

УДК 621.3

В.З. Манусов, Э.Г. Ядагаев

Анализ функционирования нечеткого регулятора мощности ветроэнергетической установки в режиме рабочих ветров

Приведены основные методы регулирования мощности крупных ветроэнергетических установок. Показана возможность регулирования мощности на основе регулятора с использованием нечеткой логики. Рассмотрен выбор алгоритмов нечеткого вывода для контуров регулирования мощности крупных ветроэнергетических установок.

Ключевые слова: контуры регулирования мощности, коэффициент использования энергии ветра, нечеткая логика, база правил, алгоритмы нечеткого вывода.

Постановка задачи

Принципы регулирования мощности, применяемые в крупных ветроэнергетических установках (ВЭУ), определяются способами преобразования электрической энергии и структурой сопряжения ВЭУ с сетью. Цели регулирования мощности ВЭУ следующие:

- выработка максимально возможной мощности в условиях непостоянства энергоносителя – ветра;
- ограничение частоты вращения по прочностным соображениям для предотвращения механического разрушения установки.

В данной работе рассматривается регулирование мощности ветроэнергетической установки с асинхронизированным синхронным генератором (АСГ) мощностью $P_{Г} = 225$ кВт следующими воздействиями:

- изменение угла атаки лопасти;
- поворот гондолы;
- изменение длины лопасти (рис. 1).

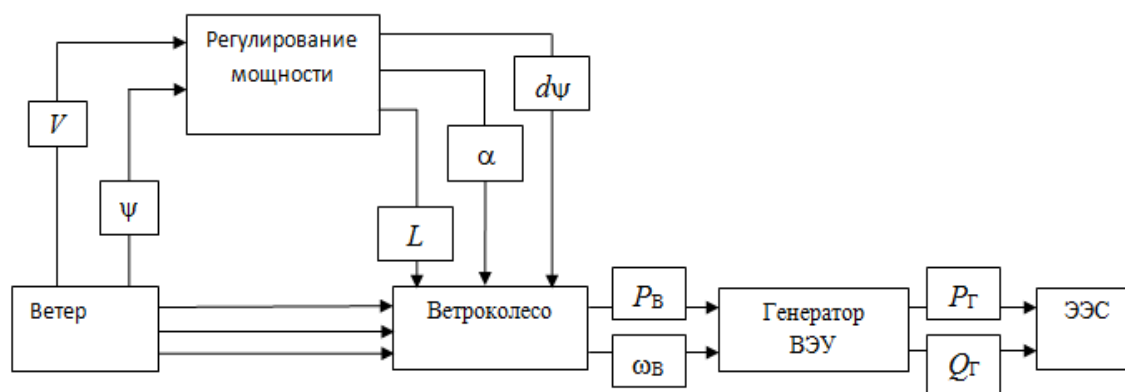


Рис. 1. Структурная схема регулирования мощности ВЭУ

С этой целью разработана модель регулятора на нечеткой логике с разными алгоритмами вывода для управляющих воздействий. Входными величинами для регулятора являются скорость ветра и угол между направлением ветра и положением гондолы, выходными – изменение угла атаки лопасти, изменение длины лопасти, поворот гондолы.

Важным этапом создания модели регулятора на нечеткой логике является создание базы правил (базы знаний) на основе накопленного опыта или практических сведений. База правил оперирует терм-множествами входных и выходных переменных и состоит из событийных нечетких предложений, связанных между собой предпосылками и заключениями. Для обозначения предпосылки или условия применяется индикатор «если», вывода или заключения – «тогда» [1]. Зависимости выходных величин от двух входных, так называемая поверхность решений в виде трехмерных графиков, представлены на рис. 2–4.

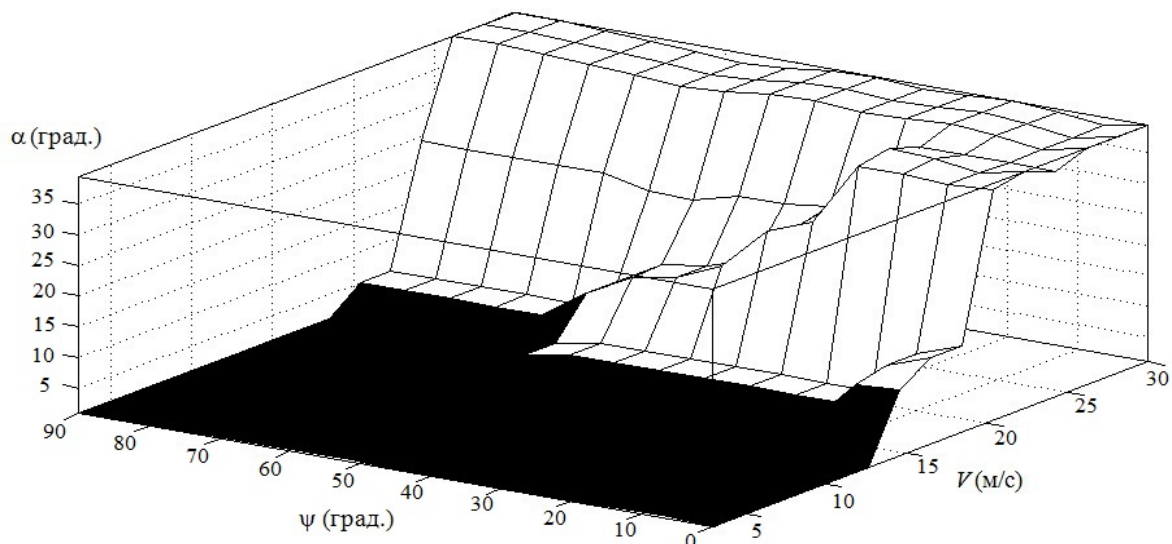


Рис. 2. Нечеткий вывод регулятора для изменения угла атаки лопасти

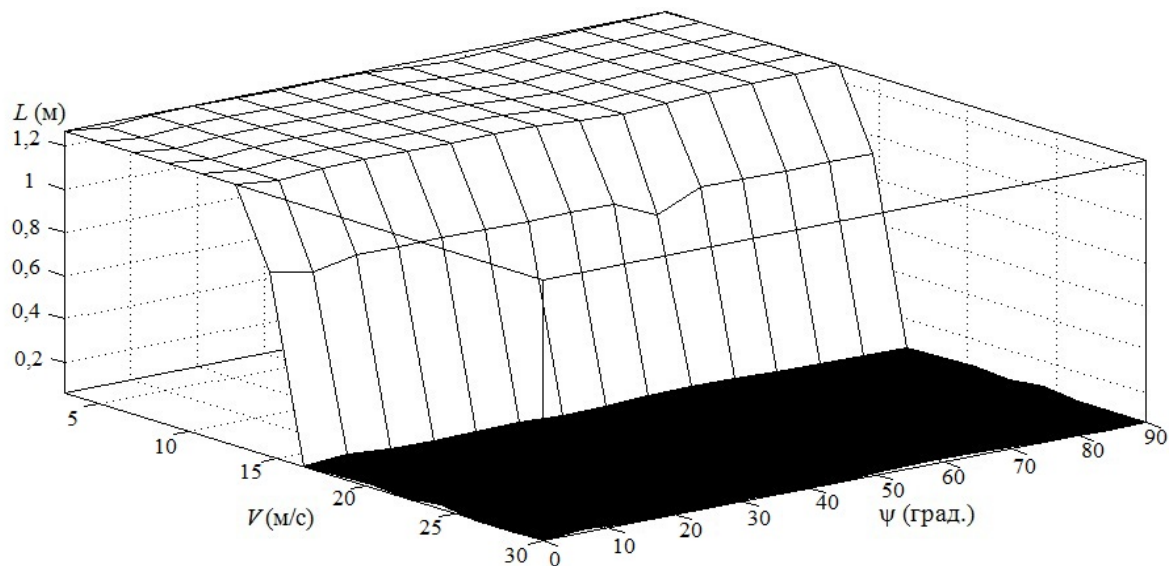


Рис. 3. Нечеткий вывод регулятора для изменения длины лопасти

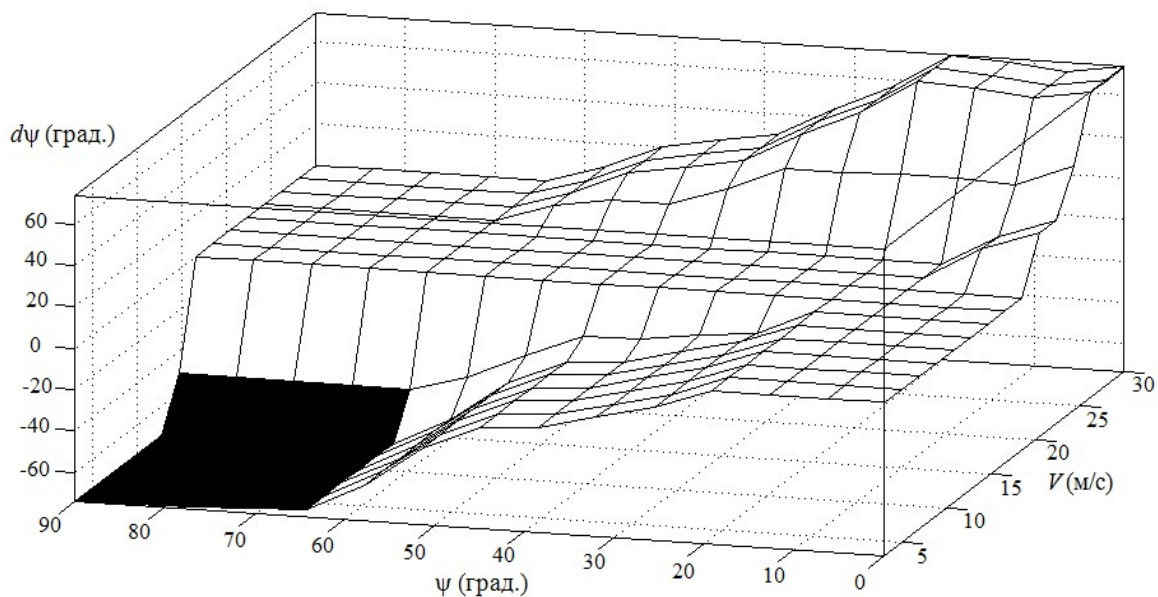


Рис. 4. Нечеткий вывод регулятора для угла поворота гондолы

Скорость ветра изменяется внутри диапазона 5–14,5 м/с. На данных скоростях ветра осуществляется выработка большей части энергии ВЭУ, поэтому способам регулирования отводится значительная роль. Мощность ВЭУ описывается формулой

$$P_{\Gamma} = \frac{1}{2} C_p \rho A V^3,$$

где C_p – коэффициент использования энергии ветра, ρ – плотность воздуха, A – ометаемая поверхность ветроколеса, V – скорость ветра.

ВЭУ работает с постоянной быстроходностью, соответствующей максимуму коэффициента мощности C_p , что означает вращение ветроколеса с переменной скоростью при изменении скорости ветра [2]. Скорость ветра, при котором ВЭУ вырабатывает номинальную мощность, равна 14,5 м/с. При скорости ветра 5–14,5 м/с ВЭУ работает с переменной мощностью. Управление ВЭУ заключается в поддержании угла атаки лопасти $\alpha = 0^\circ$ к переменному по величине и направлению ветру, угла положения гондолы $\psi = 0^\circ$ и максимально возможной длины лопасти $L = 14,85$ м с целью выработки максимальной мощности для каждого значения ветра.

Применение регулятора на нечеткой логике

В режиме максимального C_p вырабатывается порядка 60–70% электроэнергии. Поэтому вопрос эффективности приобретает особое значение при скорости ветра, дающей наибольшее количество технически доступной энергии.

На рис. 5 представлен график мощности ВЭУ.

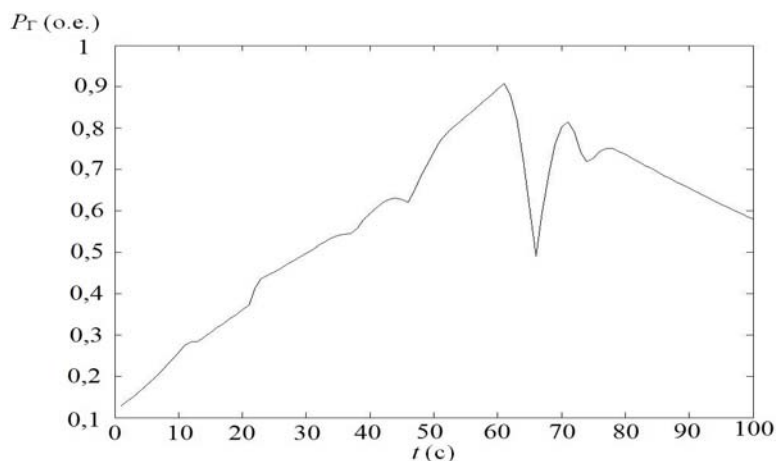


Рис. 5. Мощность ВЭУ

Максимальная мощность равна 180 кВт, колебания вызваны изменением ветра по скорости и направлению. В данном режиме ВЭУ работает с максимальным коэффициентом использования энергии ветра, что достигается быстротой изменения угла атаки лопасти (рис. 6) при использовании регулятора на аппарате нечеткой логики.

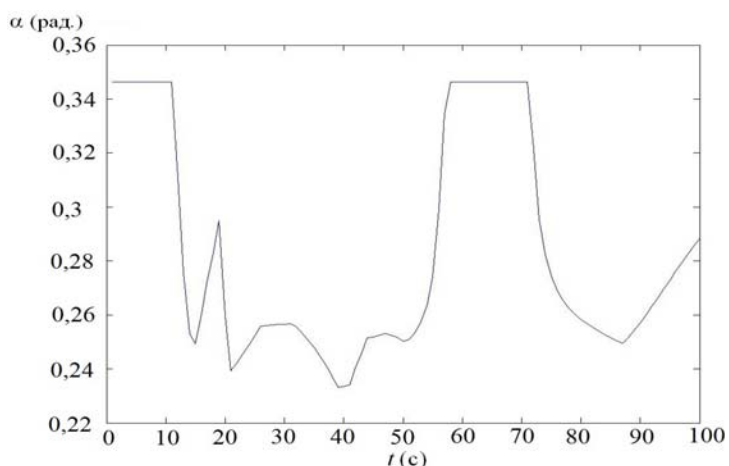


Рис. 6. Угол атаки лопасти

База правил для выходной величины «изменение угла атаки лопасти» выдает единственное значение – поддерживать нулевое значение. На данном графике видно, что максимальное значение угла атаки лопасти достигает 16° (0,35 рад), хотя регулятор обрабатывает задачу поддержания нулевого значения. Этот угол вызван не мгновенной установкой лопасти в обрабатываемое значение вследствие инерционности сервоприводов поворота лопасти.

Поворот гондолы является самым инерционным звеном регулирования из-за большого времени, необходимого серводвигателям для поворота гондолы. Точность ориентации гондолы на ветер должна быть не более 15° , так как при отклонении в 15° потеря мощности составляет 10%.

При достижении угла ψ между направлением ветра и положением гондолы значения, превышающего 15° , необходимо поворачивать гондолу с целью уменьшения этого угла. В режиме рабочих скоростей ветра база правил выдает значение «не поворачивать» для нулевого и малого значений ψ , «немного повернуть к ветру» – для среднего значения ψ , «сильно повернуть к ветру» – для большого значения ψ , что и видно на рис. 7.

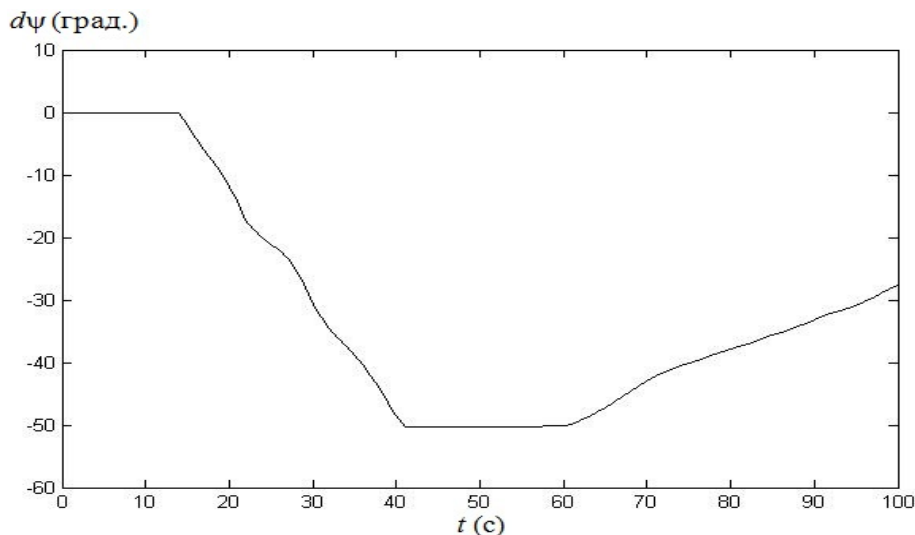
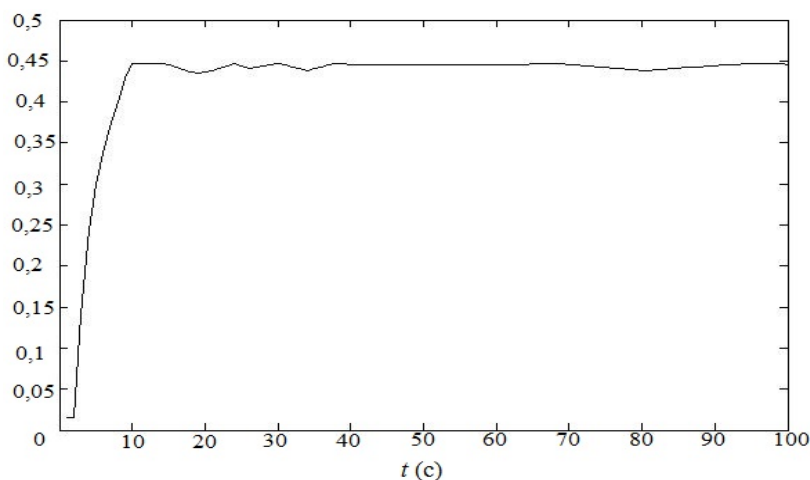


Рис. 7. Угол рассогласования ψ

Угол ψ максимально отклоняется до 32° , что обусловлено инерционностью приводного двигателя, производящего поворот гондолы. До $t = 3$ с углы ψ изменяются не более чем на 15° , поэтому регулирование положения гондолы не проводится. С $t = 3$ с до $t = 5$ с происходит увеличение угла ψ более чем на 15° , поэтому запускается контур управления положением гондолы. С $t = 5$ с по $t = 10$ с происходит уменьшение угла ψ вследствие поворота гондолы.

Максимальная скорость поворота гондолы должна быть рассчитана исходя из предельного гироскопического момента. При всех режимах работы должна соблюдаться устойчивость положения гондолы относительно направления ветра, то есть поворот должен выполняться только при существенном и относительно долговременном изменении направления ветра.



На рис. 8 представлен график изменения длины лопасти.

Рис. 8. Длина лопасти ветроколеса

Целевая функция регулирования длины лопасти – максимальное значение для всех скоростей ветра в режиме выработки максимальной мощности. Максимальная длина лопасти при всех значениях ветра достигается командами «сильно увеличить длину», выдаваемыми базой правил регулятора на нечеткой логике.

На основании графиков для регулятора на нечеткой логике можно сделать заключение: при использовании нечеткого регулятора достигается плавное регулирование мощности, характеризующееся малым отклонением значений выходных величин. Малое отклонение объясняется удачно выбранной базой правил, обладающей хорошей чувствительностью к изменению входных величин.

Выводы

Большое распространение управление на нечеткой логике получило в отраслях промышленности, система управления которых имеет информационную связь с человеком. Использование теории нечетких множеств в управлении позволяет отказаться от математических выражений, которые для сложных систем имеют большое количество переменных.

По результатам работы регулятора на нечеткой логике можно сделать следующие выводы:

- наблюдается плавное регулирование мощности;
- поддержание максимального коэффициента использования энергии ветра;
- удержание угла $\psi < 15^\circ$;
- длина лопасти в режиме рабочих ветров поддерживается максимальной.

Регулятор на нечеткой логике в режиме рабочих ветров показывает высокую эффективность работы. Эффективность выдаваемых базой знаний решений оценивается плавностью и конечной точностью управляющих воздействий. О плавности можно судить принимаемыми решениями регулятора при работе в граничных условиях, где необходимо четко поддерживать выходную мощность.

Наиболее важным достоинством регулирования мощности ВЭУ регулятором на нечеткой логике является использование опыта и знаний эксперта, применяемых без математического описания в лингвистических переменных. Система регулирования отдаленно напоминает логику принятия решения человека.

Литература

1. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
2. Адрианов В.Н. Ветроэлектрические станции / В.Н. Адрианов, Д.Н. Быстрицкий. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 320 с.

Манусов Вадим Зиновьевич

Д-р техн. наук, профессор каф. систем электроснабжения предприятий Новосибирского государственного технического университета (НГТУ)
Тел.: 8 (383-3) 46-15-51
Эл. почта: Manusov@merlin.nstu.ru

Ядагаев Эркемен Геннадьевич

Аспирант каф. систем электроснабжения предприятий НГТУ
Тел.: 8 (383-3) 46-15-51
Эл. почта: Yadagaev@mail.ru

Manusov V.Z., Yadagaev E.G.

Fuzzy Logic regulator using for wind turbine generators active power control

Fuzzy logic based regulator was created in MATLAB fuzzy logic for wind turbine generators active power control. Analyses of regulators operation showed sufficiently adequate control results. When using this regulator active power is optimal. Maximum wind using coefficient is achieved by pitch control and gondola rotation.

Keywords: fuzzy logic, active power control, wind turbine generator, pitch control, variable speed rotor, MATLAB fuzzy logic.