

во времени. Доказана необходимость дополнения критериев показателями неравномерности графика и анализу динамики всей их совокупности при поиске наиболее приемлемого варианта регуляции.

Ключевые слова: режим электропотребления, сдвиг нагрузок во времени, критерии выравнивания, графики электрических нагрузок, показатели неравномерности.

S. V. Serebrennikov, K. G. Petrova

Improvement of the criteria of priority-step method regulation of power consumption

The criteria sufficiency of priority-step method for assessment of the power consumption graph alignment option priority in really achievable shift borders of its over time components were investigated. It was proved the necessity of criteria supplement with indicators of uneven graph of power consumption and analysis of the whole set dynamics in finding the most appropriate regulatory option.

Key words: regime of power consumption, the offset loadings in time, the criteria for equalization, schedule of electric loads, uneven indicators.

УДК.681.518.54

Д. Г. Алексеевский¹, П. Д. Андриенко², В. П. Метельский³, И. Ю. Немудрый⁴

¹Канд. техн. наук, доцент Запорожской государственной инженерной академии

²Д-р техн. наук, проф. Запорожского национального технического университета

³Канд. техн. наук, проф. Запорожского национального технического университета

⁴Аспирант Запорожского национального технического университета

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ МУЛЬТИПЛИКАЦИЕЙ

Изложены результаты моделирования режимов работы ветроэлектрической установки с аэродинамической мультипликацией при переменной частоте вращения турбин. Предложены основные технические средства для повышения их эффективности работы.

Ключевые слова: ветроэлектрическая установка, турбина, мощность, эффективность.

Создание нового класса ветроэлектрических установок (ВЭУ) с аэродинамической мультипликацией требует детального анализа их характеристик.

Основные соотношения, определяющие характеристики ВЭУ с аэродинамической мультипликацией, получены в [1].

В работе [2] методом математического моделирования было показано, что ВЭУ с аэродинамической мультипликацией при постоянных оборотах ветротурбин обладает эффектом автостабилизации электромеханической системы в оптимальном режиме при работе на сеть большой мощности с переменной скоростью вращения ветроколеса ВЭУ в относительно широком диапазоне изменения скорости ветрового потока. Вместе с тем, при скорости ветрового потока (V_B) менее $0,5 \div 0,6 (V_{вн})$ наблюдается отклонение мощности ВЭУ от оптимальной.

Целью статьи является поиск технических решений, позволяющих повысить эффективность ВЭУ при относительно низких скоростях ветрового потока.

С использованием математической модели работы [2] были проведены исследования поведения электромеханической системы при изменении скорости вращения турбин ветрогенераторов ВЭУ типа ТГ-750. Результаты моделирования представлены на рис. 1 зависимостью относительной максимальной мощности от относительной скорости ветрового потока.

Из полученных зависимостей следует, что максимальный отбор мощности может быть получен при переменных скоростях вращения турбин ω_{21} и ветроколеса ω_{11} . При этом полностью исчезает «вентиляторный» эффект ВЭУ при малых ветровых потоках.

Реализация такого способа управления достаточно сложна, т. к. требует измерения большого количества параметров и учета нелинейностей уравнений динамики [4].

Анализ статической характеристики (рис. 1) показывает, что работа ВЭУ при скоростях ветрового потока менее 2 м/с мало эффективна, т.к. генерируемая мощность относительно мала и соизмерима с механическими потерями.

Из зависимости $P_{\max} f(V) f(V_B^*)$ (рис. 1) следует, что технически наиболее целесообразно перейти на работу ветротурбин с постоянной частотой вращения $\approx 0,5 \omega_n$. При этом ВЭУ снова приобретает свойства автостабилизации ее работы в оптимальном режиме, отбор мощности ветрового потока возрастает на величину $(0,01 \div 0,02) P_n$. Поскольку в этом режиме генератор работает с частотой ≈ 25 Гц, то для согласования с сетью необходим преобразователь, в качестве которого может быть использован двухзвенный преобразователь с автономным или ведомым сетью инвертором. При этом требуемая мощность преобразователя уменьшается примерно в 4 раза. Поддержание стабильной частоты вращения обеспечивается регулятором частоты. Вариант реализации такого алгоритма приведен в работе [3].

В [2, 4] показано, что для повышения эффективности ВЭУ ось турбины устанавливается на неповоротных частях лопасти ветроколеса, под некоторым оптимальным углом α в плоскости вращения ветроколеса.

При этом, скорость набегающего на турбины потока V_2 определяется соотношением [4]

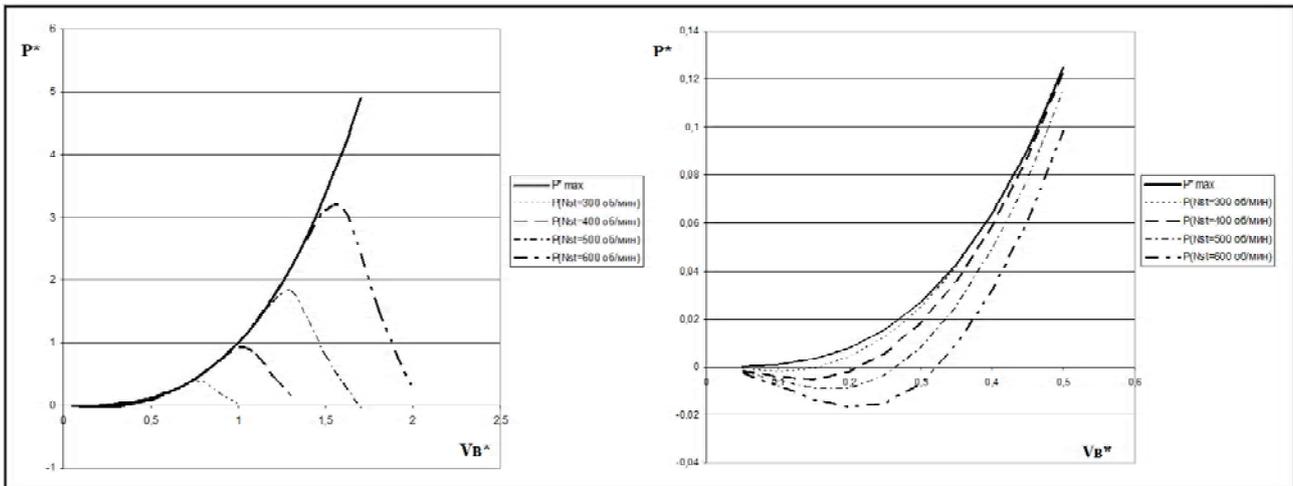


Рис. 1. Зависимость относительной максимальной мощности в функции от относительной скорости ветрового потока

$$V_2 = \sqrt{V_b^2 + V_r^2} \times \cos(\alpha - \beta), \tag{1}$$

где V_b – скорость ветрового потока; $V_r = \omega_1 R_2$; R_2 – радиус установки ветротурбин; α – угол установки ветротурбин; $\beta = \arctg(V_o / V_r)$.

Из (1) следует, что скорость ветрового потока зависит от двух параметров: V_r , определяемой скоростью вращения ветроколеса, и угла β , определяемого отношением $\arctg(V_o / V_r)$. От изменения этих величин зависит модуль изменения вторичного ветрового потока. При номинальном режиме работы, когда параметры близки к номинальным, угол α , который определяется в работе [3], равен β и величина скорости ветрового потока V_2 принимает максимальное значение

$$\alpha = \arctg\left(\frac{V_{вн}}{V_{2н}}\right). \tag{2}$$

При постоянном ветровом потоке относительно оси вращения ветрового колеса происходит изменение основного ветрового потока относительно центров расположения турбин из-за неравномерности ветрового потока относительно земли [5]. Указанное обстоятельство приводит к модуляции ветрового потока V_2 частотой вращения ветрового колеса при изменении скорости ветрового потока V_b относительно расположения оси турбин. Эти колебания ветрового потока приводят к колебаниям мощности (момента) каждого генератора.

В силу пространственного сдвига лопастей ветроколеса и симметричном изменении скорости ветрового потока относительно оси ветроколеса (при высоте оси 100 и более метров) суммарная выходная мощность остается постоянной, что иллюстрируют результаты моделирования работы ВЭУ при постоянном ветровом потоке (рис. 2). ($V_{в1}, \omega_1, \omega_{21}; M_{г1}, V_{в1}, P_n$ – скорости основного ветрового колеса, частоты вращения ветроколеса и турбины, момент генератора скорости набегающего потока турбины, выходная мощность ВЭУ) [2].

Однако, наличие несимметрии ветрового потока при расположении оси ветроколеса на высоте 50÷60 м приводит к заметной асимметрии ветровых потоков в секторах расположения турбин, что вызывает модуляцию выходной мощности ВЭУ частотой вращения ветроколеса.

Так как при работе ВЭУ вращающиеся моменты турбин всегда модулированы частотой вращения ветроколеса, то это необходимо учитывать при расчете усталостной прочности ветроколеса.

Устранение колебаний генерируемой мощности (или связанных с ней выходного напряжения или тока) возможно введением соответствующих каналов регулирования системы возбуждения генераторами либо установкой накопителей или резисторных поглотителей электроэнергии с установленной мощностью до $0,1 P_n$.

Выводы. Выявленные особенности режимов работы ВЭУ с аэродинамической мультипликацией позволяют обосновано использовать технические средства для повышения эффективности их работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубенко, Н. С. Аэродинамические особенности безмультипликаторной турбогенераторной схемы ветроэлектрической установки большой мощности / Н. С. Голубенко // Материалы IV международной конференции «Нетрадиционная энергетика XXI века». – Крым, 2003. – С. 115–132.
2. Голубенко, Н. С. Моделирование электромеханической системы ВЭУ с аэродинамической мультипликацией в режиме стабилизации скорости ветровых турбин / Н. С. Голубенко, П. Д. Андриенко, И. Ю. Немудрый // Электротехника и электроэнергетика. – 2011. – № 1. – С. 13–20.
3. Андриенко, П. Д. / Повышение эффективности ветроэлектрической установки ТГ-750 / П. Д. Андриенко, В. П. Метельский, И. Ю. Немудрый, А. А. Никонова // Вестник СевНТУ Механика, энергетика, экология. – 2011. – № 119. – С. 109–112.

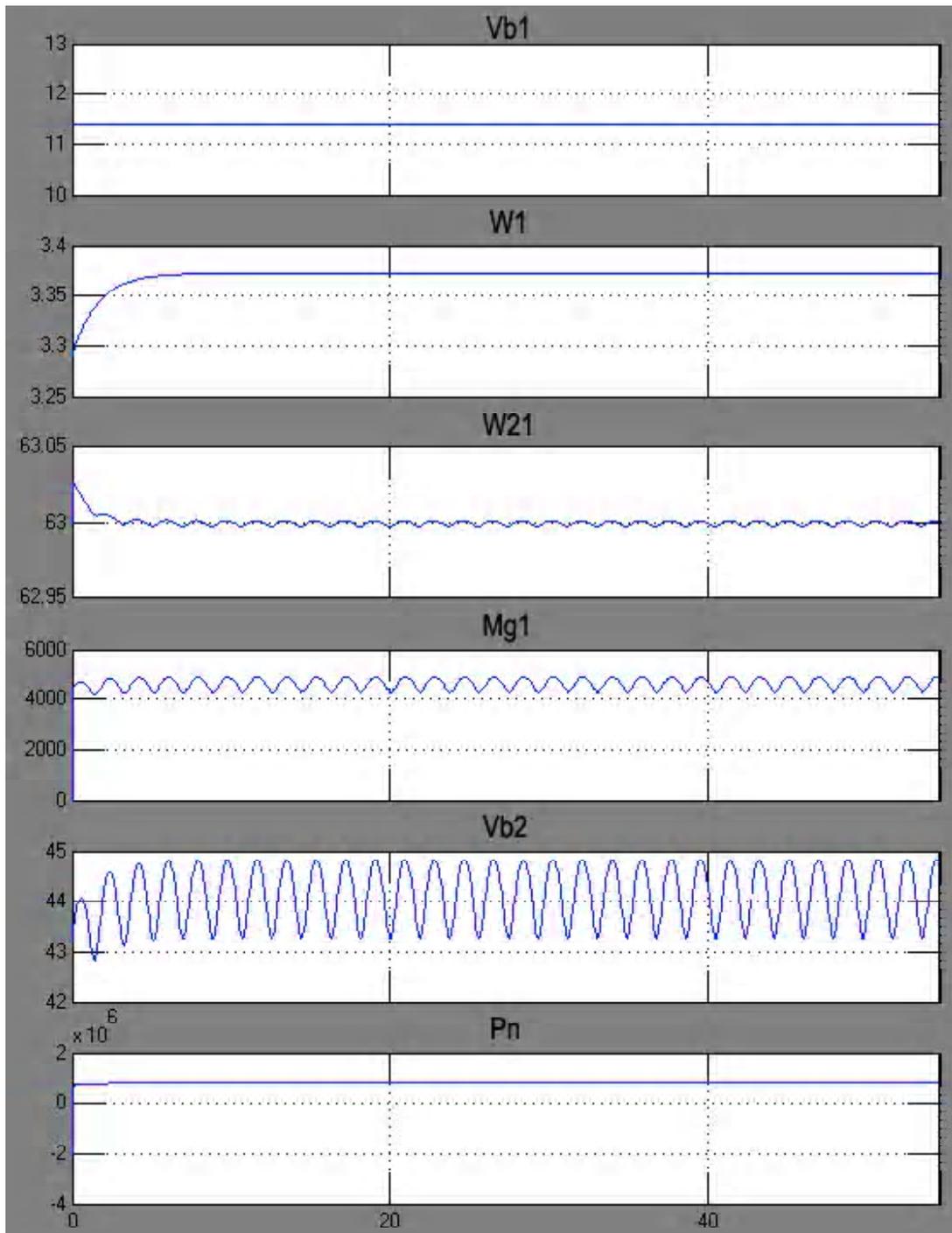


Рис. 2. Осциллограмма работы ВЭУ при постоянном потоке

4. Миргород, В. Ф. / Управление ветроэнергетической установкой большой мощности по запасам аэродинамической устойчивости / В. Ф. Миргород // Вестник двигателестроение. – 2009. – № 3. – С. 67–70.
5. Жовнір, М. М. / До питання про доцільність будівництва вітрових електростанцій в Україні / М. М. Жовнір, С. В. Шульга // Енергетика та електрифікація. – 2000. – № 4. – С. 36–40.

Стаття надійшла до редакції 19.01.2012.

Д. Г. Алексієвський, П. Д. Андрієнко, В. П. Метельський, І. Ю. Немудрий

Аналіз режимів роботи вітроелектричної установки з аеродинамічною мультиплікацією

Викладено результат моделювання режимів роботи вітроелектричної установки з аеродинамічною мультиплікацією при змінній частоті обертання турбін. Запропоновано основні технічні засоби для підвищення їх ефективності роботи.

Ключові слова: вітроелектрична установка, турбіна, потужність, ефективність.

D. G. Alekseyivskiy, P. D. Andriienko, V. P. Meetl'skiy, I. Y. Nemudriy
Analysis of the operation of a wind power plant with aerodynamic multiplication

The results of simulation of a wind power plant with of aerodynamic multiplication at a variable speed turbines are presented. The basic technical means for improvement of their efficiency are proposed.

Key words: wind power plant, the turbine, power, efficiency.

УДК: 621.31

Ю. Г. Качан¹, А. В. Николенко², В. В. Кузнецов³

¹Д-р техн. наук Запорожской государственной инженерной академии

²Канд. техн. наук Национальной металлургической академии Украины, г. Днепропетровск

³Ассистент Национальной металлургической академии Украины, г. Днепропетровск

О МОДЕЛИРОВАНИИ НАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Предлагается стохастическая модель напряжений в электросетях промышленных предприятий с некачественной электроэнергией, позволяющая решать задачи энергоэффективности и экономической целесообразности применения средств защиты работающего в их цехах электрооборудования.

Ключевые слова: стохастическая модель, напряжение, электросети промышленных предприятий, некачественная электроэнергия.

ВВЕДЕНИЕ

Наличие некачественной электроэнергии в сетях промышленных предприятий приводит к ускоренному физическому старению и снижению энергоэффективности используемого оборудования, повышению рисков возникновения аварийных ситуаций на производстве. В [1] показано, что решение данной проблемы следует искать в технико-экономической плоскости с привлечением методов математического моделирования.

В [2] предложена методика принятия оптимального решения по эксплуатации электрооборудования в условиях некачественной электросети на основе экономической оценки различных вариантов восстановления питающего напряжения до заданных показателей качества и показана возможность ее применения на примере работы асинхронного электродвигателя (АД). Согласно данной методике по текущим показателям качества электроэнергии в сети предприятия и на основе энергомеханической и тепловой моделей электромеханического преобразователя [3, 4] рассчитываются его энергетические показатели и осуществляется прогноз времени безаварийной работы [5]. В случае существенных отклонений рассчитанных таким образом показателей от заданных рассматриваются различные варианты технических решений восстановления качества подводимого к двигателю электропитания. Для каждого из вариантов выполняется стоимостная оценка и принимается окончательное решение о его экономической целесообразности.

Предложенная методика в целом позволяет оптимизировать выбор технических средств для восстановления качества электроэнергии по стоимостному критерию с учетом ограничений на энергетические показатели данного электропотребителя. Однако, связанные с этим расчеты, предполагают знание закономерностей изменения напряжений в реальных цеховых сетях, где работает рассматриваемое электрооборудование. А это требует про-

ведения дорогостоящих и длительных экспериментов в каждом конкретном случае. Наиболее целесообразным выходом из создавшейся ситуации является дополнение упомянутых выше математических аналогов моделью с элементами формирования напряжений в цеховых сетях.

Целью настоящей работы является разработка стохастического генератора напряжений в цеховой электросети промышленного предприятия с некачественной электроэнергией.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящее время накоплен большой опыт моделирования процессов, протекающих в электрических сетях [6]. При этом в качестве математических аналогов применяются имитационные и аналитические модели. Последние из них позволяют определять расчетные значения показателей электрических сетей (характеристики пиков, выбросов и колебаний) без построения реализаций процессов. Однако они не всегда достаточны для решения задач электроснабжения, особенно нелинейных: регулирования напряжения, реактивной мощности, применения стабилизаторов, компенсаторов, релейных устройств. К тому же получить необходимую для их применения исходную информацию бывает не менее сложно, чем само решение.

Как известно [7], режимы потребления электроэнергии в цехах промышленных предприятий различны и определяются видами технологических процессов и используемого оборудования. При этом показатели качества электроэнергии (ПКЭ) непостоянны и меняются в зависимости от ряда факторов, таких, например, как наличие в сети потребителей, питаемых от полупроводниковых преобразователей, в том числе и с фазо-импульсным регулированием (гальванические ванны, дуговые печи). Работа последних приводит к нарушению сим-