

FUZZY-LOGIC КОНТРОЛЛЕР УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Сергей Сиротюк, Валерий Сиротюк, Владимир Гальчак

Львовский национальный аграрный университет

Ул. В. Великого, 1, Дубляны, Украина. E-mail: ssyr@ukr.net

Serhiy Syrotyuk, Valery Syrotyuk, Vladimir Halchak

Lviv National Agrarian University

Str. Vladimir the Great, 1, Dublyany, Ukraine. E-mail: ssyr@ukr.net

Аннотация. На основе выполненного литературного анализа осуществлено обоснование усовершенствованной интеллектуальной системы управления режимами работы ветроэлектрической установки.

Установлено функциональную связь между параметрами электрогенератора и ветрового ротора с учетом его быстроходности и конструктивным исполнением. Определено оптимальное значение передаточного числа мультипликатора исходя из частоты тока и полюсности ротора электрогенератора и быстроходности ветрового ротора. Предложено определять частоту вращения ветрового ротора посредством анализа частоты тока электрогенератора, с учетом полюсности ротора и передаточного отношения мультипликатора.

Обоснованы требования пользователя и функциональную спецификацию с распределением функций между аппаратной и программной частями системы управления ветроэлектрической установки, осуществлен подбор аппаратных средств и программного обеспечения.

Приведена структура автоматизированной системы управления режимами работы ветроэлектрической установки сельскохозяйственного назначения. Применение разработанной системы управления обеспечивает работу ветроэлектрической установки в режиме оптимального значения коэффициента использования энергии ветра, стабилизацию выходной мощности при превышении номинального значения скорости ветра выводом ветрового ротора из-под ветра и защиту ветроустановки от разрушения при превышении максимальной рабочей скорости ветра и ее торможения в аварийных режимах.

Осуществлена разработка усовершенствованного алгоритма управления ветроэлектрической установкой.

Разработаны программно-аппаратные средства для управления режимами работы ВЭУ с применением программного комплекса LabVIEW со встроенными инструментами "Fuzzy System Designer" и внешнего блока ввода-вывода информации, типа NI USB 6212, присоединяемого к ПК посредством USB-порта.

Ключевые слова: контроллер, нечеткая логика, ветроэлектрическая установка; система управления, программно-аппаратные средства.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Эффективная работа ветроэлектрической установки (ВЭУ) может быть достигнута при условии четкого согласования параметров ветрового потока, электромеханической части ветроэлектрической установки и нагрузки. При этом система управления ВЭУ должна обеспечивать режим работы, соответствующий максимальному значению коэффициента использования энергии ветра с соответствующей ориентацией ветрового ротора в зависимости от скорости изменяющегося ветрового потока и случайного характера нагрузки.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Разработке средств управления ВЭУ уделяется значительное внимание. В частности, создаются автоматизированные системы управления, построенные на базе микропроцессорных средств обработки информации и генерирования сигналов управления [1, 2]. Также известны системы, основанные на использовании аппаратно-программных средств MathLab, MathCAD, LabVIEW и других [3-6]. Учитывая стохастический характер поступления энергии ветра и потребления производимой ВЭУ электроэнергии, в последние годы активизировались разработки систем управления с применением теории нечетких множеств [7-11].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Системы управления ВЭУ, построенные на указанных теоретических и аппаратных принципах, в основном используются на мощных ВЭУ вследствие их значительной сложности и стоимости. Большинство автономных ВЭУ бытового и сельскохозяйственного назначения, ориентированы на использование простых технических средств управления режимами работы и защиты [12-14], однако, они не обеспечивают работу с оптимальным значением коэффициента использования энергии ветра.

Нами предлагается усовершенствованная интеллектуальная система управления режимами ра-

боты ВЭУ и ее защиты в аварийных режимах, построенная на базе алгебры нечетких множеств с усовершенствованным алгоритмом.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Основным фактором, который предопределяет эффективность работы ВЭУ является коэффициент использования энергии ветра, который зависит как от скорости ветра, конструктивных параметров ветрового ротора, так и нагрузки в функции быстроходности ротора Z_{omm} .

Оптимальное значение модульности данного типа и конструкции ветрового ротора определяют по типовым зависимостям коэффициента использования энергии ветра от модульности ветрового ротора (рис. 1) [12-15].

Исходными данными для осуществления согласования параметров электромеханической системы ВЭУ являются:

- номинальная скорость ветра – v , м/с,
- радиус ветрового ротора – r_{ep} , м,
- частота вращения вала электрогенератора – $n_{ген}$, об / мин.,
- номинальная частота тока электрогенератора – f , Гц.

Для оценки быстроходности ветрового ротора необходима информация о его угловой скорости и скорости ветра, которые связаны зависимостью:

$$Z = \frac{\omega \cdot r_{ep}}{v}, \quad (1)$$

где: ω – угловая скорость ветрового ротора, рад/с.

Поскольку измерения угловой скорости ротора требует использования сложных и дорогостоящих приборов предлагается ее определять по частоте тока электрогенератора с учетом его параметров и параметров мультипликатора.

Учитывая частоту тока и частоту вращения вала электрогенератора, определяем количество пар полюсов ротора m по формуле:

$$m = \frac{60 \cdot f}{n_{ген}}. \quad (2)$$

Тогда, текущие значения быстроходности определится по формуле

$$Z_i = \frac{2\pi \cdot f \cdot r_{ep}}{v \cdot i \cdot m}, \quad (3)$$

где: i – передаточное число мультипликатора ветроустановки, значение которого для конкретного конструктивного исполнения и номинальных значений параметров f_n , Z_{omm} , v_n определяется по формуле:

$$i = \frac{2\pi \cdot f_n \cdot r_{ep}}{Z_{omm} \cdot v_n \cdot m}. \quad (4)$$

Разрабатываемая система управления ВЭУ должна обеспечить следующие управляющие воздействия:

- поворот кабины для наведения на ветер;
- оптимальная нагрузка генератора аккумулятором, электронагревателями и внешней электросети;
- вывод ротора из-под ветра при превышении номинального значения скорости ветра;
- торможение ветрового ротора при превышении максимального значения скорости ветра и в аварийных режимах.

К разрабатываемой системе управления ВЭУ выдвигаются следующие требования пользователя:

- ориентация оси ветрового ротора на ветер при скорости, не превышающей номинального значения;
- ограничение мощности ветроустановки при превышении номинальной скорости ветра выводом ротора из-под ветра;
- удержание ветроустановки на максимуме коэффициента использования энергии ветра во всем диапазоне скоростей ветра;
- управление системой торможения ветрового ротора и его защиты при аварийных ситуациях.

Для реализации указанных требований необходимо обеспечить выполнение следующих функций:

- 1) измерение направления ветра с анализом величины угла отклонения,
- 2) управление электроприводом системы наведения ротора на ветер,
- 3) изменение логики управления (поиск ветра или вывода из-под ветра),
- 4) изменение нагрузки электрогенератора для обеспечения угловой скорости ротора электрогенератора, соответствующей максимуму коэффициента использования энергии ветра (управление зарядом аккумуляторной батареи, электронагревателями, работой на внешнюю электросеть),
- 5) управление электроприводом тормозной системы ветроустановки.

Следующим этапом разработки системы управления режимами работы ВЭУ является распределение функций между аппаратной и программной частями, которые представлены в табл. 1.

Реализация функций требует подбора соответствующих аппаратных средств:

- измерения направления ветрового потока - анемометр с крыльчатим первичным преобразователем с перпендикулярным расположением направлениям оси анемометра относительно оси ветрового ротора либо флюгерным первичным преобразователем,
- измерение скорости ветра – анемометр с чашечным первичным преобразователем,
- наведение ротора ветроустановки на ветер и вывод из-под ветра – поворотный механизм с реверсивным электроприводом на базе двигателя постоянного тока,
- управление электроприводом поворотного механизма – автоматизированная система управления на базе виртуальных приборов фирмы "National Instruments" с выносным блоком ввода-вывода, например, NI USB 6212 и ПК,
- изменение нагрузки электрогенератора – блок силовых ключей на базе IGBT транзисторов с возможностью присоединения к регулятору заряда аккумуляторной батареи; ТЭНы бака-аккумулятора системы горячего водоснабжения; сетевой инвертор или другие потребители электроэнергии, не требующие четкой регламентации их работы во времени,
- торможение ветрового ротора – дисковое тормозное устройство с автономным электроприводом с возможностью дистанционного ручного и автоматического управления.

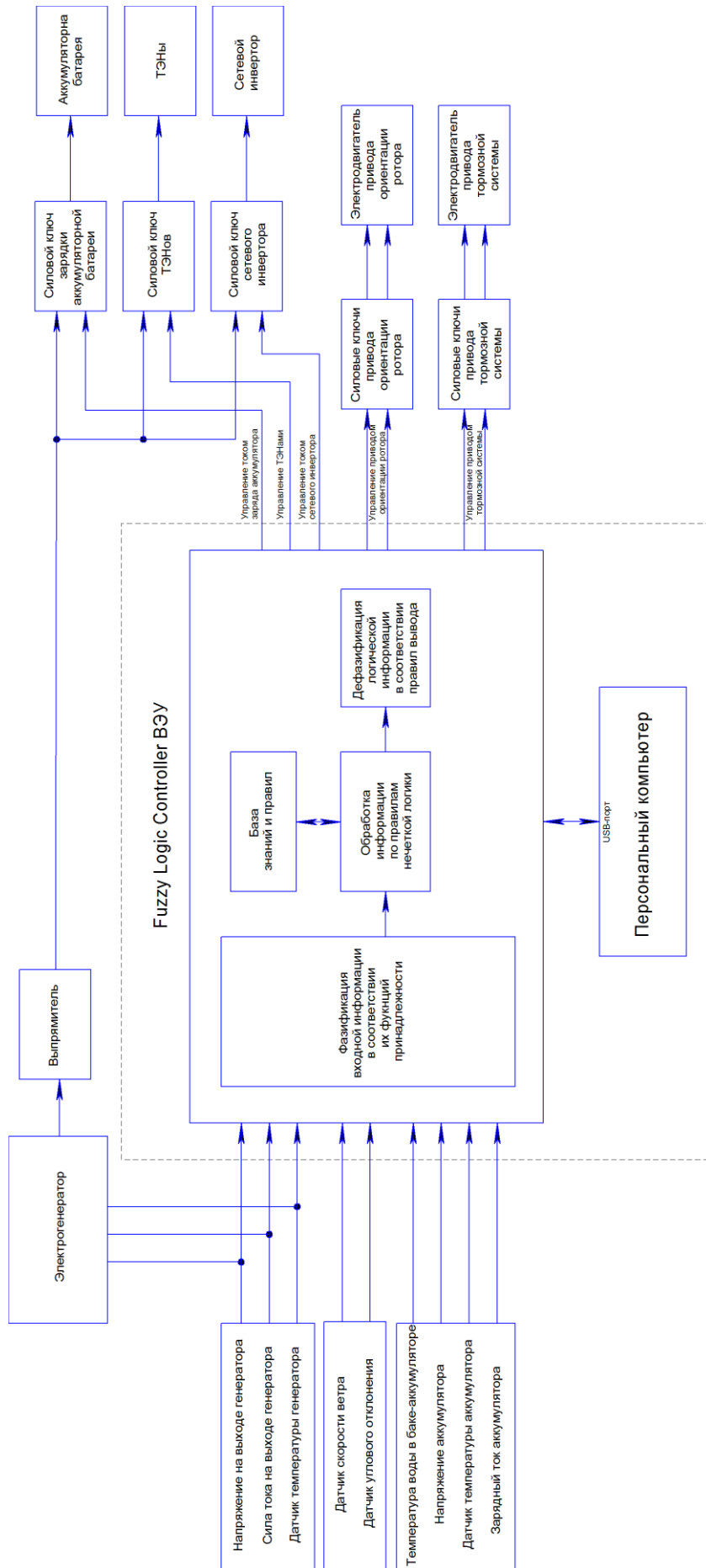


Рис. 1. Структурная схема системы управления ВЭУ
Fig. 1. Block diagram of the control system of wind power installation

Таблица 1. Распределение функций между аппаратной и программной частями системы управления режимами работы ВЭУ

Table 1. Distribution of functions between hardware and software of the system of management mode of operation wind power installation

Номер функции	Способ реализации	
	аппаратный	программный
1	Измерение величины и направления отклонения оси ветрового ротора тахометрическим датчиком	Анализ величины и направления угла отклонения оси ветрового ротора
2	Электропривод и система управления электроприводом	Формирования сигналов управления поворотной системой
3	Измерение скорости ветра анемометром	Анализ скорости и формирования сигналов управления наведения на ветер, или выводом из-под ветра
4	Присоединение нагрузки электрогенератора электронными ключами	Анализ скорости ветра и частоты вращения ветрового ротора, расчет быстроходности, анализ коэффициента использования энергии ветра, формирования сигналов управления нагрузкой
5	Вывод ветроустановки из-под ветра. Включение и выключение тормозной системы в ручном и автоматическом режимах	Анализ скорости ветра, формирования сигналов вывода из-под ветра и торможения ротора ветроустановки

Реализация всех программных функций системы управления ветроустановкой обеспечивается использованием программного продукта "LabVIEW" фирмы "National Instruments" с разработанным программным кодом и использованием встроенных инструментов "Fuzzy System Designer".

Для обеспечения восприятия ветрового потока ветроэлектрической установкой во всем диапазоне скоростей и направлений в режиме максимального коэффициента использования энергии ветра, а также для ее защиты в аварийных ситуациях разработана структурная схема системы управления (рис. 1).

В состав структурной схемы системы управления входят: электрогенератор; выпрямитель; первичные преобразователи информации; Fuzzy Logic контроллер; формирователи сигналов управления, а также исполнительные устройства.

Fuzzy Logic контроллер реализован на базе блока сбора и обработки данных и формирования сигналов управления с использованием аппаратно-программных средств фирмы "NI" с выносным блоком ввода-вывода и программным обеспечением "LabVIEW" с инструментами нечеткой логики.

К устройствам управления ВЭУ относятся: электропривод наведения ветровой турбины на ветер и вывода из-под ветра; электропривод тормозной системы; дисковая тормозная система.

К устройствам нагрузки электрогенератора ВЭУ относятся блок электрических аккумуляторных батарей; блок ТЭНов бака-аккумулятора системы горячего водоснабжения; сетевой инвертор.

Управление режимами работы ВЭУ осуществляется на основании обработки данных входных потоков информации в виде аналоговых электрических сигналов, поступающих с первичных преобразовате-

лей и других источников, которые подаются на соответствующие входы блока ввода-вывода, который, подсоединен к USB-порту ПК.

Обработка исходной информации осуществляется с использованием алгебры четких и нечетких множеств, с применением встроенных инструментов "Fuzzy System Designer" [16-20]. В структурную схему блока обработки входящей информации входят блоки: фазификации четких электрических сигналов с использованием блока функций принадлежности; блок логической обработки информации по правилам нечеткой логики, с использованием базы знаний и правил; блок дефазификации нечеткой логической информации по правилам вывода в соответствии с его функциями принадлежности.

Согласование выходных сигналов ПК с устройствами использования электрической энергии осуществляется с применением блока согласования выходных сигналов с входными параметрами силовых ключей, выходные параметры которых согласованы с параметрами исполнительных устройств.

Общий алгоритм работы ВЭУ в режиме поиска оптимальной нагрузки, который обеспечивает максимальное значение коэффициента использования энергии ветра, был предложен ранее [21]. Однако, в нем не отражено управление ВЭУ в режиме превышения номинальной скорости ветра, а также ее защиту в аварийных режимах. Кроме того, не отражены исполнительные устройства, обеспечивающие изменение режимов работы ВЭУ, в зависимости от изменения скорости ветра.

Усовершенствованный укрупненный алгоритм управления работой ВЭУ представлен на рис. 2.

Фронтальная панель и фрагмент кода системы управления режимами работы ВЭУ представлены на рис. 3 и 4.

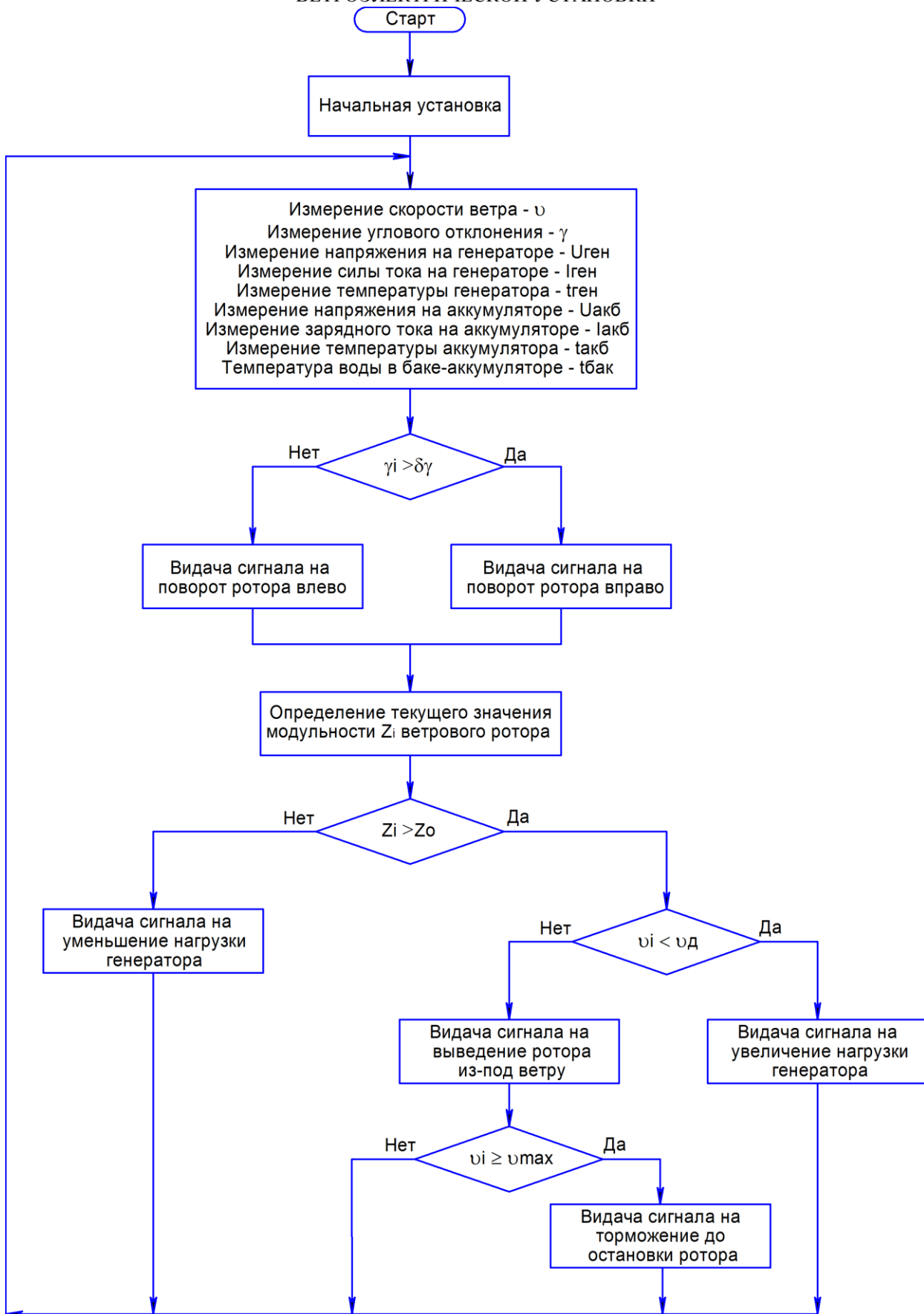


Рис. 2. Алгоритм управления режимами работы ВЭУ

Fig. 2. Algorithm of management mode of operation wind power installation

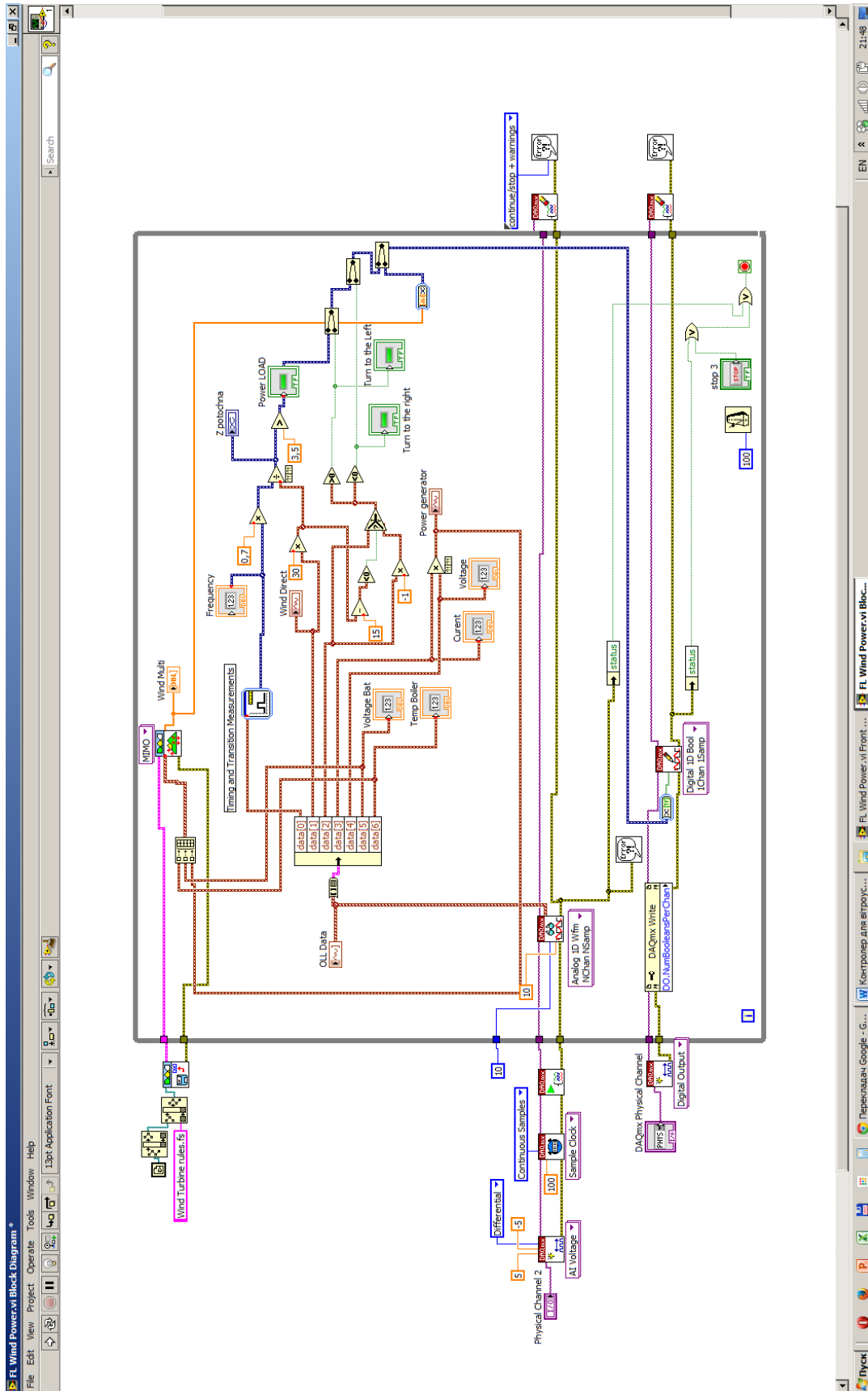


Рис. 3. Фрагмент блок-диаграммы системы управления режимами работы ВЭУ
Fig. 3. Fragment of block diagram of the system management of operating modes of wind power installation

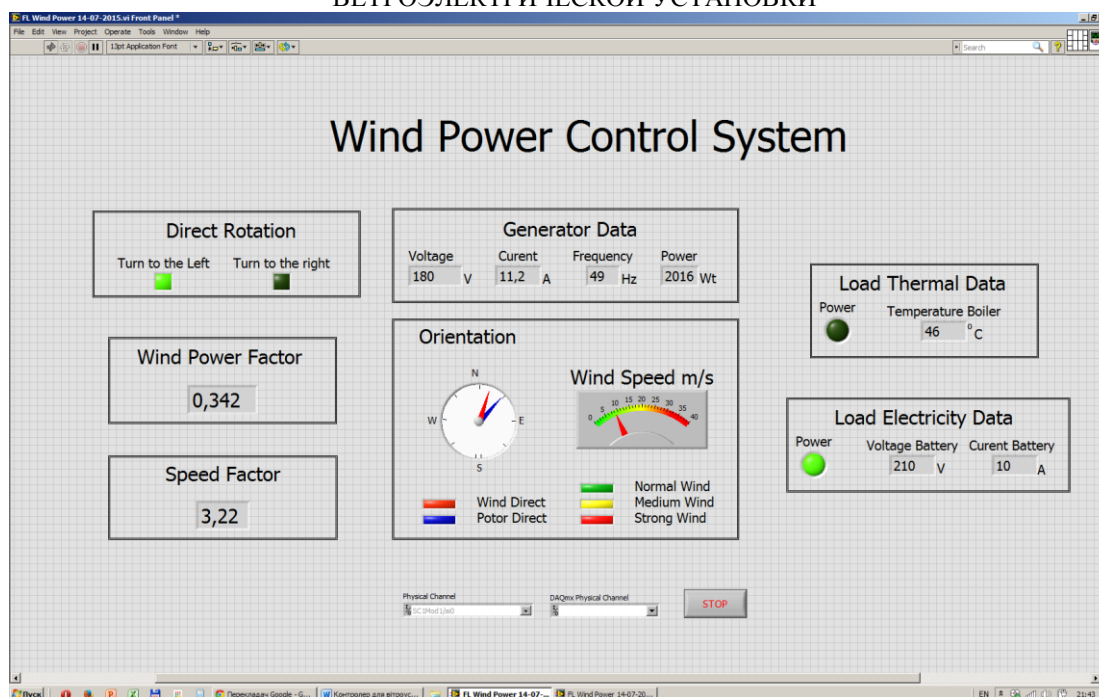


Рис. 4. Фронтальная панель системы управления режимами работы ВЭУ

Fig. 4. The front panel the control system modes of operation of wind power

ВЫВОДЫ

1. Предложенная система управления ВЭУ оптимизирует режимы работы ветроустановки, в функции обеспечения максимального значения коэффициента использования энергии ветра, приспособлявая ее к нерегулярно изменяющейся скорости ветра и стохастическому характеру потребления энергии.

2. Применение программного продукта LabVIEW и инструментария "Fuzzy System Designer" позволяет существенно сократить затраты средств и времени на разработку системы управления ВЭУ.

3. Разработанная система управления режимами работы ВЭУ может быть интегрирована в систему управления энергетическими потоками гибридной системы энергообеспечения сельскохозяйственных и жилых объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Jeong H.G., Seung R.H., Lee K.B. 2012. An Improved Maximum Power Point Tracking Method for Wind Power Systems. *Energies* 5, 1339-1354.
2. Gavino R. B., John Christopher Y., Richmond L., Bryan L. Tan, Alvin Y. Chua. 2007. Development of an Automated Wind Turbine Using Fuzzy Logic. *DLSU Engineering e-Journal*. Vol. 1, No. 1, March, 28-42.
3. Soetedjo A., Lomi A., Mulayanto W. P. 2011. Modeling of Wind Energy System with MPPT Control. 2011 International Conference on Electrical Engineering and Informatics 17-19 July, Bandung, Indonesia, 92-96.
4. Owino L. A., Nyakoe G. N. 2012. Maximum Power Tracking in Horizontal Axis Wind Turbine Using Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Advances in Engineering, Science and Technology (IJAEST)*. Vol. 2 No. 2 May-July, 131-138.
5. Majid A. Abdullah, A.H.M. Yatim, Chee Wei, Tan. 2011. A Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms for Wind Energy System. 2011 IEEE First Conference on Clean Energy and Technology CET. JANUARY, 321-326.
6. Mueeen S.M. 2010. *Wind Power*. Intech, 558.
7. Lavanya N., Pasha J. 2014. To Improve the Active Power in Wind Power Generation by Using Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. Vol. 3 Issue 1, January, 92-96.
8. Petkovic D., Cojbasic Z., Nikolic V., Shamshirband S., Mat Kiah L., Anuar N.B., Abdul Wahab A.W. 2014. Adaptive neuro-fuzzy maximal power extraction of wind turbine with continuously variable transmission. *ARTICLE in ENERGY*. *Energy* 64, 868-874.
9. Marcelo Godoy Simoes, Bimal K. Bose, Ronald J. Spiegel. 1997. Design and Performance Evaluation of a Fuzzy-Logic-Based Variable-Speed Wind Generation System. *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 33, No. 4, July/August, 956-965.
10. Chian-Song Chiu, Zong-Han Li, and Yi-Huan Chen. 2013. T-S Fuzzy Direct Maximum Power Point Tracking of Wind Energy Conversion Systems. *International Journal of Fuzzy Systems*, Vol. 15, No. 2, June, 192-202.

11. **Vignesh P. 2015.** PMSG Based Wind Power Regulator Using Fuzzy Logic Controller. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 4, Special Issue 6, May, 1303-1309.
12. **Шефтер Я.И. 1983.** Использование энергии ветра. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 200.
13. **Фатеев Е.М. 1948.** Ветро двигатели ветроустановки. – М.: ОГИЗ-СЕЛЬХОЗГИЗ, 544.
14. **Кривцов В.С., Олейников А.М., Яковлев А.И. 2004.** Неисчерпаемая энергия. Кн.2. Ветроэнергетика. – Харьков: нац. аэрокосм. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 519.
15. **Mukund R. Patel. 1999.** Wind and Solar Power Systems. CRC Press. Boca Raton, London, New York, Washington, D.C. 350.
16. LabVIEW: PID and Fuzzy Logic Toolkit User Manual. - Texas, 2009. – 126.
17. **Гостев В.И. 2008.** Нечёткие регуляторы в системах автоматического управления. – К.: "Радиоаматор" – 972.
18. **Круглов В.В. 2001.** Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунь. - М.: Физматлит,– 224. (Украина)
19. **Лю Б. 2005.** Теория и практика неопределенного программирования. / Б. Лю; Пер. с англ.- М.: БИНОМ. Лаборатория знаний,– 416.
20. **Сиротюк В., Сиротюк С., Гальчак В. 2014.** Fuzzy Logic контроллер солнечной системы горячего водоснабжения. / Motrol. Lublin. – Vol. 16. № 4. – 32-37.
21. **Сиротюк С. 2012.** Управление режимами работы автономной ветроэлектрической установки. Motrol. Lublin. – Том 14. –126-130.

FUZZY-LOGIC CONTROLLER OF MANAGEMENT MODE OF OPERATION WIND POWER INSTALLATION

Based executed literary analysis carried justification advanced intelligent system control modes wind power installation.

Was established a functional relationship between the parameters power generator and wind rotor in view of its speed factor and designs. Is defined the optimal value of the gear ratio of the multiplier based on the current frequency and polarity of the rotor power generator and the speed factor of the wind rotor. It is proposed to define speed of the wind rotor by analyzing the power generator frequency of current, taking into account the polarity of the rotor and the gear ratio multiplier. Substantiated requirements of the user and functional specifications with the distribution of functions between hardware and software parts of the system control a wind power plant, carried out the selection of hardware and software.

Powered structure of the automated control system modes wind power installations for agricultural purposes. Applications developed control system provides the wind power facility to optimum coefficient of wind energy, stabilization of output power in excess of the nominal value of the wind speed of the wind rotor output from the wind turbine and protection from destruction by exceeding the maximum working wind speed and braking in emergency conditions.

Done developing improved control algorithm wind power installation.

A firmware control modes for wind turbines from the application software system with built-in LabVIEW Fuzzy System Designer, as well as the device of input-output information, such as NI USB 6212, connecting to PC from the USB-ports.

Key words: controller, fuzzy logic, wind power installation; control system, software and hardware.