

УДК 621.311+620.92

КОМБІНОВАНА МОБІЛЬНА СИСТЕМА ОСНОВНОГО І РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАЧІВ МАЛОЇ ТА СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ

ШКРАБЕЦЬ Ф.П. доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри відновлюваних джерел енергії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна e-mail: ShcrabetsF@nmu.org.ua;

БЕРДНИК В.В. аспірант кафедри відновлюваних джерел енергії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна e-mail: Berdnik.V.V@nmu.one.

Мета. Мета роботи полягає в розробці мобільної комбінованої системи основного і резервного живлення на основі відновлюваних і традиційних джерел енергії для електроживлення малопотужних споживачів у віддалених від загальної електромережі регіонах; в описанні конструкції запропонованої системи; в розробці блок-схеми алгоритму контролю і управління елементами системи задля досягнення найбільш ефективного енергоживлення споживачів при подальшому впровадженні та удосконаленні системи.

Методи дослідження. Для проведення досліджень використані: метод аналітичної обробки оглядових матеріалів з питання стану розвитку альтернативної енергетики на сучасному етапі та існуючих на сьогодні проблем, щодо енергозабезпечення малопотужних віддалених енергоустановок, а також шляхів їх подолання завдяки моделюванню можливих систем безперебійного живлення; метод системного аналізу комплексної оцінки потенціалу комбінованої мобільної системи основного та резервного живлення на основі сучасних комп'ютерних технологій.

Отримані результати. При аналізі матеріалів робіт відповідно до тематики дослідження, виявлено та доведено доцільність створення та подальшого удосконалення систем комбінованого електроживлення малопотужних споживачів з метою забезпечення енергобалансу Дніпровського регіону (Україна). Запропоновано варіант конструкції комбінованої системи на основі традиційних і відновлюваних джерел: зокрема, розроблено блок-схему алгоритму контролера управління комбінованою системою. Представлено механізм дії запропонованої блок-схеми алгоритму, а також отримані та проаналізовані графічні залежності: коефіцієнту потужності від величини швидкохідності вітроагрегату $C_p=f(Z)$; механічного моменту вітротурбіни від коефіцієнту швидкохідності реальної вітроустановки $M=f(Z)$. Представлено результати розрахунку виробітку електроенергії, W , [кВт·год] протягом року потенційною вітроелектроустановкою.

Наукова новизна полягає в запропонованій блок-схемі алгоритму контролю і управління комбінованою системою резервного електропостачання, яка дозволяє двигунам вітроустановки та дизельного агрегату поперемінно працювати на один загальний електрогенератор.

Практична цінність роботи полягає у створенні системи гарантованого енергозабезпечення та розподілу електроенергії для малопотужних споживачів енергії різного призначення; підвищенні ефективності, гнучкості та надійності системи і, в кінцевому рахунку, зменшенні енергетичної залежності країни від імпорту традиційних викопних енергоресурсів, перетворення яких призводить до негативних наслідків щодо екології країни. Впровадження запропонованої блок-схеми алгоритму контролю і управління енергосистемою дозволить знизити витрати на її обслуговування, наприклад, поточний ремонт, тощо та, відповідно, вартість системи цілому.

Ключові слова: резервне електропостачання; енергоспоживання, відновлювані джерела енергії; комбінована система; вітроелектрогенератор; двигун; дизельний агрегат; потужність; блок-схема; мобільність, ефективність, залежність.

I. ВСТУП

У зв'язку з існуючими проблемами, викликаними нестачею викопних видів палива і їх шкідливим впливом на навколишнє середовище, виникає потреба у розробці та використанні нових енергозберігаючих технологій на основі відновлюваних джерел енергії.

Велику роль сьогодні відіграють системи резервного живлення. Оскільки виникнення аварійних си-

туацій в електромережі, або зупинка в роботі установок може спричинити значні збитки, резервне живлення є необхідною умовою, насамперед, для споживачів відповідальних категорій.

Питання забезпечення електроенергією мобільних установок та віддалених автономних об'єктів невеликої потужності в наш час стають актуальними у зв'язку з необхідністю обґрунтування технічної та економічної доцільності створення систем транспор-

тування електроенергії. При цьому, поки що не розроблені можливості використання нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) для живлення названих споживачів. Дані технології можуть бути реалізовані в сфері малопотужних, до 10 кВт, споживачів, з метою забезпечення їх безперервного електроживлення. Більш детальний аналіз споживачів приведений у роботі [1].

Системи резервного живлення малопотужних установок та об'єктів середньої потужності зазвичай використовують як джерело електроенергії, виробленої за рахунок спалювання викопного палива. Таким чином, при впровадженні систем безперервного живлення використовують двигуни внутрішнього згоряння різних типів у комбінації з генератором. У більшості випадків живлення від генераторів не є як економічно, так і енергетично доцільним, на відміну від систем резервного живлення на основі ВДЕ.

Генератори до 10 кВт, особливо бензинові і газові, на відміну від інверторних систем резервного живлення, зазвичай не мають стабілізації напруги за частотою – це супроводжується гармонійними викривленнями виробленого струму, що може призвести до некоректної роботи і виходу з ладу чутливого устаткування. Генератори при роботі створюють шум близько 65dB. Також недоліком при роботі генераторної установки є наявність викидів вихлопних газів (СО, СО₂, NO та ін.). Витрати на паливо, у випадку використання генераторів за час експлуатації можуть перевищувати вартість самого генератора в n разів. Існує необхідність постійного технічного контролю генераторів в середньому кожні 100 – 200 мотогодини (дешеві моделі – частіше): долив палива, заміна масла, охолоджуючої рідини, фільтрів, регулювань і т.д. Слід також врахувати ціни на комплектуючі витратні матеріали, такі як фільтри, масло тощо. Системи резервного живлення на базі інверторів, наприклад, є повністю необслуговуваними.

Використання електрогенераторів передбачає впровадження напівпровідникових систем керування. Використання декількох генераторів суттєво збільшує габарити регулятора, що значно підвищує його вартість та вартість усієї установки [2].

Генераторні системи резервного живлення використовуються здебільшого в регіонах, в яких, підведення стаціонарних або тимчасових ЛЕП для живлення віддалених споживачів економічно недоцільно, оскільки потребує значних капітальних вкладень. Використання дизельних генераторів має масу недоліків, від необхідності своєчасного ремонту до малого терміну служби, але задля досягнення безперервного енергозабезпечення споживачів, відмовитися від них повністю неможливо. З метою економії пального, зниження залежності від зовнішніх поставок енергоресурсів, зменшення впливу на екологію, а також для забезпечення безперервності роботи обладнання існує необхідність у створенні автономних систем основного і резервного живлення на базі ВДЕ у комбі-

нації з електрогенераторами. В даній роботі пропонується варіант комбінованої мобільної системи безперервного живлення (КМС) на базі вітрогенератора та дизельного двигуна, працюючих на один генератор. Впровадження запропонованої системи дозволить уникнути недоліків, пов'язаних з використанням декількох електрогенераторів в одній системі та, в свою чергу, КМС матиме переваги енергетичних установок на базі ВДЕ.

Дана система буде використовуватися для резервного живлення віддалених від загальної системи електропостачання споживачів, а саме живлення малопотужних електроприладів, нагріву води, тощо.

II. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Серед публікацій закордонних науковців і дослідників чітко виділяється тенденція до використання ВДЕ у якості джерел живлення мобільних споживачів, які віддалені від загальної мережі електропостачання, а також до впровадження комбінованих систем резервного живлення на основі вітрогенераторів.

В якості одного з найбільш перспективних джерел енергії виділяють енергію сонячного випромінювання. У роботі [3] зазначається, що сонячна енергія є найкращим варіантом через її поширеність, значне сонячне випромінювання та загальний надлишок в природі. В свою чергу, вітер – невичерпне джерело енергії, використання якої у порівнянні з іншими ВДЕ може сприяти підвищенню ефективності енергоустановок [3].

Згідно [4], використання систем збереження дозволяє досягти плавної кривої генерованої потужності. Вітродизельні системи мають постійно зростаюче значення рентабельності, що говорить про їхню ефективність [5].

В [6], стосовно комбінованих гібридних систем на основі двигунів внутрішнього згоряння, дизельні двигуни рекомендується використовувати у якості джерела резервної потужності.

В інших роботах пропонуються схемні рішення автономних комбінованих систем електропостачання на базі фотоелементів та використання додаткових пристроїв, концентраторів, за рахунок яких можливо збільшити частку перетворюваного в електроенергію сонячного випромінювання.

Останні видані закордонні публікації на досліджувану тематику можна знайти у авторів з багатьох європейських та інших країн, серед яких є автори з Великобританії [7], [8], які досліджують проблему автономного віддаленого постачання енергоносіїв для сільського господарства; Іспанії, роботи яких пов'язані з приладами перетворення енергії та контролерами управління системами автономного електрозабезпечення [9], [10]. У роботах авторів з Індії також вирішується питання управління системами електропостачання на основі відновлюваних джерел [11]. У роботах Французьких дослідників вирішується за-

вдання інтеграції енергосистем до розумної мережі (Smart Grid) [12], [13]; в роботах авторів Саудівської Аравії, наприклад в [14], також вивчаються системи резервного електрозабезпечення на відновлюваних джерелах. Проблемою забезпечення електроенергією віддалених споживачів займаються також науковці Малайзії, Італії, та інших країн.

В публікаціях авторів вирішується питання ефективного впровадження відновлюваних джерел в системи резервного живлення віддалених від загальної енергомережі енергетичних об'єктів.

Питання автономних систем резервного електропостачання також широко вивчається й у країнах пострадянського простору. Так, автори вивчають можливості розробки та використання систем на базі ВДЕ з метою зменшення шкідливих викидів.

Принцип роботи КМС з одним електрогенератором, аналогічний запропонованому в даній роботі, розглядався у [15]. В більшості робіт була запропонована схема комбінованої роботи вітрового та теплового агрегату з використанням двох муфт вільного ходу. В [15] навпроти, розглядається комбіновані автономні вітроелектричні системи з використанням як дизельних, так і вітрогенераторів.

Таким чином, тема резервного постачання енергоносіїв, віддаленим від електромережі споживачам сьогодні є досить актуальною та досліджуваною. На сьогоднішній день існує необхідність створення такої системи, яка б характеризувалась якомога більшою ефективністю.

III. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи полягає в розробці мобільної комбінованої системи основного і резервного живлення на основі відновлюваних і традиційних джерел енергії для електроживлення малопотужних споживачів у віддалених від загальної електромережі регіонах; в описанні конструкції запропонованої системи; в розробці блок-схеми алгоритму контролю і управління елементами системи задля досягнення найбільш ефективного енергоживлення споживачів при подальшому впровадженні та удосконаленні системи.

IV. ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГУ МАТЕРІАЛУ І АНАЛІЗ ОТРИМАННИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Конструкція КМС. Запропонована в даній роботі система представляє собою послідовну роботу двигунів вітроустановки та дизельного агрегату на один генератор. Конструкція системи дозволить досягти безперервного живлення споживачів малої та середньої потужності за рахунок використання того чи іншого двигуна. При оптимальних факторах навколишнього середовища, живлення споживачів відбувається за рахунок роботи вітрогенератора. В свою чергу, при зниженні швидкості вітру до граничного значення, при якому генерована потужність не буде досягати необхідного рівня, система деякий час працюватиме

від акумуляторних батарей. В якості резервного джерела живлення акумуляторних батарей встановлено фотоелектричні елементи. Якщо протягом тривалого часу швидкість вітру не відновиться до необхідного рівня, система переключиться на роботу від дизельного. Таким чином, живлення електроспоживачів буде безперервним та не буде залежати від зовнішніх факторів. Функціональна схема установки представлена на рисунку 1.

Конструктивно, система змонтована на причепі, який має відповідні розміри ширини довжини та висоти 2550x4340x2625 мм, тобто є мобільною (пересувною), в залежності від потреб споживача. Щогла вітроустановки, з вертикальною віссю обертання та ротором Дар'є висотою 8000 мм, кріпиться у трьох точках задля досягнення більшої стійкості всієї конструкції. В системі встановлено блок акумуляторних батарей ємністю 800 А·год, змонтовано дизельний двигун потужністю 7,5 кВт, вітроустановку потужністю 5 кВт та генератор 7,5 кВт.

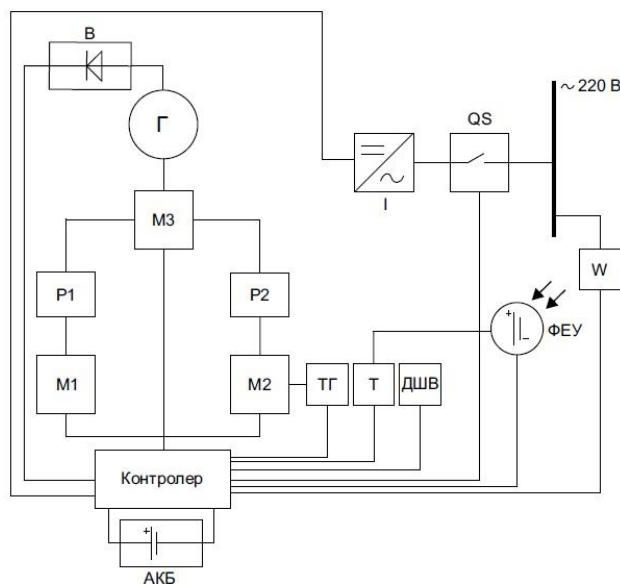


Рисунок 1. Функціональна схема мобільної системи резервного живлення

Для передачі обертових моментів, вали вітроустановки та дизельного двигуна, за допомогою електричних муфт, під'єднані до електрогенератора через редуктор, який необхідний для зрівноваження обертів відповідних двигунів. На рис. 1, P1 та P2 – редуктори, які вирівнюють швидкість обертання валів двигунів, під'єднаних за допомогою електромагнітних муфт М до генератора Г. Дані редукторні пристрої коробки передач під'єднано до М1 – муфти дизельного двигуна та М2 – вітроустановки. Контролер служить для автоматичного управління переключенням електромагнітних муфт, перевірки залишкової ємності акумуляторних батарей, підзарядки АКБ за рахунок двигунів або фотоелементів та вимірювання величини генерованого струму ВЕУ. Механічна частина систе-

ми працює на електрогенератор. Випрямлений струм протікає через контролер де за рахунок напівпровідникових пристроїв набуває необхідної величини та якості. Оскільки швидкість вітру не є постійною величиною, а акумуляторні батареї заряджаються постійним струмом, на виході електрогенератора встановлені випрямляючі пристрої. Для вимірювання кількості обертів ВЕУ, на вал вітроустановки встановлено тахометр, датчик швидкості вітру та прилади для вимірювання сонячної радіації та температури. Отримані дані передаються на контролер. Установа обладнана додатковим баком ємністю 500 л для збільшення ресурсу автономної роботи системи.

На рис. 2 представлено структурну схему комбінованої мобільної системи електроживлення (КМС).

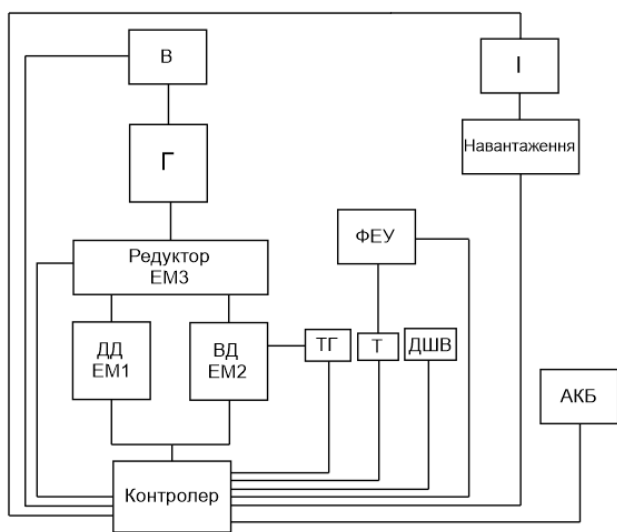


Рисунок 2. Структурна схема КМС

На рис. 2 основним елементом системи виступає контролер, за допомогою якого перевіряються величини швидкості вітру, температури повітря, сонячної радіації та обертів валу вітродвигуна. Зазначеними пристроями служать датчик швидкості вітру ДШВ, електричний термометр Т, тахогенератор ТГ. Необхідна інформація про стан заряду акумуляторних батарей та наявність навантаження надходить відповідно з блоків АКБ і навантаження. Після аналізу даних, контролер виконує підключення однієї з електромагнітних муфт ВД ЕМ2 вітроустановки або ДД ЕМ1 дизельного двигуна відповідно до редуктора через муфту ЕМ3. Також, у випадку неможливості роботи обох двигунів, контролер аналізує варіант живлення навантаження від АКБ через інвертор І. При відсутності навантаження, в контролер закладено функцію зарядки АКБ від ВД, ДД, або від ФЕУ, - фотоелектричної установки. Електромагнітна муфта редуктора ЕМ3 підключена до електрогенератора Г. В залежності від наявності навантаження, вироблена електроенергія передається через випрямляч В до блоку контролера, де перетворюється до необхідної величини пот-

рібною якості, далі до блоку АКБ, з метою їх підзарядки, або до інвертора І. Останній, в свою чергу живить навантаження.

Оскільки потужність ФЕУ є незначною, а основним джерелом живлення є вітроустановка та дизельний двигун, розрахунок потужності ФЕУ в даній роботі не приводиться.

Блок-схема алгоритму роботи контролера системи приведена на рис. 3.

Потужність дизельної установки повинна бути більшою, ніж потужність вітродвигуна [16], [17].

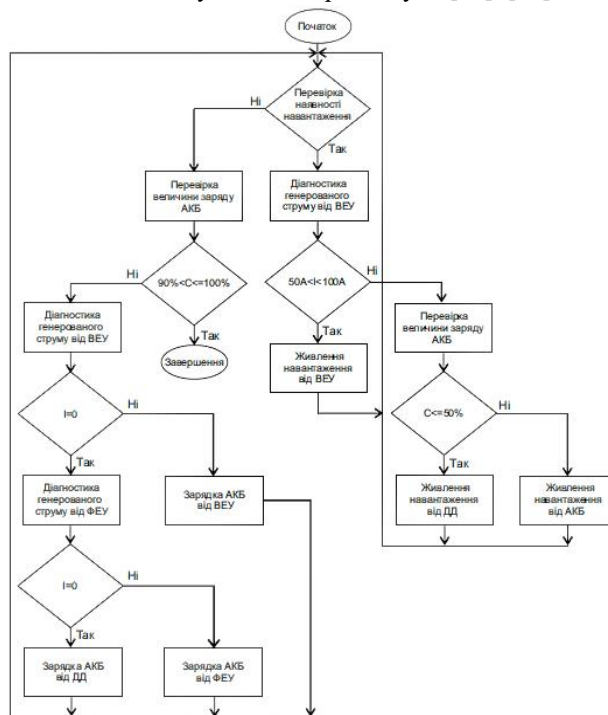


Рисунок 3. Блок-схема алгоритму роботи КМС

Ємність баку дизельного агрегату потужністю 7,5 кВт за паспортними даними становить 20 л. При споживанні палива 1,75 л/год, дана установка зможе працювати в автономному режимі та при повному завантаженні до 11 годин.

Додатковий бак ємністю 500 л дозволить збільшити час роботи до 295 годин, тобто 12 днів безперервної роботи. Встановлення баку необхідне у випадку передбачення недостатньої швидкості або відсутності вітряних потоків.

У разі відсутності або недостатньої швидкості вітру, система переключається на живлення навантаження від акумуляторних батарей. Ємності АКБ повинно вистачити на період відновлення вітру, в іншому випадку навантаження живиться від дизельного двигуна. Як було зазначено вище, ємність АКБ становить 800 А*год.

В залежності від регіону, середня швидкість вітру змінюється в більшу чи меншу сторону. Відсоток

виникнення тих чи інших градацій швидкості також має непостійну величину. Таким чином, з метою ефективного використання системи, в економічному та технічному плані, необхідно вибрати місцевість зі сприятливими погодними умовами.

Розрахунок середньої генерованої потужності вітроустановки S.A.V – 5 кВт на протязі року

Для прикладу візьмемо ВЕУ марки SAV з вертикально віссю обертання. Технічні характеристики приведені у табл. 1.

Таблиця 1. Технічні характеристики ВЕУ S.A.V - 5 кВт

Діаметр вітротурбіни, м	3,6
Висота лопаті, м	4
Кількість лопатей, шт	5
Номинальна кількість обертів ротора, об/хв	80-100
Номинальна потужність, Вт	5000
Максимальна потужність, Вт	5500
Початкова швидкість вітру, м/с	2,5
Номинальна швидкість вітру, м/с	8
Робоча швидкість вітру, м/с	3-20
Висота щогли, м	8
Маса ВЕУ, кг (без щогли)	440
Коефіцієнт використання енергії вітру	>0,42
Тип генератора	3-х фазний на постійних магнітах
Частота генератора, Гц	0-50
Струм генератора	змінний
Номинальна напруга на виході ВЕУ, В	48
Номинальний струм, А	100
Максимальний струм, А	110
Рівень шуму, Дб	40

Далі проведемо аналіз кліматичних умов для розміщення КМС на території України. Виконаємо розрахунок річної генерованої потужності вітроустановки.

Потужність ВЕУ з вертикальною віссю обертання, розраховується аналогічно потужності горизонтальних вітроустановок, за винятком розмірів поверхні, яку обмахують повітряні потоки. Таким чином згідно [19],

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^3 \cdot C_p \cdot K_{el} \cdot K_{mex} \text{ Вт} \quad (1)$$

де $\rho=1,225$ – густина повітря, кг/м^3 ; S – фронтальна площа вітротурбіни; V – швидкість вітру, м/с ; C_p –

коефіцієнт використання енергії вітру; K_{el} – ККД генератора (на постійних магнітах 0,8), K_{mex} – ККД трансмісії (ККД підвищуючого редуктора 0,7 – 0,9).

В нашому випадку фронтальна площа вітротурбіни [18]:

$$S = D \cdot H = 3,6 \cdot 4 = 14,4 \text{ м}^2 \quad (2)$$

де D – діаметр вітроколеса, м ; H – висота лопаті, м .

Характеристику вітроколеса звичайно наводять у вигляді залежностей коефіцієнта C_p і обертового моменту M від величини швидкохідності Z . Коефіцієнт C_p – один із головних параметрів, що характеризує ефективність вітротурбіни. Його величина визначає середнє вироблення електроенергії на конкретній установці [18]. Максимально можливе значення коефіцієнта потужності дорівнює $C_{Pmax}=0,593$ – теоретична межа Бетца. У практичних розрахунках враховують вплив на величину C_p типу вітроколеса, в результаті чого він зменшується і складає:

$$C_p = (0,3 - 0,8) \cdot C_{Pmax} \approx 0,18 - 0,48 \quad (3)$$

Менше значення C_p відноситься до багатолопатеких тихохідних ВЕУ з вертикальною віссю обертання, більше – до горизонтально-осьових ВЕУ з двома-трьома лопатями.

Коефіцієнт швидкохідності Z визначають як відношення колової швидкості u кінців лопатей до швидкості вітру V :

$$Z = \frac{\omega \cdot R}{V} = \frac{u}{V} \quad (4)$$

де R – радіус кола, що обмахується кінцевими елементами лопатей; ω – кутова частота, рад/с , $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$

(для ВЕУ S.A.V $\omega = \frac{\pi \cdot 100}{30} = 10,47$); u – значення колової швидкості на кінцях лопатей, м/с , $u = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}$, де n – частота обертання, об/хв ; D – діаметр вітроколеса, м .

Величина Z знаходиться в межах 0,2...10: для великих ВЕУ $Z > 1$, для ВЕУ з великою кількістю лопатей $Z \approx 3$, для ВЕУ з трьома лопатями і великою швидкістю обертання $Z \approx 6...10$.

При аналізі кривої $C_p=f(Z)$ [18], було виявлено, що при відомих значеннях швидкохідності для максимальної та оптимальної потужності, а також точки максимального коефіцієнта потужності, вона добре апроксимується за допомогою кубічної параболі:

$$C_p = C_{Pmax} \cdot \left(\frac{Z}{Z_{onm}} \right)^2 \cdot \left[-2 \cdot \left(\frac{Z}{Z_{onm}} \right) + 3 \right] \quad (5)$$

де, з урахуванням паспортних даних, ВЕУ $C_{Pmax}=0,45$;

$$Z_{opt} = \frac{10,47 \cdot 1,8}{10} = 1,884. \text{ Обертальний (механічний)}$$

момент ВЕУ дорівнює $M = \frac{P}{\omega}$.

Залежності $C_p=f(Z)$ та $M=f(Z)$ для ВЕУ S.A.V представлені на рис.4 та 5. З рис. 4 видно, що величина $C_{p\max}$, при якій спостерігається найбільше значення генерованої потужності ВЕУ, відповідає значенню Z_{opt} .

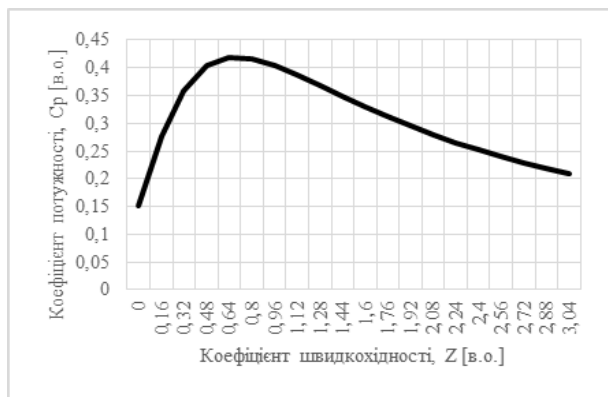


Рисунок 4. Залежність коефіцієнту потужності від значення швидкохідності вітроагрегату

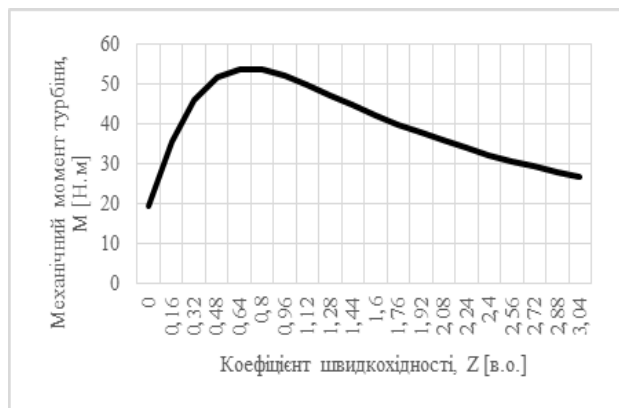


Рисунок 5. Залежність величини механічного моменту вітротурбіни від коефіцієнту швидкохідності

Існує критерій, побудований на основі середньорічної швидкості вітру, при якій ВЕУ рентабельна й окупає себе [18]. Ця швидкість знаходиться в діапазоні 5,1 ... 5,9 м/с. Даний критерій не враховує використання додаткових джерел живлення, зокрема дизельних або бензинових агрегатів.

Згідно [20], на практиці використовуються два варіанти розрахунку максимально ймовірного річного виробітку енергії вітроагрегатом.

Перший – з використанням результатів спостережень на метеостанціях, в яких повторюваність швидкостей вітру приводиться по шести градаціях: 2-5; 6-9; 10-13; 14-17; 18-20 та більше 20 м/с. Другий варіант розрахунку ґрунтується на використанні апроксимації експериментальних даних повторюваності

швидкостей вітру двохпараметричним розподіленням Вейбулла. Згідно [20], порівняння результатів розрахунку за двома варіантами має розбіжність 2,5%. Така величина є цілком прийнятною для приблизних розрахунків виробітку енергії.

Нормальні кліматичні умови, при яких буде виконуватися розрахунок ВЕУ: атмосферний тиск 760 мм. рт. стовпа та температура повітря +15°C. Для розрахунку виробітку енергії ВЕУ, які мають висоту щогли більше або менше 10 м, середню швидкість вітру слід перерахувати за наступною формулою:

$$V = V_1 \cdot \left(\frac{H}{H_1}\right)^{\frac{1}{5}}, \quad V = V_1 \cdot \frac{\lg \frac{H}{H_0}}{\lg \frac{H_1}{H_0}}, \quad (6)$$

де V_1 – швидкість вітру, виміряна поблизу землі на висоті H_1 ; V – шукана швидкість на висоті H ; H_0 – висота, на якій швидкість вітру дорівнює нулю. Величина H_0 залежить від шорсткості поверхні, що підстилає (для сніжного покриву $H_0 \approx 0,5$ см, для поверхонь з низькою травою $H_0 \approx 3,2$ см, з більш високими рослинами $H_0 \approx (5 \dots 7)$ см, $H_{0\max} = 20$ см) [18].

Швидкість вітру на висоті 8 м:

$$V = V_{10} \cdot \left(\frac{H_8}{H_{10}}\right)^{\frac{1}{5}} = 5,5 \cdot \left(\frac{8}{10}\right)^{\frac{1}{5}} \approx 5,26 \text{ м/с}$$

Виконаємо розрахунок річного виробітку енергії вітроагрегатом S.A.V потужністю 5 кВт. Результати занесемо до таблиці 3. Для визначення метеорологічних даних скористаємось [21]. В табл. 2 наведено середні величини ймовірності середньорічної швидкості вітру по градаціях для регіонів України.

Таблиця 2. Середні величини ймовірності швидкості вітру по градаціях (% від загальної кількості випадків) [21]

Регіон	Швидкість вітру, м/с					
	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15
Донецьк (Жданов АМСГ)	20,8	15,3	7,8	5,4	5,5	4,2
Херсон (Агрометеостанція)	24,1	14,1	6,6	2,6	2,6	0,6
Дніпро (АМСГ)	22,3	12,7	8,1	2,7	1,7	0,6
Львів (АМСГ)	21,8	13,4	5,5	2,1	1,7	0,8

Таким чином, за нормальних кліматичних умов, при використанні ВЕУ SAV 5 кВт на протязі року можливо отримати 6,8 МВт.год електроенергії. У разі дефіциту потужності ВЕУ, як було встановлено вище,

на час до встановлення оптимальної швидкості вітру живлення навантаження відбувається від АКБ. Якщо за час роботи акумуляторів швидкість вітру не відновиться до необхідного рівня, в роботу включається дизельний двигун.

В табл. 3: V , м/с – середина градації швидкості вітру; V_8 , м/с – середина градації швидкості вітру на висоті 8 м; P , кВт – потужність, яку розвиває ВЕУ; E , в.о. – повторюваність градацій швидкості вітру; T , год – час роботи ВЕУ на протязі року; W , кВт.год – вироблена електроенергія.

Таблиця 3. Максимально можлива річна виробка енергії вітроагрегатом S.A.V 5 кВт для умов Дніпровського регіону

V , м/с	V_8 , м/с	P , кВт	E , в.о.	T , год	W , кВт.год
2,5	2,39	0,05	25,200	700	35,44
4,5	4,30	0,30	26,000	850	250,97
6,5	6,22	0,89	22,300	920	818,65
8,5	8,13	1,99	12,700	790	1572,01
10,5	10,04	3,75	8,100	400	1500,37
12,5	11,95	5,5	2,700	280	1540,00
14,5	13,87	5,5	1,700	120	660,0 0
16,5	15,78	5,5	0,600	50	275,00
18,5	17,69	5,5	0,600	20	110,00
>20	19,13	5,5	0,100	7	38,50
			Всього	4137	6800,95

V. ВИСНОВКИ

Використання автономних комбінованих систем резервного живлення на території України дозволить зменшити антропогенний вплив на навколишнє середовище та реалізувати потенціал місцевих ресурсів ВДЕ.

КМС, яка представлена в роботі, є мобільною (пересувною), що дає змогу використовувати її у віддалених регіонах та важкодоступній місцевості, в залежності від потреб споживачів, таких як радіолокаційні установки, геологорозвідні пристрої невеликої потужності, тощо. Також, названі споживачі матимуть змогу працювати в місцевості, де живлення від загальної системи електропостачання є технічно неможливим або економічно недоцільним.

Комбінація відновлюваних та традиційних джерел живлення для запропонованої системи дозволяє забезпечити безперебійне постачання електроенергії для малопотужних пристроїв на досить тривалий час.

В роботі представлено блок-схему управління системою КМС, яка передбачає, що за рахунок вста-

новлених датчиків, можливі фактори нестачі електроенергії для живлення споживачів та додає системі автономності. Таким датчиком може служити звичайний ватметр або лічильник електроенергії, який передає дані до пристрою контролю.

Подальша розробка КМС, на відміну від резервної системи електроживлення з двома електрогенераторами, дозволить знизити як капітальні, так і експлуатаційні витрати на її використання.

Запропонована система та спосіб її керування представляють практичний та науковий інтерес та мають бути досліджені в майбутньому з метою їх вдосконалення.

СПИСОК ЛІТУРАТУРИ

- [1] Shcrabets, F. P. The Systems of Backup Power Supply Based on Renewable Energy Sources for Mobile Facilities [Text] / F. P. Shcrabets, P.Yu. Krasovskiy, V.V. Berdnyk // Scientific Bulletin of National Mining University. – 2017. – No 2. – P. 81-86.
- [2] Сандлер, А.С. Преобразователи частоты для управления асинхронными двигателями [Текст] / А.С. Сандлер, Р.С. Сарбатов. – М. – Л.: Энергия, 1966. – 144 с.
- [3] Kannan, N. Solar Energy for Future World: A Review [Text] / N. Kannan, D. Vakeesan // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – Vol. 62. – P. 1092-1105.
- [4] Kaldellis, J.K. Overview of Stand-Alone and Hybrid Wind Energy Systems [Text] / J.K. Kaldellis. – Woodhead Publishing Limited. – 2010. – P. 1 – 27
- [5] Alone and Hybrid Wind Energy Systems [Text] / J.K. Kaldellis. – Woodhead Publishing Limited. – 2010. – P. 102-161.
- [6] Bhuvanewari, G. Hybrid Wind-Diesel Energy System [Text] / G. Bhuvanewari, R. Balasubramanian. – Woodhead Publishing Limited. – 2010. – P. 191-215.
- [7] Philip, S. Off-grid solar photovoltaic systems for rural electrification and emissions mitigation in India [Text] / S. Philip, F. Samuel. – Solar Energy Materials and Solar Cells. – 2016. – P. 147-156
- [8] Philip, S. What are the greatest opportunities for PV to contribute to rural development? [Text] / S.Philip, E. Ned. – Energy Procedia. – 2017. – P.139-146
- [9] Salas, V. Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems [Text] / V. Salas, E. Olias. – Solar Energy Materials and Solar Cells. – 2006. – P. 1555-1578
- [10] Salas, V. Overview of the off-grid photovoltaic diesel batteries systems with AC loads [Text] / V. Salas, W Suponthana. – Applied Energy. – 2015. – P. 195-216
- [11] Joydip, J. A review of inverter topologies for single-phase grid-connected photovoltaic systems [Text] / J. Joydip, H. Saha. Renewable and Sustainable Energy

- Reviews, 2017. – 1256-1270
- [12] Sechilariu, M. Building Integrated Photovoltaic System With Energy Storage and Smart Grid Communication [Text] / M. Sechilariu, B. Wang. IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2013. – P. 1607-1618
- [13] Wang, B. Intelligent DC microgrid with smart grid communications: Control strategy consideration and design [Text] / B. Wang, F. Locment. IEEE Transactions on Smart Grid. – 2012. – 2148-2156
- [14] Mohandes, M. Support vector machines for wind speed prediction [Text] / M. Mohandes, T. Halawani. Renewable Energy. – 2004. – 939-947.
- [15] Шефтер, Я. Изобретателю о ветродвигателях и ветроустановках [Текст] / Я. Шефтер, И. Рождественский И. М.: Изд-во министерства сельского хозяйства. – 1957. – 145 с.
- [16] Nacfaire, H. Wind-Diesel and Wind Autonomous Energy Systems [Text] / H. Nacfaire. Elsevier applied science London and New York. – 2005. – P. 200-218.
- [17] Абрамович, Б. Выбор параметров ветродизельной установки для энергообеспечения минерально-сырьевого комплекса [Текст] / Б. Абрамович, А. Бельский // Записки Горного института. – 2012. – Т.195. – С. 227-230.
- [18] Кривцов, В.С. Невичерпна енергія [Текст] / В.С. Кривцов, О.І. Яковлев, О.М. Олейников // Книга 1: Вітроелектрогенератори. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т. – 2004. – 396 с.
- [19] Грахов, Ю. Инженерный метод и математическое моделирование в проектировании ветроэнергетических установок [Текст] / Ю. Грахов, О. Матвеев, Е. Соломин // Вестник ЮУрГУ. – 2010. – Вып.9. – С. 45-52.
- [20] Харитонов, В.П. Автономные ветроэлектрические установки [Текст] / В.П. Харитонов. – М.: ГНУ ВИЭСХ. – 2006. – 280 с.
- [21] Егорова А. С. Справочник по климату СССР [Текст] / А. С. Егорова. – Л.: Гидрометиздат. – 1967. – Вып.10. – 305 с.

Стаття надійшла до редакції 08.07.2018

КОМБИНИРОВАННАЯ МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА ОСНОВНОГО И РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБИТЕЛЕЙ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

- ШКРАБЕЦ Ф.П.** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой возобновляемых источников энергии Национального технического университета “Днепропетровская политехника”, Днепр, Украина, e-mail, ShcrabetsF@nmu.org.ua;
- БЕРДНИК В.В.** аспирант кафедры возобновляемых источников энергии Национального технического университета “Днепропетровская политехника”, Днепр, Украина, e-mail, Berdnik.V.V@nmu.one.

Цель. Цель работы заключается в разработке мобильной комбинированной системы основного и резервного питания на основе возобновляемых и традиционных источников энергии для электропитания маломощных потребителей в отдаленных от общей электросети регионах; в описании конструкции предложенной системы; в разработке блок-схемы алгоритма контроля и управления элементами системы для достижения наиболее эффективного энергопитания потребителей при дальнейшем внедрении и совершенствовании системы.

Методы исследования. Для проведения исследований использованы: метод аналитической обработки обзорных материалов по вопросу состояния развития альтернативной энергетики на современном этапе и существующих сегодня проблем, связанных с энергообеспечением маломощных отдаленных энергоустановок, а также путей решения обозначенных проблем за счет моделирования возможных систем бесперебойного питания; метод системного анализа комплексной оценки потенциала комбинированной мобильной системы основного и резервного питания на основе современных компьютерных технологий.

Полученные результаты. Выявлена и доказана целесообразность создания и дальнейшего совершенствования систем комбинированного электропитания маломощных потребителей с целью обеспечения энергобаланса Днепропетровского региона (Украина). Предложен вариант конструкции комбинированной системы на основе традиционных и возобновляемых источников: в частности, разработана блок-схема алгоритма контроллера управления комбинированной системой. Определен механизм действия представленного алгоритма, а также получены и проанализированы графические зависимости: коэффициента мощности от величины быстроходности ветроагрегата $C_p=f(Z)$; механического момента ветротурбины от коэффициента быстроходности $M=f(Z)$. Представлены прогнозируемые результаты расчета выработки электроэнергии в течение года потенциальной ветроэлектростанцией W , [кВт·ч].

Научная новизна заключается в предложенной блок-схеме алгоритма контроля и управления комбинированной системой резервного электроснабжения, которая позволяет двигателям ветроустановки и дизельного агрегата попеременно работать на один общий электрогенератор.

Практическая ценность работы состоит в создании системы гарантированного энергообеспечения и распределения электроэнергии для маломощных потребителей энергии различного назначения; повышении эффективности, гибкости и надежности системы и, в конечном счете, уменьшении энергетической зависимости страны от импорта традиционных ископаемых энергоресурсов, преобразование которых приводит к негативным последствиям для экологии страны. Внедрение предложенной блок-схемы алгоритма контроля и управления комбинированной системой резервного электроснабжения позволит снизить стоимость системы и затраты на ее обслуживание, например, текущий ремонт и тому подобное.

Ключевые слова: резервное электроснабжение; энергопотребление; возобновляемые источники энергии; комбинированная система; ветроэлектрогенератор; двигатель; дизельный агрегат; мощность; блок-схема; мобильность; эффективность; зависимость.

COMBINED MOBILE POWER SYSTEM FOR THE STANDBY POWER SUPPLY OF THE LOW AND AVERAGE ELECTRICAL FACILITIES

SHKRABETS F.P. Sci.D, Professor, the head of the renewable sources of energy department of National technical university "Dnipro Polytechnic", Dnipro, Ukraine, e-mail, ShcrabetsF@nmu.org.ua;

BERDNYK V.V. Postgraduate student, renewable sources of energy department of National technical university "Dnipro Polytechnic", Dnipro, Ukraine, e-mail, Berdnyk.V.V@nmu.one.

Purpose. The objective of research is to develop a version of combined mobile system of the main and backup power supply based on renewable and traditional energy sources for low-power consumers in regions distant from the main electricity grid; to describe the design of the proposed system; to develop a block diagram of the control and management algorithm for the system elements aimed at achieving more efficient energy supply to consumers in case of further implementation of the system,.

Methodology. To attain the research objective, the following methods have been employed: the method of analytical processing of the reviewed materials on current state of alternative energetics, on problems related to energy supply for low-power remote consumers, and on ways of solving the problems identified by means of simulating potential uninterruptible power systems; the method of system analysis of complex estimation based on modern computer technologies as for the combined mobile system of the main and backup power supply potential.

The results obtained. The expediency of development and further improvement of such combined power supply systems intended for low-power consumers with the purpose of providing the energy balance in the Dnipro region (Ukraine) has been revealed and proved. A version of the combined system based on traditional and renewable sources of power is proposed and described. The block diagram of the combined system controller algorithm is developed. The mechanism of action of the presented algorithm is determined, as well as the graphical dependences of the power factor on the speed of the wind turbine $C_P=f(Z)$, and of mechanical torque of the wind turbine on the coefficient of its speed $M=f(Z)$ are obtained and analyzed. The results of calculation as for electric power generated by potential wind power plant W , [kWh] during the year are presented.

Scientific novelty consists in the proposed block diagram of the control and management algorithm as regards the combined backup power supply system, that allows wind turbine engines and diesel units to alternately operate on a single generating unit.

The practical value of study is further development of the system which provides guaranteed uninterruptible energy supply and distribution of electric energy intended for low-power energy consumers to satisfy their needs; increasing the efficiency, flexibility and reliability of the system and, ultimately, reducing the energy dependence of the country on the import of traditional fossil energy resources, the conversion of which leads to negative consequences for the country's ecology. The implementation of the proposed block diagram of the control and management algorithm will reduce the cost of the system and the cost of its maintenance, for example, current repairs, etc.

Keywords: backup power supply; energy consumption; renewable energy sources; combined system; wind turbine generator; engine; diesel unit; power; block diagram; mobility; efficiency; dependence.

REFERENCES

- [1] Shcrabets, F. P., Krasovskyi, P.Yu., & Berdnyk, V.V. (2017). The Systems of Backup Power Supply Based on Renewable Energy Sources for Mobile Facilities. *Scientific Bulletin of National Mining University*,

- 2017, 2, 81-86.
- [2] Sandler, A.S., Sarbatov, R.S. (1966). Preobrazovateli chastoty dlya upravleniya asinkhronnymi dvigatelyami [Frequency Converters for the Control of Asynchronous Motors]. M. – L.: Energiya, 144. (in Russian)
- [3] Kannan, N. & Vakeesan, D. (2016). Solar Energy for Future World: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1092-1105.
- [4] Kaldellis, J.K. (2010). Overview of Stand-Alone and Hybrid Wind Energy Systems. *Woodhead Publishing Limited*, 2010, 1, 27.
- [5] Kaldellis, J.K. (2010). Feasibility Assessment for Stand-Alone and Hybrid Wind Energy Systems. *Woodhead Publishing Limited*, 102, 61.
- [6] Bhuvaneswari, G. & Balasubramanian, R. (2010). Hybrid Wind-Diesel Energy System. *Woodhead Publishing Limited*, 1, 191-215.
- [7] Philip, S. & Samuel, F. (2016). Off-grid solar photovoltaic systems for rural electrification and emissions mitigation in India. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 1, 147-156.
- [8] Philip, S. & Ned, E. (2017). What are the greatest opportunities for PV to contribute to rural development? *Energy Procedia*, 1, 139-146.
- [9] Salas, V. & Olias, E. (2006). Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2, 555-578.
- [10] Salas, V. & Suponthana, W. (2015). Overview of the off-grid photovoltaic diesel batteries systems with AC loads. *Applied Energy*, 2, 195-216.
- [11] Joydip, J. & Saha, H. (2017). A review of inverter topologies for single-phase grid-connected photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2, 1256-1270.
- [12] Sechilariu, M. & Wang, B. (2013). Building Integrated Photovoltaic System with Energy Storage and Smart Grid Communication. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2, 1607-1618.
- [13] Wang, B. & Locment, F. (2012). Intelligent DC microgrid with smart grid communications: Control strategy consideration and design. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2, 2148-2156.
- [14] Mohandes, M. & Halawani, T. (2004). Support vector machines for wind speed prediction. *Renewable Energy*, 2, 939 – 947.
- [15] Shefter, YA., Rozhdestvenskiy, I. (1957). Izobretatelyu o vetrodvigatelyakh i vetroustanovkakh [To the Inventor about Windmills and Wind Turbines]. M. Izdatel'stvo ministerstva sel'skogo khozyaystva, 145. (in Russian)
- [16] Nacfaire, H. (2005). Wind-Diesel and Wind Autonomous Energy Systems. *Elsevier applied science London and New York*, 2, 200-18.
- [17] Abramovich, B., Bel'skiy, A. (2012). Vybory parametrov vetrodizel'noy ustanovki dlya energobespecheniya mineral'no-syr'yevogo kompleksa [Selection of Parameters of a Wind-Diesel Plant for Energy Supply of a Mineral-Raw Complex]. *Zapiski Gornogo instituta*, 195, 227-230. (in Russian)
- [18] Grakhov, Yu., Matveyenko O., Solomin, Ye. (2010). Inzhenernyy metod i matematicheskoye modelirovaniye v proyektirovanii vetroenergeticheskikh ustanovok [Engineering Method and Mathematical Modeling in the Design of Wind Power Plants]. *Vestnik YUUrGU*, 9, 45-52. (in Russian)
- [19] Kharitonov, V.P. (2006). Avtonomnyye vetroelektricheskiye ustanovki [Autonomous Wind Power Plants]. M. *GNU VIESKH*, 280. (in Russian)
- [20] Yegorova, A.S. (1967). Spravochnik po klimatu SSSR [Handbook on the Climate of the USSR]. L. *Gidrometizdat*, 305. (in Russian)
- [21] Krivtsov, V.S., Yakovlev, O.I., Oleinikov, O.M. (2004). Nevicherpna yenergiya [Inexhaustible Energy]. Kniga 1: Vitroyelektrogeneratori [Book 1: Wind-driven generators]. *National Aerocosm. University "Kharkiv. aviat. institute", Kharkiv; Sevast. National. Tech. University, Sevastopol*, 396. (in Ukrainian)