

РОЗДІЛ III. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

УДК 621.311.4.031

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-4(22)-156-162

Сергій Бойко, Олексій Городній, Ірина Касаткіна, Яна Долударєва

ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЗАРЯДЖЕННЯ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

Актуальність теми дослідження. Одним із напрямів сучасних світових стратегій є розвиток відновлюваної енергетики. Це особливо актуально для тих регіонів, де немає доступу до сучасних енергосистем, або для економік, що розвиваються, зі зростаючими енергетичними потребами. Аналіз досягнень сучасної енергетики показує, що децентралізовані енергосистеми з використанням джерел розосередженої генерації можуть бути надзвичайно прибутковою сферою для капіталовкладень, якщо є можливість розміщувати джерела генерації енергії поблизу споживачів. Зазвичай витрати на передачу енергії сягають 30 % від вартості її вироблення.

Постановка проблеми. Проблемою цієї роботи є питання компоновки та структури вітроенергетичного комплексу для зарядження акумуляторних батарей. Існуючі методики для проектування системи електропостачання віддалених споживачів переважно розглядають як альтернативу централізованому електропостачанню за рахунок генерації електроенергії на базі відновлювальних джерел енергії, та не приділено достатньо уваги в контексті додаткової їх функціональності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У ряді попередніх досліджень автори обґрунтовують необхідність впровадження автономних джерел енергії на базі відновлюваної енергетики. Між тим, з-поміж інших джерел відновлюваної енергетики виділяють вітроенергетику, що має певні переваги як за результатами теоретичних досліджень, так і з досвіду практичних впроваджень. Дослідження щодо перерахованих науково-практичних тематик продовжуються та набувають нових сенсів, враховуючи аспекти сучасного розвитку науки та техніки.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Таким чином, актуальною науково-практичною задачею є розробка структури вітроенергетичного комплексу для зарядження акумуляторних батарей при неможливості під'єднання до централізованого електропостачання.

Постановка завдання. Актуальною науково-практичною задачею є розробка структури вітроенергетичного комплексу для зарядження акумуляторних батарей в умовах неможливості під'єднання до централізованого електропостачання.

Виклад основного матеріалу. Для забезпечення безперервності електропостачання в умовах реальних обмежень на запаси палива, наявні в розпорядженні того чи іншого автономного об'єкта, пропонується використовувати відновлювані джерела енергії, які є завжди і всюди і серед яких виділяють вітроенергетику. Тому, зважаючи на перераховані аспекти компоновки вітроенергетичних комплексів, розроблення системи керування має за мету забезпечити споживачів стабільною напруженою постійної частоти незалежно від зміни параметрів у будь-якій ланці системи та зарядження акумуляторних батарей.

Висновки відповідно до статті. Обґрунтовано необхідність впровадження в структуру автономної системи електропостачання на базі вітроенергетичного комплексу ланки для зарядження акумуляторних батарей. Запропоновано структуру вітроенергетичного комплексу для зарядження акумуляторних батарей в умовах неможливості під'єднання до централізованого електропостачання.

Ключові слова: розосереджена генерація; вітроенергетичний комплекс; енергетичне обладнання; електропостачання; акумулятори.

Рис.: 1. Бібл.: 12.

Актуальність теми дослідження. Розвиток відновлюваної енергетики є одним із напрямів сучасних світових стратегій. Для регіонів без доступу до сучасних енергосистем або економік зі зростаючими енергетичними потребами це особливо актуально. Децентралізовані енергосистеми з використанням джерел розосередженої генерації можуть бути надзвичайно прибутковою сферою для капіталовкладень, якщо є можливості розміщувати джерела генерації енергії поблизу споживачів. На це вказує аналіз досягнень сучасної енергетики.

Постановка проблеми. Стратегії розвитку сучасної світової енергетики спрямовані на скорочення відсотка споживання світових запасів традиційних видів палива, що пов'язано з постійним підвищенням цін на енергоносії. Одним із напрямів сучасних світових стратегій є розвиток відновлюваної енергетики [1].

Для забезпечення енергетичної незалежності держави, що не володіють достатньою ресурсно-сировинною базою, активно впроваджують новітні технології в енергетичній галузі. З-поміж таких насамперед є розвиток відновлюваних джерел енергії. Таким чином, у майбутньому, за прогнозами експертів, частка «зеленої» енергії у світовому виробництві електроенергії має тенденцію до постійного зростання.

Відновлювана енергетика дозволяє організувати самодостатнє і децентралізоване енергопостачання і підвищити цінність місцевих ресурсів без залежності від імпорту або необхідності створення дорогих енергомереж. Це особливо актуально для тих регіонів, де немає доступу до сучасних енергосистем, або для економік, що розвиваються, зі зростаючими енергетичними потребами. Застосування автономних децентралізованих систем електропостачання набуває важливого значення.

Аналіз досягнень сучасної енергетики показує, що децентралізовані енергосистеми з використанням джерел розосередженої генерації можуть бути надзвичайно прибутковою сферою для капіталовкладень, якщо є можливість розміщувати джерела генерації енергії поблизу споживачів. Зазвичай витрати на передачу енергії сягають 30 % від вартості її вироблення [1].

Існуючі методики для проектування системи електропостачання віддалених споживачів в основному розглядають як альтернативу централізованому електропостачанню, електропостачання за рахунок генерації електроенергії на базі відновлювальних джерел.

Досвід бойових дій на території України показує, що військовій авіації, зокрема безпілотній, необхідна широка мережа сучасних аеродромів. Між тим, за сприяння силових структур України, відбувається відродження державної малої та безпілотної авіації. Мала авіація має також перспективну, як бізнес-проект. Між тим, акцентуючи увагу на безпілотній авіації, слід зазначити, що ціла когорта моделей використовує для польотів електродвигуни, що, як наслідок, спонукає до вирішення проблеми зарядження акумуляторних батарей безпілотних повітряних суден. Усі ці фактори сприяють зверненню уваги на мережу аеродромів. Одним із значущих питань у цьому аспекті є електропостачання аеродромів, що розташовані іноді віддалено від централізованих систем електропостачання, чи, враховуючи умови експлуатації та локації, потребують додаткових джерел електроживлення [1-3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У ряді попередніх досліджень автори обґрунтовують необхідність впровадження автономних джерел енергії на базі відновлюваної енергетики. Між тим, з посеред інших джерел відновлюваної енергетики, виділяють вітроенергетику, що має певні переваги як за результатами теоретичних досліджень, так і з досвіду практичних впроваджень [1-3].

Результати дослідження щодо застосування накопичувачів в автономних системах електропостачання на базі відновлюваних джерелами відображено в роботах Б. Лукутіна, Н. Юхно, В. Гладкевич та інших науковців [1-8].

Крім того, як у світі, так і в Україні набуло розвитку провадження в різні сфери електрифікованого транспорту. Тому дослідження науковців у цьому напрямі вказують на доцільність встановлення зарядних станцій на базі відновлюваних джерел енергії, що є актуальним, та розширює спектр їх встановлення, попри віддаленість від централізованого електропостачання [9]. До того ж дослідження щодо перерахованих науково-практичних тематик продовжуються та набувають нових сенсів, враховуючи аспекти сучасного розвитку науки та техніки.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Актуальною науково-практичною задачею є розробка структури вітроенергетичного комплексу для зарядження акумуляторних батарей при неможливості під'єднання до централізованого електропостачання.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розробка структури вітроенергетичного комплексу для зарядження акумуляторних батарей.

Виклад основного матеріалу. Об'єкти автономного енергозабезпечення відіграють важливу роль у різних галузях (транспортній, військовій, туристичній та інших). Їх електропостачання має бути надійним та відповідати режимам роботи електроприймачів. З метою забезпечення безперервності їх електропостачання в умовах реальних обмежень

на запаси палива, наявні в розпорядженні того чи іншого автономного об'єкта, пропонується використовувати відновлювані джерела енергії, які є завжди і всюди. Серед них виділяють вітроенергетику [8-12].

Проте використання вітроенергетичних комплексів (ВЕК), як основного джерела електричної енергії при автономному електропостачанні потребує обов'язкового накопичення електричної енергії.

Як накопичувачі енергії в сучасних автономних системах електропостачання переважно застосовують хімічні акумулятори. Цей тип накопичувачів має свої недоліки, такі як невисокий коефіцієнт корисної дії, обмежене число циклів заряд-розряд, нездатність швидкого реагування, проблематичність утилізації тощо, тому виникає необхідність їх заміни на більш прогресивні сучасні аналоги хімічних акумуляторів [4].

Автономне електропостачання є актуальною тематикою як у світі, так і в Україні. Для забезпечення якісного повноцінного електропостачання малопотужних об'єктів від автономних систем електропостачання на базі ВЕК важливим є вирішення проблеми зберігання електричної енергії, її перетворення та подальшого розподілу. Дослідження вітчизняних та закордонних учених вказують на той факт, що системи накопичення енергії є важливою складовою системи автономного електропостачання на базі ВЕК.

Для вітрової енергетичної установки використовують асинхронні та синхронні генератори різних типів та конфігурацій. Усі вони мають свої переваги та недоліки. Вирішальними в питанні вибору генератора є умови використання вітрової установки. Необхідно підібрати електричний генератор, який максимально відповідає розташуванню ВЕК [3].

За результатами аналізу можна зробити висновок про те, що асинхронний генератор у діапазоні потужності $5 \div 100$ кВт приблизно в півтора раза легший за синхронний генератор, а також має менші габарити [4].

Виходячи з результатів аналізу можна зробити висновок про те, що вартість комутаційної апаратури та інших елементів системи асинхронного генератора менша за вартість аналогічних складових синхронного генератора [5].

У генераторному режимі асинхронна машина з короткозамкненим ротором застосовується рідко через наявність зовнішньої крутоспадної характеристики і недосконалості конденсаторного збудження. Але водночас застосування асинхронної машини в генераторному режимі має безперечні переваги перед синхронними генераторами [6], а саме: простота і надійність конструкції; малі маса та габарити; низька вартість; простота монтажу та обслуговування.

Тому, зважаючи на перераховані аспекти компонування ВЕК, розроблення системи керування має за мету забезпечити споживачів стабільною напругою постійної частоти незалежно від зміни параметрів у будь-якій ланці системи. У процесі вирішення цього питання було з'ясовано, що система керування, яка працює за спеціально створеним законом керування, здатна забезпечити постійні вихідні енергетичні параметри ВЕК. Структурна схема ВЕК із системою керування представлена на рис. 1 [9].

За умови нормальної роботи ВЕК відбувається електропостачання М та заряд АКБ. Якщо виникає аварійна ситуація, за допомогою керованого комутатора К2 відключається мережа М від генератора АГ, а за допомогою комутатора К3 підключається навантаження до АКБ через інвертор І. Заряджання АКБ через комутатор К1 відбувається доти, доки автоматичний зарядний пристрій АЗП відключить АКБ від генератора через невідповідність параметрів струму або напруги.

Під час обертання вітрового колеса та валу генератора мікроконтролер аналізує величину сигналів, що надходять до нього, та робить висновок щодо величини заданої напруги для блоків симисторів. Доки ємність додаткових конденсаторів дозволяє регу-

лювати величину вихідної частоти та напруги, ці параметри регулюються батареєю робочих конденсаторів. Якщо керування ємністю не дає результату, тобто частота та напруга продовжують зростати, то задана напруга подається на другу групу симисторів, які підключають баластне навантаження для регулювання вихідної напруги та частоти.

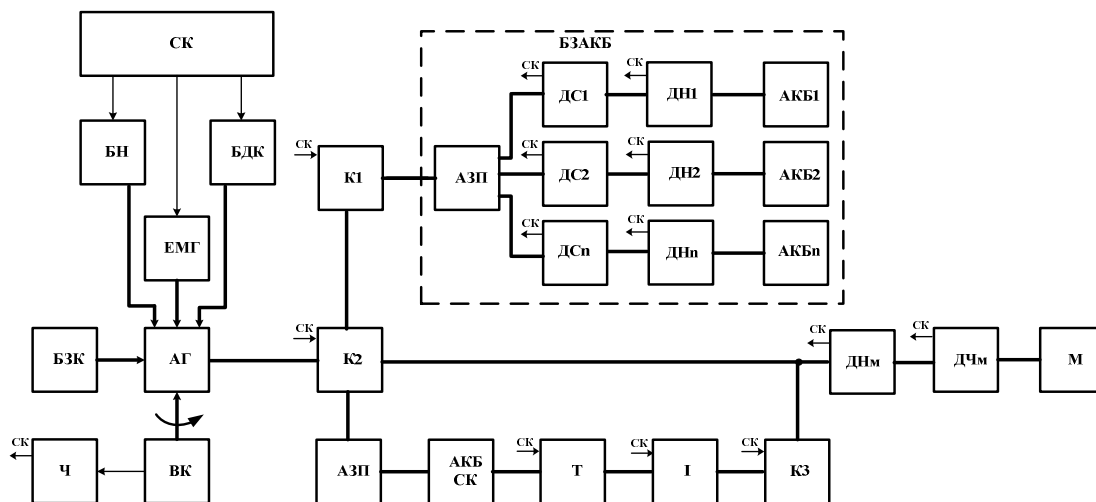


Рис. 1. Структурна схема вітроелектротехнічного комплексу на базі асинхронного генератора : ВК – вітрове колесо; АГ – асинхронний генератор з короткозамкненим ротором; БЗК – батарея збуджуючих конденсаторів; ЕМГ – електромагнітне гальмо; ДНм – давач напруги; ДС1, 2, n – давачі струму, для контролю заряду АКБ; ДН1, 2, n – давачі напруги, для контролю заряду АКБ; Ч – давач частоти обертів ВК; ДЧм – давач частоти напруги мережі; АЗП1, 2 – автоматичні зарядні пристрої; АКБ1, 2, n, АКБ СК – акумуляторні батареї; І – інвертор; БДК – батарея додаткових конденсаторів; БН – баластне навантаження; СК – система керування; К1–К3 – керовані комутатори; М – локальна мережа, Т – трансформатор

Передбачається здійснювати автоматичне керування ємнісним струмом у два прийоми. Застосування кожного з них залежить від швидкості обертання вітрового колеса.

Структура вітроелектротехнічного комплексу має можливість, за необхідності, працювати на мережу. Причому за допомогою керованого комутатора К2 є можливість під'єднання вітроелектротехнічного комплексу як напряму до мережі, так і через інвертор. Контроль енергетичних параметрів згенерованої електричної енергії у точці під'єднання до мережі визначається давачами напруги ДНм та частоти ДЧм, які передають інформацію до системи керування вітроелектротехнічного комплексу СК.

Під'єднання вітроелектротехнічного комплексу напряму до мережі може бути лише при виконанні умови узгодження енергетичних параметрів генерованої енергії та мережі:

$$\begin{cases} U_G = U_m \\ f_G = f_m \end{cases},$$

де U_G, f_G – напруга та частота знергованої електричної енергії, U_m, f_m – напруга та частота електричної енергії в мережі.

Під'єднання вітроелектротехнічного комплексу до мережі, у разі невідповідності їхніх енергетичних параметрів, можливе через керований трансформатор та керований інвертор.

Між тим, запропонована схема вітроелектротехнічного комплексу насамперед передбачає у своїй структурі комплекс для зарядження акумуляторних батарей. До його складу входять зарядний пристрій АЗП1, давачі струму ДС1-ДСn та давачі напруги ДН1-ДНn, для контролю стану заряду акумуляторних батарей та акумуляторні батареї АКБ1-АКБn.

Робота такої системи вітроелектротехнічного комплексу може бути описана математичною моделлю:

$$\begin{cases} P_G = P_m + \sum P_{акб} \\ Q_G = Q_m \end{cases},$$

де P_G, Q_G – активні і реактивні потужності генерації джерел енергії відповідно; P_m, Q_m – активна й реактивна потужності локальної мережі вітроелектротехнічного комплексу; $P_{акб}$ – активні потужності акумуляторів.

Вітроелектротехнічний комплекс функціонує таким чином. Визначається першочергова функціональна необхідність комплексу, що відображається в компонуванні обладнанням із відповідними енергетичними характеристиками.

У разі першочергового призначення ВЕК як автономного чи додаткового джерела електричної енергії, комплекс першочергово живить енергооб'єкти, що під'єднані до нього. Зарядження акумуляторних батарей відбувається лише за умови надлишку згенерованої електричної енергії.

У разі першочергового призначення ВЕК як вітрозарядної станції, першочергово відбувається зарядження акумуляторних батарей, а надлишок згенерованої електричної енергії є можливість накопичити до акумулятора АКБ СК, чи під'єднати корисне навантаження.

Модульність конструкції ВЕК дозволяє в короткий термін його змонтувати та налаштувати. Причому залежно від завдань, які ставляться перед ВЕК, ним є можливість його використовувати як портативним, так і стаціонарним.

Такий вітроелектротехнічний комплекс буде особливо актуальним для електропостачання аеродромів, що розташовані, що віддалено від централізованих систем електропостачання, чи, враховуючи умови експлуатації та локації, потребують додаткових джерел електроживлення, та польових короткочасних баз для обслуговування безпілотних літальних апаратів.

Висновки відповідно до статті. 1. Обґрунтовано необхідність впровадження в структуру автономної системи електропостачання на базі вітроенергетичного комплексу ланки для заряду акумуляторних батарей.

2. Запропоновано структуру вітроенергетичного комплексу для зарядження акумуляторних батарей в умовах неможливості під'єднання до централізованого електропостачання, у тому числі аеродромів.

Список використаних джерел

1. Стогній Б. С. Сталий розвиток енергетики та інтелектуальні енергетичні системи. *Праці Інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск*. Київ, 2010. С. 6–10.
2. World Energy Outlook –2019, OECD/IEA, Paris.
3. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. *Міністерство енергетики та вугільної промисловості України*. URL: <http://mpe.kmu.gov.ua>.
4. Sinchuk O. M., Boiko S. M., Karamanyts F. I., Kozakevych I. A., Baranovska M. L., Yalova A. M. Aspects of the problem of applying distributed energy in iron ore enterprises electricity supply systems. Warsaw, Poland: IsIENCT, 2018.
5. Деклараційний патент на корисну модель № 84633, Україна, H02P9/00. Система керування асинхронним генератором у складі вітроелектротехнічного комплексу / О. М. Сінчук, Д. А. Михайличенко, С. М. Бойко, М. А. Щербак / Патентовласник: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського; заявл. №u201305538 від 29.04.2013, опубл. 25.10.2013. Бюл. №20, 2013 р.
6. Деклараційний патент на корисну модель № 86426, Україна, F03D 9/00. Спосіб керування вітроелектротехнічним комплексом з асинхронним генератором / О. М. Сінчук, С. М. Бойко / Патентовласник: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського; заявл. №u201309324 від 25.07.2013, опубл. 25.12.2013. Бюл. №24, 2013 р.

7. Лежнюк П. Д., Ковальчук О. А., Кулик В. В. Особливості роботи відновлюваних джерел енергії в локальній електричній системі. *Відновлювана енергетика XXI століття* : XII Міжнарод. наук.-практ. конф. Крим, 2011. С. 42–46.
8. Yulong P., Cavagnino A., Vaschetto S., Feng C., Tenconi A. Flywheel energy storage systems for power systems application. *International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*, Santa Margherita Ligure, Italy, 27–29 June 2017. Pp. 492–501.
9. European Smart Grids Technology Platform. Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006.
10. United States Air Force. Air Force Basic Doctrine, Organization, and Command. Air Force Doctrine Document 1.14 October 2011.
11. Vick Alan J. Air Base Attacks and Defensive Counters Historical Lessons and Future Challenges [Research Report] / Alan J. Vick. – RAND Corporation, Santa Monica, Calif., 2015.
12. Уроки війни на Сході: авіаційна компонента. Уроки АТО: авіаційна компонента / “Народна армія” Ветерани.UA”. 2016. URL: <http://veterano.com.ua/vijna/na-zakhysti-ukrainy/4696-uroki-vijni-na-skhodi-aviatsijna-komponenta>.

References

1. Stohniy, B. S. (2010). Stalyy rozvytok enerhetyky ta intelektual'ni enerhetychni systemy [Sustainable energy development and intelligent energy systems]. *Pratsi Instytutu elektrodynamiky NAN Ukrainy – Proceedings of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine*, special issue, pp. 6–10.
2. World Energy Outlook –2019, OECD/IEA, Paris.
3. Ministry of Energy and Coal Industry of Ukraine [Ministerstvo enerhetyky ta vuhilnoi promyslovosti Ukrainy]. (n.d.). *Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2035 r. [Energy strategy of Ukraine for the period up to 2035]*. <http://mpe.kmu.gov.ua>.
4. Sinchuk, O. M., Boiko, S. M., Karamanyts, F. I., Kozakevych, I. A., Baranovska, M. L., Yalova, A. M. (2018). *Aspects of the problem of applying distributed energy in iron ore enterprises electricity supple systems*. ISENCT.
5. Sinchuk, O. M., Mykhaylychenko, D. A., Boyko, S. M., Shcherbak, M. A. (2013). *Systema keruvannia asynkhronnym heneratorom u skladi vitroelektrotekhnichnoho kompleksu [Control system of an asynchronous generator as a part of a wind-electric complex]*. (Deklaratsiynyi patent na korysnu model № 84633, Ukraina, H02P9/00).
6. Sinchuk, O. M., Boyko, S. M. (2013). *Sposib keruvannya vitroelektrotekhnichnym kompleksom z asynkhronnym heneratorom [Method of control of wind power complex with asynchronous generator]*. (Deklaratsiynyi patent na korysnu model № 86426, Ukraina, F03D 9/00).
7. Lezhnyuk, P. D., Kovalchuk, O. A., Kulyk, V. V. (2011). Osoblyvosti roboty vidnovlyuvanykh dzherel enerhiyi v lokal'niy elektrychniy systemi [Features of renewable energy sources in the local electrical system]. *Vidnovlyuvana enerhetyka XXI stolittya: XII mizhнарод. nauk.-prakt. conf. – Renewable energy of the XXI century: XII International. scientific-practical conf.* (pp. 42–46).
8. Yulong, P., Cavagnino, A., Vaschetto, S., Feng, C., Tenconi, A. (27–29 June 2017). Flywheel energy storage systems for power systems application. *International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)* (pp. 492–501). Santa Margherita Ligure.
9. European Smart Grids Technology Platform. Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future (2006). Office for Official Publications of the European Communities.
10. United States Air Force. Air Force Basic Doctrine, Organization, and Command. Air Force Doctrine Document 1. 14 October 2011.
11. Vick Alan J. (2015). Air Base Attacks and Defensive Counters Historical Lessons and Future Challenges [Research Report]. RAND Corporation.
12. “Narodna armiya” Veterany.UA” [“People's Army” Veterans.UA”]. (2016). *Uroky viyny na Skhodi: aviatsiyna komponenta. Uroky ATO: aviatsiyna komponenta [Lessons from the war in the East: the aviation component. Lessons of anti-terrorist operation: aviation component]*. <http://veterano.com.ua/vijna/na-zakhysti-ukrainy/4696-uroki-vijni-na-skhodi-aviatsijna-komponenta>.

UDC 621.311.4.031

*Serhii Boiko, Oleksiy Gorodny, Irina Kasatkina, Yana Doludarieva***WIND POWER COMPLEX FOR LOADING OF STORAGE BATTERIES**

Urgency of the research. One of the directions of modern world strategies is the development of renewable energy. This is especially true for those regions where there is no access to modern energy systems, or for developing countries with growing energy needs. Analysis of the achievements of modern energy shows that decentralized energy systems using distributed generation sources can be an extremely profitable area for investment, if it is possible to place energy sources near consumers. Usually the cost of energy transfer reaches 30% of its production.

Actual scientific researches and issues analysis. The problem of this work is the layout and structure of the wind power complex for charging batteries. Existing methods for designing the power supply system for remote consumers are mainly considered as an alternative to centralized power supply, electricity supply through electricity generation based on renewable energy sources, and not enough attention has been paid to their additional functionality.

Uninvestigated parts of general matters defining. The authors substantiate the need for the introduction of autonomous energy sources based on renewable energy in a number of previous studies. Meanwhile, wind energy is distinguished among other sources of renewable energy, which has a number of advantages both according to the results of theoretical research and from the practical implementation. The research on these scientific and practical topics continues, and acquires new meanings, taking into account aspects of modern science and technology.

The research objective. Thus, the urgent scientific and practical task is to develop the structure of the wind power complex for charging batteries in the conditions of impossibility of connection to the centralized power supply.

The statement of basic materials. In order to ensure the continuity of their electricity supply in the face of real restrictions on fuel reserves available to a particular autonomous facility, it is proposed to use renewable energy sources, which are always and all of which emit wind energy. Therefore, taking into account the above aspects of the layout of wind power systems, the development of the control system aims to provide consumers with a stable DC voltage regardless of changes in parameters in any part of the system and battery charging.

Conclusions. The necessity of introduction in the structure of an autonomous stirrup of power station on the basis of a wind power complex of a link for a back of accumulator batteries is proved. The structure of a wind power complex for charging of accumulator batteries in the conditions of impossibility of connection to the centralized power supply is offered.

Keywords: distributed generation; wind power complex; power equipment; power supply; batteries.

Fig.: 1. **References:** 12.

Бойко Сергій Миколайович - кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті, Криворізький національний університет (вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, 50027, Україна).

Boiko Serhii - PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of automation electromechanical systems in the industry and vehicles, Kryvyi Rih National University (11 Vitalyy Matusevych Str., 50027 Kryvyi Rih, Ukraine).

E-mail: bsn1987@i.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9778-2202>

Scopus ID: 56417478200

Городній Олексій Миколайович - кандидат технічних наук, старший викладач кафедри промислової електроніки, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, Чернігів, 14035, Україна).

Gorodny Oleksiy - PhD in Technical Sciences, senior lecturer of the Industrial Electronics Department, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: aleksey.gorodny@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5303-9564>

Web of Science: H-1425-2016

Scopus ID: 55327980200; ID 56338229500; ID 57191829796.

Касаткіна Ірина Віталіївна - кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті, Криворізький національний університет (вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, 50027, Україна).

Kasatkina Irina - PhD in Technical Sciences, associate professor of Department of automation electromechanical systems in the industry and vehicles Kryvyi Rih National University (11 Vitalyy Matusevych Str., 50027 Kryvyi Rih, Ukraine).

E-mail: speet@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8967-6442>

Долударева Яна Станіславівна - викладач вищої категорії, викладач-методист, голова циклової комісії природничих наук, кандидат технічних наук, доцент, Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ (вул. Перемоги, 17/6, м. Кременчук, 39600, Україна).

Doludarieva Yana - Lecturer of the highest category, teacher-methodologist, chairman of the cycle commission of natural sciences, candidate of technical sciences, associate professor, Kremenchuk Flight College, Kharkiv National University of Internal Affairs (17/6 Wins Str., 39600 Kremenchug, Ukraine).

E-mail: boikosn2017@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5303-9564>