

$$W(s) = \frac{k_m}{T_s s + 1} \exp(-\tau s),$$

где  $k_m$  – коэффициент усиления;  $T_s$  – временная постоянная;  $s$  – оператор Лапласа;  $\tau$  – время запаздывания.

С помощью полученные передаточные функции можно определится только с начальными настройками и структурой управления. Сырье характеризуется постоянным изменением состава, изменяются условия эксплуатации и для повышения эффективности автоматизации требуется использование алгоритмов идентификации. Это может позволить обеспечить и завязку на экономические критерии управления всей установкой.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Технология, экономика и автоматизация процессов переработки нефти. – М.: Химия, 2005. – 670с.
2. Гаврилов А.И., Пашаева Б.А. Интеллектуальная система управления каталитическим крекингом нефти// Интеллектуальные системы: Труды девятого международного симпозиума/ Под ред. К.А.Пупков 2010. - С. 637-641.

Научный руководитель: Д.А. Гринюк, к.т.н., доц., кафедра АППиЭ, БГТУ.

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ НЕЙРО-НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ**

А.А. Закамалдин, В.С. Андык  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, АТП

#### 1. Введение

Непостоянство скорости ветра - главный недостаток ветроэнергетики, который обязывает уделять огромное внимание проблеме повышения регулировочной способности ветроэнергетических установок (ВЭУ).

Работы по улучшению динамической устойчивости путем применения нечеткой логики были рассмотрены в публикациях [1-4]. Несмотря на заметный прирост в качестве и гибкости процессов управления, у подхода есть существенный недостаток - зависимость от условий (характеристик ветровой нагрузки, технических параметров ВЭУ и др.). Поэтому необходимы априорные знания в достаточно полном объеме. Применение нечеткой логики в других областях [5-8] характеризуется тем же недостатком.

Учитывая нелинейный характер рабочих характеристик ВЭУ, целесообразно провести исследование по оценке применимости теории искусственного интеллекта для синтеза системы управления ВЭУ, а именно технологии ANFIS

– адаптивной нейронной сети прямого распространения с нечетким логическим выводом.

## 2. Экспериментальная модель

Рабочая модель ВЭУ представлена на рисунке 1. Состоит из следующих основных компонентов:

1. Ветровая турбина (1,5 МВт), работающая с переменной скоростью вращения ротора, в модификации с асинхронным генератором двойного питания представлена блоком «Wind Turbine Doubly-Fed Induction Generator (Phasor Type)». В блок включены системы управления углом атаки лопастей ветроколеса и скоростью вращения ротора генератора, работающие по классическому принципу с применением П, ПИ регуляторов.
2. Блок «Wind Speed», реализующий динамическую модель продольной составляющей скорости ветра, построен согласно требованиям [9] и методике [10].

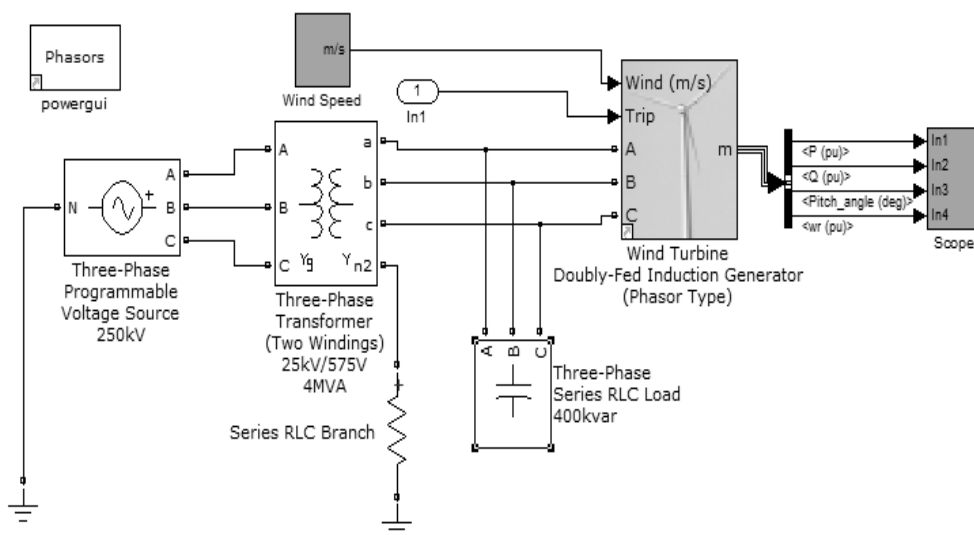


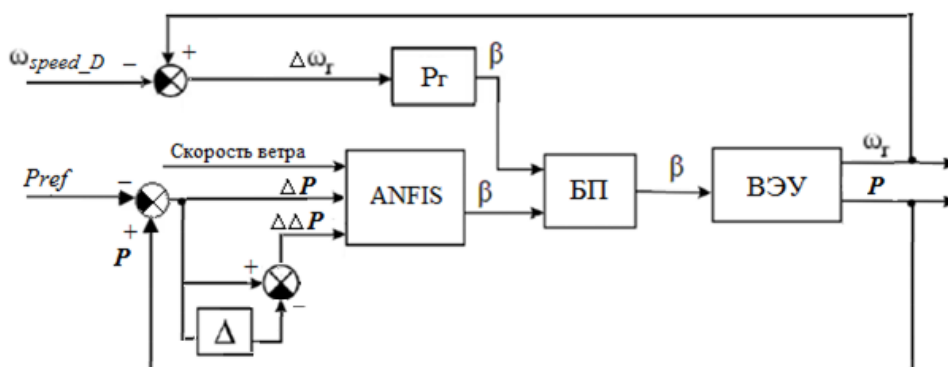
Рис. 1. Модель ВЭУ

## 3. Методика исследования

Предлагается интегрировать в модель ВЭУ разработанный алгоритм управления ANFIS со структурой (рисунок 2), построенной на совместной архитектуре, предложенной в [8]. Также за основу приняты результаты исследований в области систем нечеткого управления ВЭУ [4, 11].

Типовой регулятор (Pr) обрабатывает в течение формирования первой обучающей выборки данных. Затем ANFIS обучается по полученным данным об объекте управления, и с помощью блока переключения (БП) включается в контур управления.

Нечеткий регулятор организован на алгоритме нечеткого вывода Сугэно первого порядка с треугольными «trimf» функциями принадлежности. В качестве алгоритма обучения ANFIS принят гибридный алгоритм [5, 7], совмещающий метод градиентного спуска и метод наименьших квадратов.

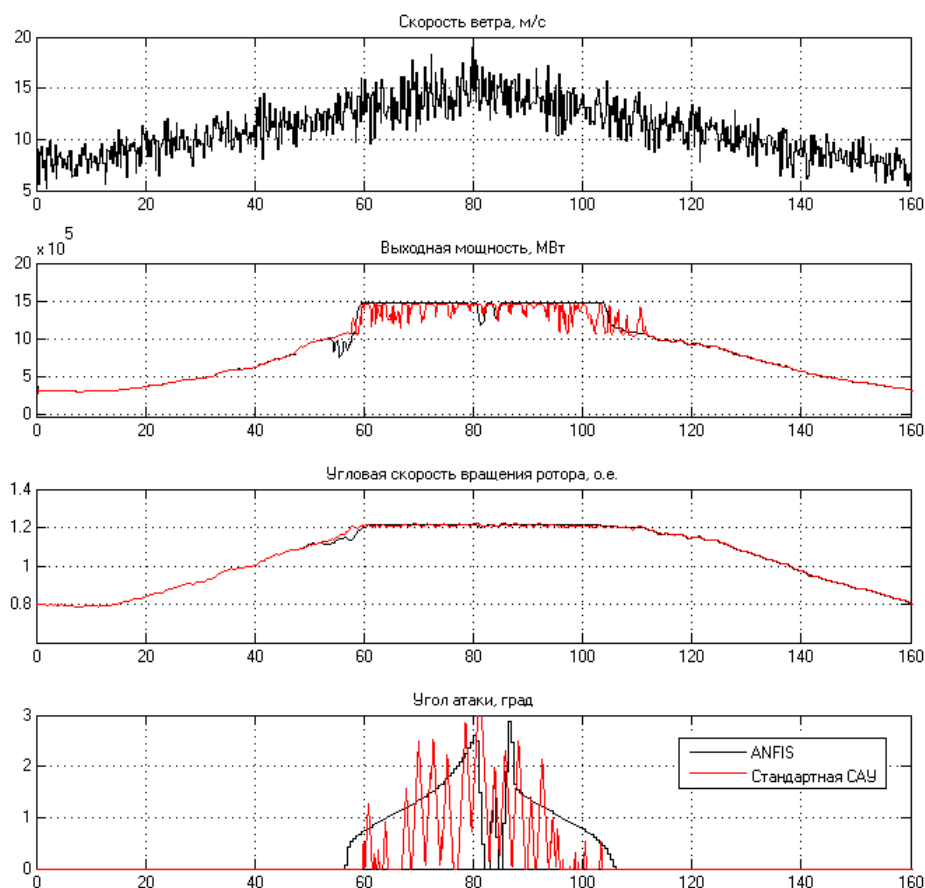


**Рисунок 2.** Структурная схема системы управления углом атаки:  $\omega_{speed\_D}$ ,  $P_{ref}$  – уставки;  $\omega_r$  – угловая скорость вращения ротора генератора;  $P$  – активная мощность;  $\beta$  – управляющий сигнал на изменение угла атаки;  $\Delta$  – блок задержки

Тестируя одновременно классическую систему и ANFIS на временном промежутке моделирования 160 с, получены следующие результаты (рисунок 3).

#### 4. Обсуждение результатов

Система управления углом атаки активна в интервале 56 – 117 с. В этой области классическая САУ углом атаки работает неэффективно, изменяя угол атаки скачкообразно (при этом уменьшая ресурс приводов поворотных лопаток из-за периодических переключений). Также видны флуктуации (скачки) величины вырабатываемой электрической мощности. Скачки начинают появляться при выходе ВЭУ на номинальную мощность. Видно, что стандартная САУ не справляется с инерцией ВЭУ. На всем интервале система ANFIS качественно обрабатывает за исключением области (80 – 88 с), где постоянная составляющая скорости ветра начинает уменьшаться. Это связано с недостаточным обучением нейронной сети, что, возможно, отразилось именно на случае перегиба постоянной скорости ветра. Учитывая преимущества нейронной сети, дополнительные циклы обучения должны восполнить этот недостаток.



**Рисунок 3.** Зависимости характеристик ВЭУ и скорости ветра от времени моделирования

#### 4. Выводы

Результаты сравнения показывают, что для разработанной системы управления плавность управляющих сигналов углом атаки намного выше, чем для стандартной, что позволяет снизить колебания (флуктуации) вырабатываемой мощности, а также снизить нагрузку от частых включений/выключений на приводы поворотных лопастей.

При реализации концепции управления только на нечеткой логике необходимы экспертные оценки для составления базы нечетких правил, где имеет место ошибка в оценке данных. Настройка нечеткой системы путем адаптации к объекту продемонстрировала хорошие интегральные показатели. Моделирование ANFIS системы было проведено в условиях только одного полного цикла обучения, что могло повлиять на не оправдывающее себя качество регулирования в некоторых зонах работы ВЭУ. Проведение экспериментов для последующих циклов переобучения, т.е. с системой переобучающейся постоянно в режиме онлайн, должно повысить динамическую точность.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Зубова Н.В. Повышение режимной управляемости ветроэнергетических установок с изменяемой геометрией лопастей регуляторами на нечеткой логике: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02 – Электрические

- станции и электроэнергетические системы / Новосибирский государственный технический университет (НГТУ). Новосибирск, 2014. – 190 с.
2. Удалов С. Н., Манусов В. З. Моделирование ветроэнергетических установок и управление ими на основе нечеткой логики. – Новосибирск: Издательство НГТУ. – 2013.
  3. Удалов С. Н. Управление ветроэнергетической установкой с изменяемой геометрией лопасти на основе нечеткого контроллера // науч. Вестн. НГТУ. – 2010. – №1(38). – С. 159-173.
  4. Санкевич С. А., Петренко Ю. Н. Применение контроллера нечеткой логики для управления ветроэлектрической установкой // Информационные технологии и системы 2012: материалы междунар. науч. конф. – Минск: БГУИР. – 2012. – С. 66-67.
  5. Володин А.А. Системный анализ и управление сложными биосистемами на базе нейро-нечетких регуляторов: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в технике и технологиях) / Северо-Кавказский федеральный ун-т. Ставрополь, 2014. – 214 с.
  6. Омату, С. Нейроуправление и его приложения. Кн. 2 / С. Омату, М. Халид, Р. Юсоф. – М.: Радиотехника, 2000. – 272 с.
  7. Аль Зихери Б. М. Повышение точности краткосрочного прогнозирования электрической нагрузки потребителей региона с учетом метеофакторов на основе метода опорных векторов: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы / Южно-Российский гос. политехнический ун-т (НПИ) им. М.И Платова. Новочеркасск, 2015. – 181 с.
  8. Палис Ф. и др. Применение нейрофаззи сетей для управления сложными нелинейными динамическими объектами с переменными параметрами // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2006. – №. 3. – С. 25-33.
  9. International Electrotechnical Commission et al. IEC 61400-1: Wind turbines part 1: Design requirements // International Electrotechnical Commission. – 2005.
  10. Обухов С. Г., Плотников И. А., Сарсикеев Е. Ж. Динамическая модель продольной составляющей скорости ветра // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5.
  11. Zhang J. et al. Pitch angle control for variable speed wind turbines // Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 2008. DRPT 2008. Third International Conference on. – IEEE, 2008. – С. 2691-2696.