

УДК 621.548, 621.311.24

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА АВТОНОМНОЇ ВІТРОУСТАНОВКИ З РЕГУЛЮВАННЯМ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ

Тимошук Д. В., н.с.,

Мельник Р. В., к.т.н., пров.н.с.,

Берлінець М. М., н.с., e-mail: berlinec_nick@ukr.net, тел.:+38-097-853-20-29

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації
сільського господарства»

Анотація

Мета. Підвищення ефективності перетворення енергії вітру в електричну при автономному використанні.

Методи. Експериментальне дослідження роботи електрогенератора з системою регулювання вихідної напруги. Математико-статистичні методи теорії планування експерименту. Обробку експериментальних даних проводили за допомогою статистичних методів.

Результати. Аналіз показує, що використання регулятора напруги дозволяє підвищити значення зарядного струму генератора з 5 А до 6,5 А, а максимальну миттєву потужність електрогенератора відповідно з 153 Вт до 175 Вт. Лінії однакового рівня дають можливість розробити

систему керування зміною коефіцієнта трансформації при змінній частоті обертання електрогенератора, зв'язаної зі зміною швидкості вітру, для отримання максимального значення зарядного струму та миттєвої потужності електрогенератора.

Висновки. Використання регулятора напруги дозволяє підвищити значення зарядного струму генератора з 5 А до 6,5 А, а максимальна миттєва потужність електрогенератора змінюється відповідно з 153 Вт до 175 Вт. за сезон на одну систему.

Ключові слова: вітроустановка, електрогенератор, акумуляторна батарея, зарядний струм, понижувальний трансформатор, коефіцієнт трансформації, швидкість вітру, миттєва потужність, вітроколесо.

UDC 621.548, 621.311.24

EXPERIMENTAL RESEARCH OF WIND TURBINE ELECTRIC GENERATOR WITH OUTPUT VOLTAGE REGULATION

Tymoshchuk D. V., research fellow,

Melnyk R. V., Ph.D. leading researcher,

Berlinec M. M., research fellow, e-mail: berlinec_nick@ukr.net; tel.:+380978532029, National Scientific Center «Institute of Agricultural Engineering and Electrification»

Annotation

Purpose. Improving the efficiency of converting wind energy into electricity using wind turbines off at the expense of performance equipment harmonization of wind turbines for different wind speeds.

Methods. Experimental research of electric system of regulating the output voltage. Mathematical and statistical methods of experiment planning theory. Processing performed experimental data using statistical methods.

Results. The analysis shows that the use of voltage regulator can increase the value of the generator charging current of 5 A to 6.5 A, and maximum instantaneous electric power respectively

from 153 watts to 175 watts. Lines of identical make it possible to develop a change management system transformation ratio at variable speed electric generator, coupled with a change in wind speed, for maximum charging current and the instantaneous electric generator power.

Conclusions. Using voltage regulator can increase the value of charging current generator from the 5 A to 6,5 A and the maximum instantaneous power electric generator varies according with 153 W to 175 W.

Key words: wind turbine, generator, battery, battery current, step-down transformer, transformation ratio, wind speed, instantaneous power, wind wheel.

УДК 621.548, 621.311.24

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА АВТОНОМНОЙ ВЕТРОУСТАНОВКИ С РЕГУЛИРОВКОЙ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Тимошук Д. В., н.с.,

Мельник Р. В., к.т.н., вед.н.с.,

Берлинец Н. Н., н.с., e-mail: berlinec_nick@ukr.net, тел.: + 38-097-853-20-29

Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации
сельского хозяйства»

Аннотация

Цель. Повышение эффективности преобразования энергии ветра в электрическую при автономном использовании.

Методы. Экспериментальное исследование работы электрогенератора с системой регулировки выходного напряжения. Математико-статистические методы теории планирования эксперимента. Обработку экспериментальных данных проводили с помощью статистических методов.

Результаты. Анализ показывает, что использование регулятора напряжения позволяет повысить значение зарядного тока генератора с 5 А до 6,5 А, а максимальное мгновенную мощность электрогенератора в соответствии с 153 Вт до 175 Вт. Линии одинакового уровня дают возможность разработать систему управления изменением

коэффициента трансформации при изменении частоты вращения электрогенератора, связанной с изменением скорости ветра, для получения максимального значения зарядного тока и мгновенной мощности электрогенератора.

Выводы. Использование регулятора напряжения позволяет повысить значение зарядного тока генератора с 5 А до 6,5 А, а максимальная мгновенная мощность электрогенератора изменяется в соответствии с 153 Вт до 175 Вт. за сезон на одну систему.

Ключевые слова: ветроустановка, электрогенератор, аккумуляторная батарея, зарядной ток, понижающий трансформатор, коэффициент трансформации, скорость ветра, мгновенная мощность, ветроколесо.

Незважаючи на бурхливий розвиток вітроенергетики виробіток електроенергії з вітру в розрахунок на одиницю вартості установки залишається дуже низьким. Загалом це стосується розповсюджених в Україні вітроелектричних установок [1, 2, 3, 4, 8, 9]. Низька енергетична ефективність діючих вітроустановок в значній мірі пояснюється великою кількістю ступенів перетворення вітрової енергії на шляху від вітроколеса до споживача. Також негативно впливає на ефективність використання енергії вітру неузгодженість характеристик потужності вітроколеса та навантаження, що не дозволяє максимально використовувати енергію вітру у всьому робочому діапазоні швидкостей вітру.

Тому для умов українського клімату необхідно розробити вітроустановку з покращеними характеристиками, яка дозволить більш ефективно використовувати енергію діапазону низької швидкості вітру і в повному обсязі використовувати енергію більших вітрів, та систему керування до неї. Це дозволить в раціонально використовувати

енергію вітрів в кожному діапазоні швидкості вітру [5, 6, 10, 11, 12, 13].

Мета досліджень. Підвищення ефективності перетворення енергії вітру в електричну при автономному використанні вітроустановок за рахунок узгодження робочих характеристик обладнання вітроенергетичних установок при різних швидкостях вітру.

Матеріали та методика досліджень. Для визначення основних робочих характеристик електрогенератора та системи регулювання вихідної напруги при різних режимах роботи електрогенератора для дослідження впливу факторів на функцію відклику та оптимізацію кількості дослідів застосували методику планування багатфакторного експерименту.

Експериментальне дослідження роботи електрогенератора з системою регулювання вихідної напруги проводили за наступним планом: вивчення об'єкту та формулювання мети досліджень; визначення критерію оптимізації; вибір факторів експерименту та інтервалів їх варіювання; розробка експериментальної установки та засобів вимірю-

вання; складання таблиці умов та плану експерименту; визначення коефіцієнтів рівняння регресії; оцінка адекватності рівняння регресії; побудова поверхні функції відгуку за результатами досліджень; знаходження зон оптимуму функції відгуку досліджуваного процесу на основі отриманих рівнянь регресії.

Згідно з попередніми дослідженнями визначено, що основним критерієм оптимізації при проведенні експериментальних досліджень є миттєва потужність електрогенератора, який працює на зарядку акумуляторної батареї [7].

Фактори, які впливають на даний процес є швидкість вітру (під час проведення стендових досліджень – частота обертання електрогенератора) та коефіцієнт трансформації понижувального трансформатора включеного в коло обмоток електрогенератора.

Для проведення експерименту вибрано методику проведення багатofакторного дворівневого експерименту, згідно з якою визначено рівні варіювання факторів та розроблено матрицю планування експерименту.

Відповідно до приведеної мети програмою досліджень передбачалося наступне:

– перед початком досліджень зафіксувати метеорологічні умови на момент дослідження та визначити попередній стан

акумуляторів (ступінь заряду, густина електроліту);

– безпосередньо під час досліджень визначали напругу холостого ходу при різній частоті обертання, струм фази генератора та зарядний струм акумуляторної батареї при підключенні генератора до акумулятора через двонапівперіодний випрямляч та різній частоті обертання ротора генератора, фазну напругу та напругу на клеммах акумуляторної батареї при підключенні генератора до акумулятора через двонапівперіодний випрямляч та різній частоті обертання ротора генератора, струм фази генератора та зарядний струм акумуляторної батареї при підключенні генератора до акумулятора через трансформатор зі змінним коефіцієнтом трансформації та двонапівперіодний випрямляч при різній частоті обертання ротора генератора, фазну напругу та напругу на клеммах акумуляторної батареї при підключенні генератора до акумулятора через трансформатор зі змінним коефіцієнтом трансформації та двонапівперіодний випрямляч при різній частоті обертання ротора генератора.

Результати досліджень. Дослідження миттєвої потужності генератора в залежності від частоти обертання та коефіцієнту трансформації при роботі на зарядку акумуляторної батареї здійснюється згідно схеми представленої на рисунку 1.

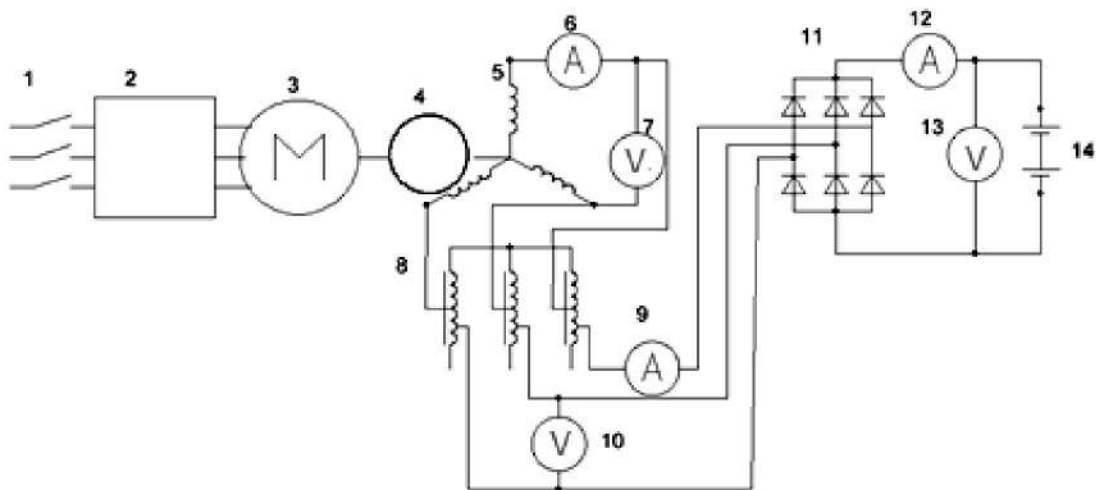


Рис. 1. Схема установки для проведення експериментальних досліджень роботи електрогенератора на зарядку акумуляторних батарей з регулятором вихідної напруги

Fig. 1. Scheme of installation for experimental studies of electric generator to charge the battery with output voltage regulator

Дослідження здійснюється при регулюванні зміни частоти обертання приводного електродвигуна 3, за рахунок використання перетворювання частоти 2 під'єданого до електромережі 1, в діапазоні 10-200 об/хв, що відповідає зміні частоти обертання вітроколеса в діапазоні 2-20 м/с. Крутний момент приводного двигуна передається на електрогенератор 5 через підвищувальний редуктор з передаточним відношенням 31,5. Електрогенератор під'єднаний через понижуючий трансформатор 8 зі змінним коефіцієнтом трансформації та випрямляч 11 до акумуляторної батареї 14. Для визначення значення частоти обертання електрогенератора використовується тахометр 4. Значення коефіцієнту трансформації понижувального трансформатора визначають використовуючи вольтметри 7, 10 та амперметри 6, 9, які під'єднані відповідно до виходів з електрогенератора та понижувального трансформатора. Значення миттєвої потужності електрогенератора, при роботі на зарядку акумуляторної батареї визначають використовуючи амперметр 12 та вольтметр 13 які поєднанні

до акумуляторної батареї. Значення миттєвої потужності електрогенератора визначається згідно з рівнянням №1:

$$P = UI, \quad (1)$$

де: I – значення струму по амперметрі 12; U – значення напруги по вольтметрі 13.

Математичну емпіричну модель впливу незалежних факторів на критерії оптимізації було представлено у вигляді поліному [14, 15, 16].

Коефіцієнти рівнянь регресії, аналіз рівнянь на значимість, адекватність, відтворюваність та однорідність, побудову поверхонь відгуку та іншу графічну інтерпретацію результатів, їх оптимізацію визначали за стандартними методиками за допомогою програмного середовища MatLab R2014. Адекватність теоретичних залежностей перевіряли, використовуючи критерій Фішера [17, 18, 19, 20].

Після аналізу на адекватність та значимість коефіцієнтів рівняння регресії отримано наступне рівняння регресії для визначення миттєвої потужності:

$$P(x, y) = 85.14 - 30.9x + 68.93y - 2.4590x^2 + 5.166xy - 3.917y^2 + 0.937x^3 - 7.847x^2y + 12.78xy^2 - 4.168y^3, \quad (2)$$

де: x – коефіцієнт трансформації понижувального трансформатора; y – частота обертання електрогенератора.

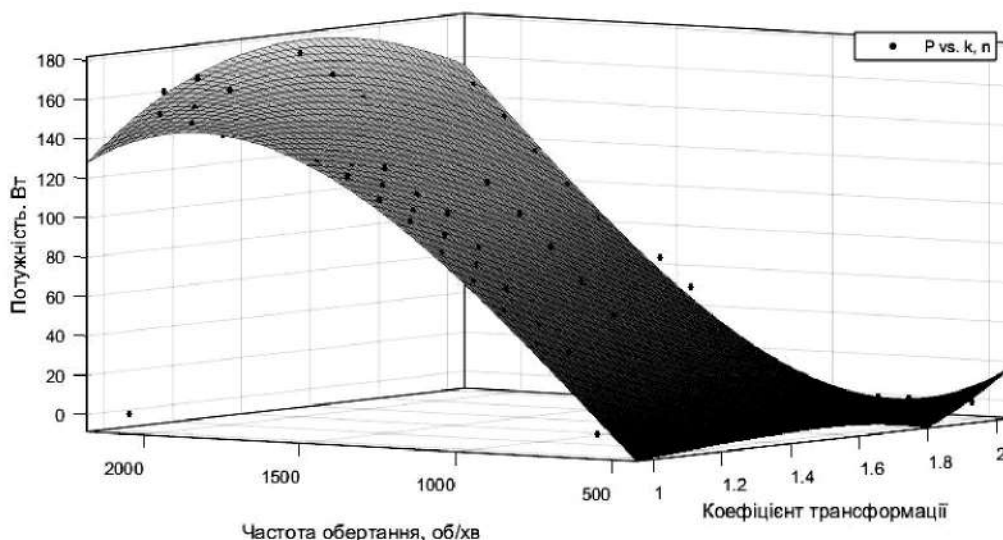


Рис. 2. Залежність миттєвої потужності від частоти обертання електрогенератора та коефіцієнта трансформації понижувального трансформатора

Fig. 2. Dependence instantaneous power of the speed of an electric generator and transformation ratio of lowering transformers

Результати дослідження представлено у вигляді графічних залежності миттєвої потужності від частоти обертання електрогенератора та коефіцієнта трансформації понижувального трансформатора (рисунк 2, рисунок 3).

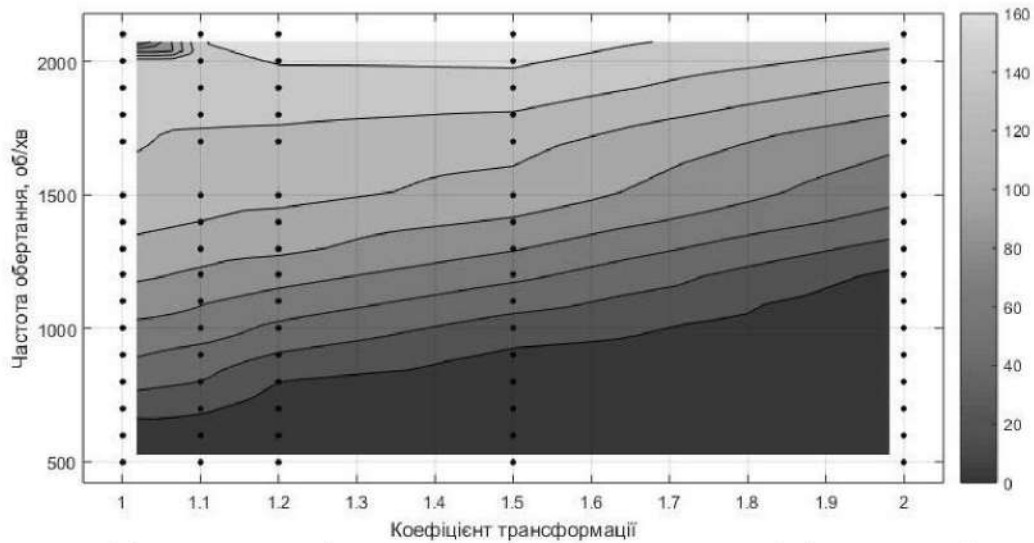


Рис. 3. Лінії однакоого рівня залежності миттєвої потужності від частоти обертання електрогенератора та коефіцієнту трансформації

Fig. 3. Lines the same level of instantaneous power depending on the speed of electric and transformation ratio

Висновки

Аналіз графіків показує, що використання регулятора напруги дозволяє підвищити значення зарядного струму генератора з 5 А до 6,5 А, а максимальну миттєву потужність електрогенератора відповідно з 153 Вт до 175 Вт.

Застосування понижувального трансформатора без зміни коефіцієнта трансформації в залежності від частоти обертання електрогенератора зменшує значення миттєвої потужності при низьких частотах

обертання і збільшує значення стартової частоти обертання з 500 об/хв при коефіцієнті трансформації рівному 1 до 800 об/хв при коефіцієнті трансформації 1,5 та до 1100 об/хв при коефіцієнті трансформації 2.

Лінії однакоого рівня дають можливість розробити систему керування зміною коефіцієнта трансформації при змінні частоти обертання електрогенератора, зв'язаної зі зміною швидкості вітру, для отримання максимального значення зарядного струму та миттєвої потужності електрогенератора.

Бібліографія

1. Мельник Р., Жоров В., Тарнавський С., Тимошук Д., Берлінець М. Розвиток вітроенергетичних установок та можливості їх застосування в сільському господарстві. Техніка і технології АПК, (8), – с. 17-19.
2. Нараєвський С. В. Порівняльна характеристика ефективності роботи вітрової енергетики у провідних країнах світу та Україні //У НОМЕРІ. – 2014.
3. Кривцов В. С. Невичерпна енергія: підр. в 2 кн. Вітроенергетика // Х.: Нац. аерокосм. Ун-т «Харк. авіац. ін-т», Севастополь: Севаст. нац. техн. ун. – Т. 2005.
4. Величко С. А. Енергетика навколишнього середовища України (з електронними картами) //Науковий редактор проф. І. Г. Черваньов –Х.: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна.–2003.–52 с.

5. Жоров В. І., Мельник Р. В., Тимошук Д. В. Регулювання навантаження вітрогенератора експериментальної вітроелектричної установки //Механізація і електрифікація сільського господарства. – 2013. – №. 97 (2). – С. 263-272.

6. Жарков В. Я., Жоров В. І., Жоров С. В., Тимошук Д. В. Аналіз роботи вітроелектричного зарядного агрегату. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету, 1(2), – С. 152-158.

7. Тимошук Д. В., Мельник Р. В., Берлінець Н. Н. Исследование работы электрогенератора ветроэлектрической установки на зарядку аккумуляторных батарей // Энергообеспечение и энерго-снабжение в сельском хозяйстве. Труды 9-й Международной научно-технической конференции (21 – 22 мая 2014 года, г. Москва, ГНУ ВИЭСХ). В 5-ти частях. – 2014. – Т. 4. – С. 202-205.

8. Альтернативна енергетика: [навч. посібник для студ. вищ. навч. закл.] / М. Д. Мельничук, В. О. Дубровін, В. Г. Мироненко, І. П. Григорюк, В. М. Поліщук, Г. А. Голуб, В. С. Таргоня, С. В. Драгнєв, І. В. Свистунова, С. М. Кухарець. – К.: «Аграр медіа груп», 2012. – 244 с.

9. В. В. Адамчук, В. Ф. Петриченко, В. Г. Мироненко, Ю. В. Герасимчук. Наукове забезпечення ефективного застосування електричної енергії в технологічних процесах промислового виробництва / В. В. Адамчук, В. Ф. Петриченко, В. Г. Мироненко, Ю. В. Герасимчук // Механізація та електрифікація сільського господарства : міжвід. темат. наук. зб. – Глеваха, 2014. - Вип. 99. – Т. 1. – С. 14 – 33.

10. Кудря С. О., Головка В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії – К., 2009. – 132 с.

11. Мхітарян Н. М. Енергетика нетрадиційних і відновлюваних джерел. – К.: Наук. думка, 1999. - 314 с.

12. Харитонов В. П. Автономні вітроелектричні агрегати М.: Всеросійський науководослідний інститут електрифікації сільського господарства, 2006. - 280 с.

13. Невічерпна енергетика. Книга 1. Вітроелектрогенератори. В. С. Кривцов, А. М. Олейников, А. І. Яковлев, - Підручник. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т "Харк. авіація. ін-т", Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т., 2003. – 400 с.

14. Реклейтіс Г., Рейвіндран А., Регсдел К. Оптимізація в техніці: в 2-х томах. Кн. 2. / Перекл. з англ. - М.: Світ, 1986, - 320 с.

15. Ферстер Е., Ренц Б. Методи кореляційного і регресійного аналізу: Керівництво для економістів / Перекл. з нім. – М.: Фінанси і статистика, 1983. - 302 с.

16. Босій М. А., Борисенко В. О., Жевняк Д. А. Обґрунтування нормативів шляхом моделювання за рівняннями регресії // Науково-практичний збірник «Продуктивність агропромислового виробництва», НДІ «Укראгропромпродуктивність», 2007, № 6.

17. Корн Г., Корн Т. Довідник з математики для науковців та інженерів / Перекл. з англ. – М.: Наука, 1984. - 875 с.

18. Четиркін Є.М. Статистичні методи прогнозування / М.: Статистика, 1977. – 200 с.

19. Драйпер Н., Сміт Г. Прикладний регресійний аналіз / Перекл. з англ. – М.: Статистика, 1973, - 550 с.

20. Черних І. В. Моделювання електротехнічних пристроїв в MATLAB, SimPowerSystems і Simulink. Перше видання, 2007. – 288 с.

Reference

1. Melnyk R., Zhorov V., Tarnavskyy S., Tymoshchuk D., Berlinets M. Rozvytok vitroenerhetychnykh ustanovok ta mozhlyvosti yikh

zastosuvannya v silskomu hospodarstvi. Tekhnika i tekhnolohiyi APK, (8), – S. 17-19.

2. Narayevskyy S. V. Porivnyalna kharakterystyka efektyvnosti roboty vitrovoyi enerhetyky u providnykh krayinakh svitu ta Ukraini //U NOMERI. – 2014.

3. Kryvtsov V. S. Nevycherpna enerhiya: pidr. v 2 kn. Vitroenerhetyka //Kh.: Nats. aerokosm. Un-t «Khark. aviats. in-t», Sevastopol: Sevast. nats. tekhn. un. – Т. 2005.

4. Velychko S. A. Enerhetyka navkolyshnoho seredovyshcha Ukrainy (z elektronnyimi kartamy) //Naukovyy redaktor prof. IH Chervanov–Kh.: Kharkivskyy natsionalnyy universytet imeni V.N. Karazina.–2003.–52 s.

5. Zhorov V. I., Melnyk R. V., Tymoshchuk D. V. Rehulyuvannya navantazheniya vitrodyhuna eksperymentalnoyi vitroelektrychnoyi ustanovky //Mekhanizatsiya i elektryfikatsiya silskoho hospodarstva. – 2013. – №. 97 (2). – S. 263-272.

6. Zharkov V. Ya., Zhorov V. I., Zhorov S. V., Tymoshchuk D. V. Analiz roboty vitroelektrychnoho zaryadnoho ahrehatu. Naukovyy visnyk Tavriyskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu, 1(2), – S. 152-158.

7. Tymoshchuk D. V., Melnyk R. V., Berlynets N. N. Issledovanye raboty elektroheneratora vitroelektrycheskoy ustanovky na zaryadku akkumulyatornykh batarey // Enerhoobespechenye y enerhosnabzhenye v selskom khozyaystve. Trudy 9-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsyy (21 – 22 Maya 2014 , h. Moskva, HNU VYESKh). V 5-ty chastyakh. – 2014. – Т. 4. – S. 202-205.

8. Alternatyvna enerhetyka:[навч. Посібник дlya студ. vshch. navch. zakl.] М. Д. Мельничук, В. О. Дубровін, В. Г. Мироненко, І. П. Григорюк, В. М. Поліщук, Г. А. Голуб, В. С. Таргоня, С. В. Драгнєв, І. В. Свистунова, С. М. Кухарець. – К.: «Аграр медіа груп», 2012. – 244 с.

9. В. В. Адамчук, В. Ф. Петриченко, В. Г. Мироненко, Ю. В. Герасимчук. Наукове забезпечення ефективного застосування електричної енергії в технологічних процесах промислового виробництва / В. В. Адамчук, В. Ф. Петриченко, В. Г. Мироненко, Ю. В. Герасимчук // Механізація та електрифікація сільського господарства : міжвід. темат. наук. зб. – Глеваха, 2014. – Вип. 99. – Т. 1. – С. 14 – 33.

10. Кудря С. О., Головка В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії – К., 2009. – 132 с.

11. Мхітарян Н. М. Енергетика нетрадиційних і відновлюваних джерел. – К.: Наук. думка, 1999. - 314 с.

12. Kharytonov V. P. Avtonomni vitroelektrychni ahrehaty. М.: Vserosiyyskyy naukovodoslidnyy instytut elektryfikatsiyi silskoho hospodarstva, 2006. – 280 с.

13. Nevycherpna enerhetyka. Knyha 1. Vitroelektroheneratory. V. S Kryvtsov, A. M. Oleynykov, A. I. Yakovlyev, - Pidruchnyk-Kharkiv: Nats. aerokosm. un-t "Khark. aviatsiya. in-t", Sevastopol': Sevast. nats. tekhn.un-t., 2003.- 400 s.

14. Rekleytis H., Reyvindran A., Rehsdel K. Optymizatsiya v tekhnitsi: v 2-kh tomakh. Kn. 2. / Perekl. z anhl. - M.: Svit, 1986, - 320 s.

15. Ferster E. Rents B. Metody korelyatsiynoho i rehresiyynoho analizu: Kerivnytstvo dlya ekonomistiv / Perekl. z nim. - M.: Finansy i statystyka, 1983. - 302 s.

16. Bosyy M. A., Borysenko V. O., Zhevnyak D. A. Obruntovannya normatyviv shlyakhom modelyuvannya za rivnyannyamy rehresiyi//Naukovo-praktychnyy zbirnyk «Produktyvnist' ahropromyslovoho vyrobnytstva», NDI «Ukrahropromproduktyvnist'», 2007, № 6.

17. Korn H., Korn T. Dovidnyk z matematyky dlya naukovtsiv ta inzheneriv / Perekl. z anhl. - M.: Nauka, 1984. - 875 s.

18. Chetyrkin Ye.M. Statystychni metody prohnozuvannya / M.: Statystyka, 1977. - 200 s.

19. Drayper N., Smit H. Prykladnyy rehresiyyny analiz / Perekl. z anhl. - M.: Statystyka, 1973. - 550 s.

20. Chernykh I. V. Modelyuvannya elektrotekhnichnykh prystroyiv v MATLAB, SimPowerSystems i Simulink. Pershe vydannya, 2007, - 288 s.

Reference

1. Melnyk R., Zhorov V., Tamavskyy S., Tymoshchuk D., Berlinets N. The development of wind turbines and their possible application in agriculture. Technique and technology of agriculture, (8), - pp. 17-19.

2. Narayevskyy S.V. Comparative characteristics of the efficiency of wind energy in the leading countries of the world and Ukraine // 2014.

3. Krivtsov V. S. Inexhaustible energy: 2 book. Wind // H.: Nat. aerokosm. University of "Kharkiv. aviation. Inst "Sevastopol Sebaste. nat. Sc. Univ. - T. 2005.

4. Velichko S. A. Energy Environment Ukraine (electronic cards) // Scientific editor Professor. I. H.: Chervanov Kharkiv National University V. N. Karazina. 2003. - 52 p. - 2003.

5. Zhorov V. I., Melnyk R. V., Tymoshchuk D. V. Load regulation experimental wind turbine wind power installations // Mechanization and electrification of agriculture. - 2013. - №. 97 (2). - pp. 263-272.

6. Zharkov V. Y., Zhorov V. I., Zhorov S. V., Tymoshchuk D. V. Analysis of wind charger unit. Scientific Journal Tauride Agrotechnological State University, 1 (2), -pp.152-158.

7. Tymoshchuk D. V., Melnik R. V., Berlynets N. N. Investigation work generator of wind turbine on charging of storage batteries // energy and energy

supply in the agricultural sector. Proceedings 9 th international scientific-technical conference (21 - 22 May 2014 Manuscript, Moscow, GNU VYESH). In 5 parts. - 2014. - T. 4. - pp. 202-205.

8. Alternative Energy [teach. Guide for students. HI. teach. bookmark.] / M. D. Melnychuk, V. Dubrovyn, V. Mironenko, I. P. Hryhoryuk, V. Polishchuk, G. A. Golub, V. S. Targon, S. V. Dragnev, I. V. Svis-tunov, S. M. Kuharets. - K.: "Agrar media groups", 2012. - 244 p.

9. V. V. Adamchuk, V. F. Petrychenko, V. G. Mironenko, Yu. V. Gerasymchuk. Scientific support efficient use of electricity in manufacturing processes for industrial production / V. V Adamchuk, V. F. Petrychenko, V. G. Mironenko, Yu. V. Gerasymchuk // Mechanization and electrification of agriculture: mizhvid. temat. Science. Coll. - Hlevakha, 2014. - Vol. 99 - T. 1 - pp. 14 - 33.

10. Kudrya S. A., Golovko V. M Basics of designing power plants with renewable energy sources - K., 2009. - 132 p.

11. Mkhitaryan N. M. Power of alternative and renewable sources. - K.: Science. opinion, 1999. - 314 p.

12. Kharitonov V. P. Autonomous wind power units M.: All-Russian Research Institute for Electrification of Agriculture, 2006. - 280 p.

13. Inexhaustible energy. Book 1. Wind power. V. Krivtsov, A. Oleynikov, A. Yakovlev - Tutorial, Kharkov: Nat. aerokosm. University of "Kharkiv. aviation. Inst" Sevastopol Sebaste. nat. tehn.un-t., 2003.- 400 p.

14. Rekleytis G., Reyvindran A., K. Rehsdel. Optimization technique, in 2 vols. Book. 2. / Trans. from English. - M.: World, 1986. - 320 p.

15. Förster E. Renz B. Methods of correlation and regression analysis: A Guide for economists / Trans. with him. - M.: Finances and Statistics, 1983. - 302 p.

16. Barefoot N. A., Borisenko V. A., Zhevnyak D. A.. Justification standards by modeling regression equations // Scientific collection "The performance of the agricultural production," SRI "Ukrahropromproduktyvnist", 2007, number 6.

17. Korn G., Korn T. Handbook of mathematics for engineers and scientists / Trans. from English. M.: Nauka, 1984. - 875 p.

18. E. M. Chetyrkin Statistical forecasting methods / M. Statistics, 1977. - 200 p.

19. Drayper N. Smith H. Applied regression analysis / Trans. from English. - M.: Statistics, 1973. - 550 p.

20. Black I. V.. Simulation of electrical devices in MATLAB, SimPowerSystems and Simulink. First Edition, 2007 - 288 p.