	24, постійна	24, постійна	24, постійна	48, постійна	48, постійна
Тип генератора	трифазний на постійних магнітах	трифазний на постійних магнітах	трифазний на постійних магнітах	трифазний на постійних магнітах	трифазний на постійних магнітах
Вага, кг	46	70	88	327	357
Висота щогли, м	6,0	9,0	9,0	12,0	12,0
Рекомендовані акумулятори	12В /200 Ач 2 батареї	12В /200 Ач 4 батареї	12В /200 Ач 4 або 8 батареї	12В /200 Ач 8 або 12 батареї	12В /200 Ач 12 або 16 батареї

Вироблення енергії за місяць на основі формули буде дорівнювати:

$$W_m = P_{cp} \cdot t_m = P_{cp} \cdot 30 \cdot 24, \text{ кВт}.$$

Термін експлуатації ВЕУ 15 років, за виключенням критичної швидкості $v \geq 45 \text{ м/с}$.

Аналіз і розрахунок вітроустановок малої потужності показує, що існує декілька варіантів реалізації принципових схем ВЕУ, в умовах степової зони південної України, порівняльні характеристики яких з потужністю від 0,5 кВт до 5 кВт приведені в табл. 2.

Розглянемо обраний вітрогенератор 5KW48B WINDTURBINE потужністю 5 кВт (рис. 3) і схему альтернативного водо- і електропостачання фермерського господарства.

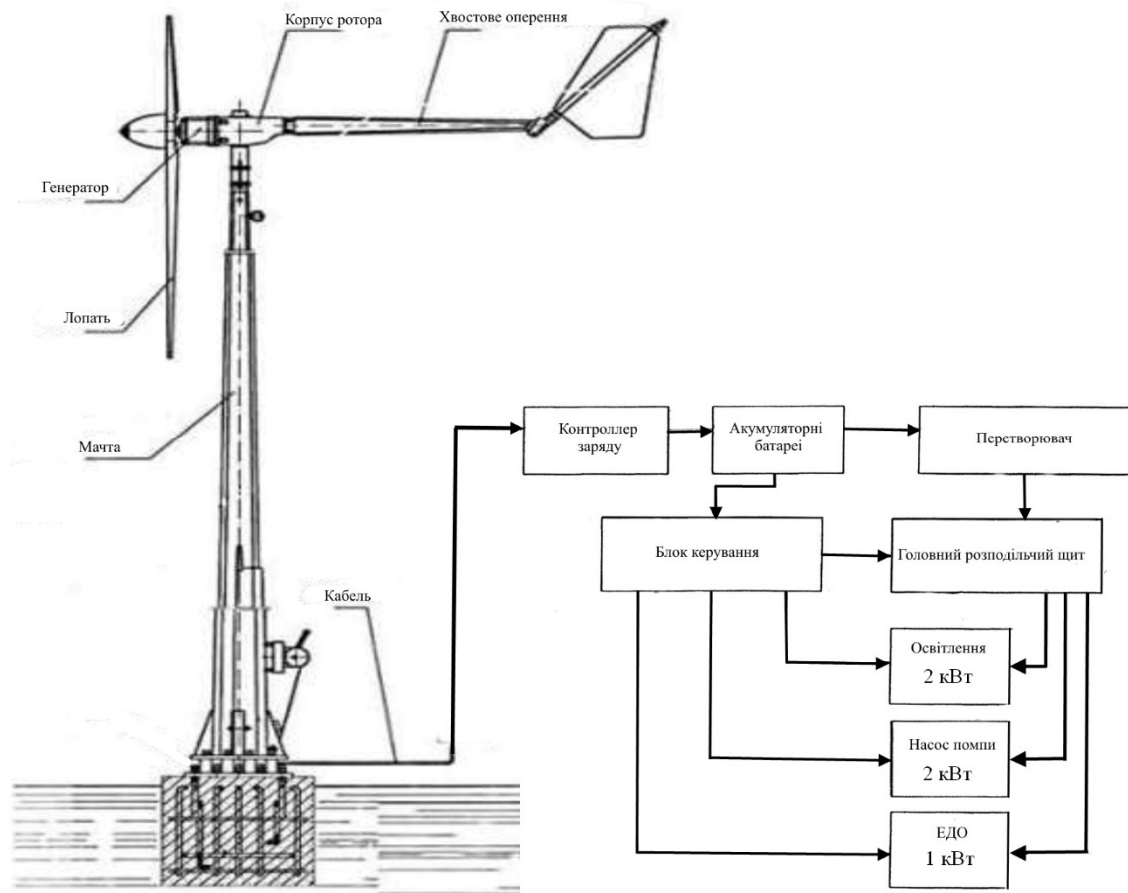


Рисунок 3 – Альтернативне водо- і електропостачання фермерського господарства

Найбільш негативний фактор ВЕУ на навколишнє середовище – це акустичний вплив. Шумові ефекти якого мають різну природу і поділяються на механічні (шум від редукторів, підшипників і генераторів) та аеродинамічні (можуть бути низькочастотними ($f < 16 \dots 20$ Гц) і високочастотними ($f \geq 16 \dots 20$ кГц)). Ці впливи в основному викликані обертанням робочого колеса. Шумовий ефект в безпосередній близькості ВЕУ досягає 50 – 80 дБ, що відповідає Європейським стандартам.

Не дивлячись на існуючі негативні впливи, вітроенергетика є прогресивним напрямком діяльності в фермерських господарствах і в особливості малої потужності, вплив яких на навколишнє середовище мінімальний.

При виборі технології опріснення було прийнято електродіалізний метод знесолення і пом'якшення підземної води з концентрацією солі до 10 г/л, що характерно/притаманно для степової зони південної України. Процес електродіалізного опріснення здійснюється в багатокамерних апаратах фільтрпресового типу, ідея якого була висунута авторами [11, 12].

Процес масопереносу в електродіалізному осередку є основою багатокамерного електродіалізного опріснювача (ЕДО) [13], який приведений на рис. 4. На основі виконаних досліджень було розроблено універсальний модуль продуктивністю ($Q=2$ т/добу), за допомогою якого можливо збільшити продуктивність, якщо їх включити паралельно, а якщо включити послідовно можна отримати необхідну концентрацію на виході тракту знесолення [14].

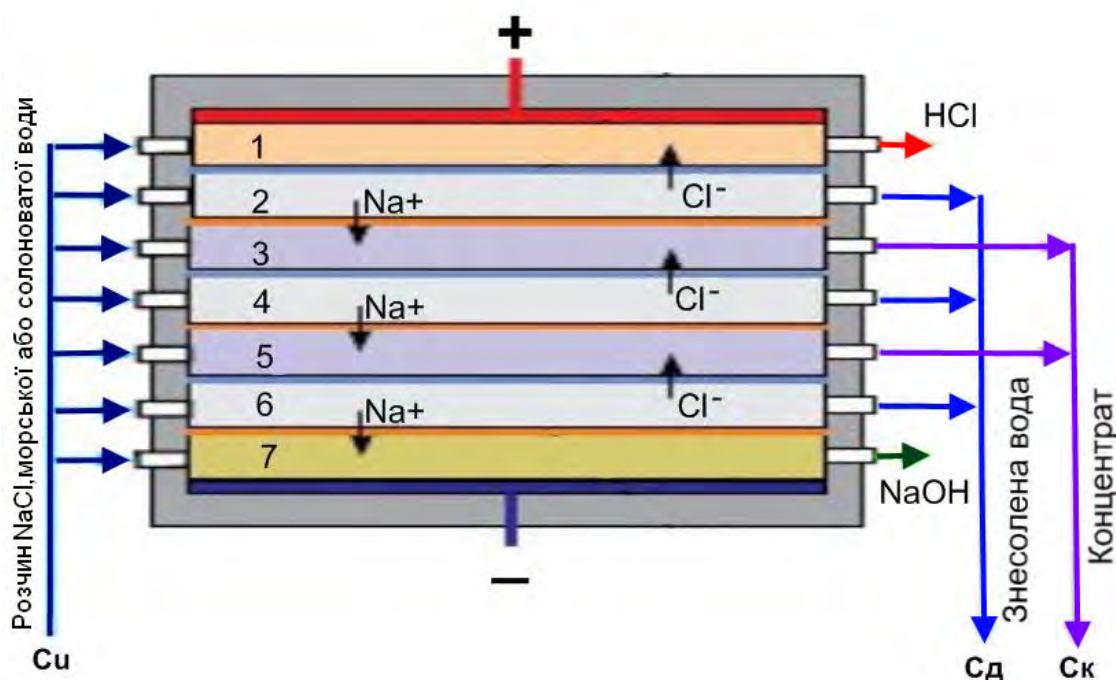


Рисунок 4 – Процес знесолення і концентрування водного розчину у багатокамерному ЕДО прямої течії

Обрана класична схема прямої течії електродіалізатора (рис. 4) яка складається з двох електродних камер (1,7) і чотирьох контурів циркуляції робочого розчину, з них парні камери (2,4,6) знесолення і непарні камери (3,5) концентрування, які розділені іонообмінними мембранами типу МА-40 і МК-40. Передбачено періодичний реверс полярності струму й взаємної зміни потоків по камерах опріснення і концентрування, а також по електродним камерам аніонітній і католітній. Всі потоки як по робочим каналам, так й по електродним камерам регулюються незалежно. Технологія реверсування полярності постійного струму удосконалила процес електродіалізу за рахунок автоматичного самоочищення мембран при кожній зміні полярності. Крім того, електростатично осадні колоїди та гумінові кислоти відштовхуються від поверхні іонообмінних мембран при зміні полярності струму й виносяться стічним потоком.

Для здобуття необхідного ступеню опріснення вихідної води з концентрацією солі ($C_{\text{и}}=10$ г/л) солевміст повинен понизитися приблизно в 25÷30 раз, жорсткість в 10÷15 раз, що відповідає Європейським стандартам й задовольняє вимоги фермерського господарства. Таке рішення дозволяє спростити гідравлічну схему опріснювальної установки й виключити додаткові ємності з концентрату (розсолу) і ділюату.

На основі виконаних досліджень було розроблено універсальний модуль продуктивністю ($Q=2$ т/добу) за допомогою якого можна збільшити загальну продуктивність, якщо їх включати паралельно, а якщо включити послідовно можна отримати необхідну концентрацію на виході тракту (каналу) знесолення [15].

На основі електродіалізного опріснювача можлива розробка замкнутого технологічного циклу, що дозволяє здобувати в додаток до опрісненої води господарсько-побутового призначення, додатково мінеральні солі з багатьма компонентами, а також газоподібний хлор, який можливо використовувати для знезараження води в умовах доставки або зберігання в ємностях.

Висновки

1. Вибір і впровадження ВЕУ дозволяє використовувати її як альтернативне джерело живлення електродіалізного опреснювача.
2. Статистичний аналіз рози вітрів районів південної України показує, що швидкість вітру стабільна на впродовж року (80% часу) і напір вітру забезпечує розрахункову потужність для оптимальної роботи ВЕУ.
3. Розробка універсального модуля дозволяє створити мобільний ЕДО з оптимальними ваго-габаритними показниками, який можливо використовувати як стаціонарно, так і водному транспорті (катери, яхти і в тому числі морські судна)
4. Переполюсування (зміна) полярності стуму на електродах дозволяє відмовитися від додаткової очистки і знезараження води на виході ЕДО, що підвищує його ефективність.
5. Відсутність хімічних реагентів в процесі електродіалізу не порушує екологічну рівновагу і не отрує навколишнє середовище.
6. Універсальність ЕДО полягає в тому що окрім опреснення солонуватих вод (солевміст 10 г/л), можливе його використання для знесолення і пом'якшення морської води з загальним солевмістом (до 35 г/л) і жорсткістю (до 60 мг·екв/л).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Уилсон Д. Деминерализация методом электродиализа. Москва : Госатомиздат, 1963. С.13 – 26.
2. Эльпинер Л.И. Водоснабжение морских судов. Москва : Транспорт, 1975. 186 с.
3. Шевченко В.В., Филипчук А.Н., Покорный В.В. Анализ и оценка целесообразности внедрения мембранной технологии в судовой энергетике. *Судовые энергетические установки: научно-технический сборник*. 2006. Вып. 16. Одесса : ОНМА. С. 24 – 31.
4. Королев А.К. Электродиализ морской воды : монография. Владивосток : ДВГУ, 1986. 100 с.
5. Слесаренко В.Н. Современные методы опреснения морских и соленых вод. Москва : Энергия, 1973. 248 с.
6. Шевченко В.В., Філіпчук О.М., Фролов О.М. Розробка, випробування і впровадження електродіалізного опреснювача на морських судах. *Збірник наукових праць НУК* : 2016. № 3 (465). С. 59-63.
7. Кивцов В.С., Олейников А.М., Яковлев А.И. Неисчерпаемая энергия. В кн.2. Ветроэнергетика. Харьков : Нац. Аэрокосм. ун-т (ХАИ); Севастополь : Севастоп. Нац.техн. ун-т, 2004. 519 с.
8. Марченко О.В., Соломин С.В. Экономическая эффективность ветроэнергетических установок в системах электро- и теплоснабжения. Иркутск : СЭИ, 1996. 28 с. (Препринт. Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Сиб. энергет. ин-т им. Л.А. Мелентьева).
9. Перспективи впровадження вітроенергетичних установок малої потужності в господарствах південної України / В.В. Шевченко та ін. *Сучасні інформаційні технології на транспорті (MINTT-2018)* : зб. матеріалів X Міжнар. наук.-практ. конф. 29-31 травня 2018 р. Херсон : ХДМА, 2018. С. 379 – 382.
10. Васильев Ю.С., Хрисанов Н.И. Экология использования возобновляющихся энергоисточников. Ленинград : Изд-во Ленингр. ун-та. 1991. 343 с.
11. Powell Sheppard I. Water and senlage works, 1959, vol.2 p. 84-86.
12. Гельферих Ф. Иониты. *Основы ионного обмена*. Москва : Иностран. лит., 1962. С. 346 – 356.
13. Шевченко В.В., Филипчук А.Н., Покорный В.В. Применение электродиализа для обессоливания и умягчения морской воды. *Современные информационные и инновационные технологии на транспорте (MINTT – 2010)* : сб. материалов Международн. научн.-практ. конф. В 2-х тт. 25-27 травня 2010 р. Херсон : ХДМИ, 2010. Т.2. С. 271-272.
14. Массоперенос и гидравлическое сопротивление в электродиализных опреснителях / В.В. Шевченко та ін. *Збірник наукових праць НУК*. 2011. № 2.

15. Політикін Б.М., Шевченко В.В., Філіпчук О.М. Глибока демінералізація морської води методом електродіалізу. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії : Науковий журнал*. 2016. № 2(15). С. 133-140.

REFERENCES

1. Uilson D.(1963). *Demineralizatsiya metodom elektrodializa*. Moskva : Gosatomizdat, 13 – 26.
2. Elpiner L.I. (1975). *Vodosnabzhenie morskikh sudov*. Moskva : Transport.
3. Shevchenko V.V., Filipschuk A.N., Pokorniy V.V. (2006). Analiz i otsenka tselesoobraznosti vnedreniya membrannoy tehnologii v sudovoy energetike. *Sudovye energeticheskie ustanovki: nauchno-tehnicheskii sbornik*. 16. Odessa : ONMA, 24 – 31.
4. Korolev A.K. (1986). *Elektrodializ morskoy vodyi : monografiya*. Vladivostok : DVGU.
5. Slesarenko V.N. (1973). *Sovremennyye metody opresneniya morskikh i solenykh vod*. Moskva : Energiya.
6. Shevchenko V.V., Filipschuk O.M., Frolov O.M. (2016). Rozrobka, viprobuvannya I vprovadzhennya elektrodializnogo oprisnyuvacha na morskikh sudnah. *Zbirnik naukovih prats NUK*, 3 (465), 59-63.
7. Kivtsov V.S., Oleynikov A.M., Yakovlev A.I. (2004). *Neischerpaemaya energiya. V kn.2. Vetroenergetika*. Harkov : Nats. Aerokosm. un-t (HAI); Sevastopol : Sevastop. Nats.tehn. un-t.
8. Marchenko O.V., Solomin S.V. (1996). *Ekonomicheskaya effektivnost vetroenergeticheskikh ustanovok v sistemah elektro- i teplosnabzheniya*. Irkutsk : SEI. (Preprint. Ros. akad. nauk, Sib. otd-nie, Sib. energet. in-t im. L.A. Melenteva).
9. V.V. Shevchenko ta In. (2018) Perspektivi vprovadzhennya vetroenergetichnih ustanovok maloYi potuzhnosti v gospodarstvah plvdennoyi UkraYini. *Suchasni Informatsyni tehnologii na transporti (MINTT-2018)*. Herson : HDMA, 379 – 382.
10. Vasilev Yu.S., Hrisanov N.I. (1991). *Ekologiya ispolzovaniya vozobnovlyayuschihysya energoistochnikov*. Leningrad : Izd-vo Leningr. un-ta.
11. Powell Sheppard I. (1959). *Water and senlage works, vol.2*, 84-86.
12. Gelferih F. (1962). *Ionityi.Osnovyi ionnogo obmena*. Moskva : Inostr. lit., 346 – 356.
13. Shevchenko V.V., Filipschuk A.N, Pokorniy V.V. (2010). Primenenie elektrodializa dlya obessolivaniya i umyagcheniya morskoy vodyi. *Sovremennyye informatsionnyie i inovatsionnyie tehnologii na transporte (MINTT – 2010)*. Herson : HDMI, T.2., 271-272.
14. V.V. Shevchenko ta In. (2011). Massoperenos i gidravlichesкое soprotivlenie v elektrodializnykh opresnitelyah. *Zbirnik naukovih prats NUK*. # 2.
15. Poltikin B.M., Shevchenko V.V., Filipschuk O.M. (2016). Gliboka demIneralIzatsIya morskoyi vodi metodom elektrodIalIzu. *Naukoviy vIsnik Hersonskoyi derzhavnoYi morskoyi akademIyi : Naukoviy zhurnal*. # 2(15), 133-140.

Шевченко В. В., Филипчук А. Н., Гузеев Р. О., Набильский Ю. Р. ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК МАЛОЙ МОЩНОСТИ, КАК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ

В работе дан анализ и рассмотрены перспективы внедрения ветроэнергетических установок (ВЭУ) в фермерских хозяйствах южной Украины, как альтернативного источника энергии. Были проведены исследования по выбору и внедрению ВЭУ малой мощности с выбором эффективного метода деминерализации артезианской воды. Роза ветров для приведенных районов Азово-Черноморского бассейна стабильна, что обеспечивает расчётную мощность для оптимальной работы ВЭУ малой мощности в фермерских хозяйствах, а также на морских судах. Представлены современные модели ветрогенераторов малой мощности с учетом их модификации, а также представлена методика оптимизационного расчёта основных параметров установки.

При выборе технологии опреснения был принят электродиализный метод обессоливания и умягчения артезианской воды с концентрацией соли 10 г/л, а также морской воды с концентрацией растворенной соли до 35 г/л, что свойственно мировому океану. Выбрана классическая схема прямого электродиализного аппарата (ЭДА) и на основе выполненных исследований был разработан универсальный модуль производительностью $Q = 2$ т/сут, при помощи которого можно

получить необходимую концентрацию воды на выходе тракта обессоливания, что соответствует Европейским стандартам.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, роза ветров, деминерализация, электродиализ, электродиализный опреснитель, периодический реверс.

Shevchenko V. V., Filipshchuk A. N., Guzeev R. Yu., Nabilsky Yu. R. THE PROSPECTS FOR IMPLEMENTATION OF LOW-CAPACITY WIND POWER PLANTS AS AN ALTERNATIVE ENERGY SOURCE

In work the analysis is given and prospects of introduction of wind power installations (VEU) in farms of the southern Ukraine, as alternative energy source are considered. Researches on a choice and introduction of VEU of low power with a choice of an effective method of demineralization of deep-well water were conducted. The wind rose for the given areas of the Azovo-Chornomrsky pool is stable that provides settlement power for optimum work of VEU of low power in farms, and also on sea vessels. Modern models of wind generators of low power taking into account their modification are given, and also the technique of optimizing calculation of key parameters of installation is provided.

At a choice of technology of desalting it was accepted electro dialysis a method of an obessolivaniye and softening of deep-well water with concentration of salt of 10 g/l, and also sea water with concentration of a rozchinenshcha of salt to 35 g/l that is characteristic to the World Ocean. The chosen classical scheme of the direct-flow elektrodialazny device (FOOD) and on the basis of the executed researches were developed the universal module by Q productivity = 2 t/days by means of which it is possible to receive necessary concentration of water at the exit of a path of an obessolivaniye that conforms to the European standards.

Keywords: wind power installations, wind rose, demineralization, electro dialysis, periodic reverse.

© Шевченко В. В., Филипщук А. М., Гузеев Р. О., Набилський Ю. Р.

Статтю прийнято
до редакції 25.10.18