

## Электротехника

УДК 621.3.07

### **ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНЫХ ФАЗЗИ-РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ДИНАМИКИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПИТАТЕЛЕЙ СЫРОГО УГЛЯ**

*А.С. Глазырин, В.И. Полищук, К.С. Афанасьев, В.В. Тимошкин*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: Polischuk@tpu.ru

*Предложен вариант структуры гибридного фаззи-регулятора для улучшения динамики векторного асинхронного электропривода питателя сырого угля. Исследуются переходные процессы в электроприводе с классическим, нечетким и гибридным регуляторами скорости. С помощью имитационного моделирования доказаны преимущества регулирования скорости приводного двигателя с применением гибридного регулятора.*

**Ключевые слова:** векторное управление, нечеткая логика, асинхронный двигатель, питатель сырого угля.

Применение частотно-регулируемых асинхронных электроприводов в механизмах собственных нужд тепловых электростанций обусловлено рядом преимуществ, к которым относятся упрощение конструкций механизмов, увеличение надежности технологических процессов, снижение затрат на эксплуатацию систем, а также экономия электроэнергии и топлива. Применительно к питателям сырого угля (ПСУ), осуществляющим подачу сырого угля из бункера в систему пылеприготовления котла, использование асинхронного электропривода позволяет обеспечить регулирование скорости привода во всем необходимом диапазоне, уменьшить габариты системы по сравнению с тиристорным электроприводом постоянного тока, а также снизить стоимость затрат на обслуживание и ремонт [1]. Кроме этого асинхронный электродвигатель (АД) с короткозамкнутым ротором является более надежным в связи с отсутствием коллекторного узла.

Достижения последних десятилетий в области полупроводниковой и микропроцессорной техники позволили применять системы более сложного векторного управления асинхронными электроприводами, обладающие более высокими динамическими показателями и широким диапазоном регулирования. К переходным режимам электропривода ПСУ не предъявляются особые требования, однако в процессе работы возможны кратковременные набросы нагрузки существенной величины

---

*Александр Савельевич Глазырин (к.т.н.), доцент каф. электропривода и электрооборудования.*

*Владимир Иосифович Полищук (к.т.н.), доцент каф. электрических сетей и электротехники.*

*Кирилл Сергеевич Афанасьев, аспирант.*

*Вадим Владимирович Тимошкин, аспирант.*

[1]. Одним из способов улучшения динамики асинхронного электропривода при отработке им возмущающих воздействий является применение нечеткого регулирования скорости АД в составе системы векторного управления. Основанный на принципе работы человеческого интеллекта нечеткий регулятор может успешно применяться для многомерных, нелинейных и изменяющихся во времени процессов. Однако при использовании нечетких регуляторов электромеханическая система приобретает статизм по возмущению. Предложенным в данной работе методом устранения статизма выступает создание гибридного фаззи-регулятора скорости.

Целью работы является исследование динамики векторного асинхронного электропривода ПСУ с классическим, нечетким и гибридным регуляторами скорости с целью выявления наилучшего варианта управления.

Для проведения сравнительного анализа векторного и нечеткого управления в программной среде Matlab Simulink были созданы модели векторного асинхронного электропривода на базе двигателя типа АИР 90L4 (номинальная мощность  $P_{2H}=2,2$  кВт, синхронная скорость  $n_0=1500$  об/мин) с различными типами регуляторов скорости. Имитационная модель векторного асинхронного электропривода представлена на рис. 1.

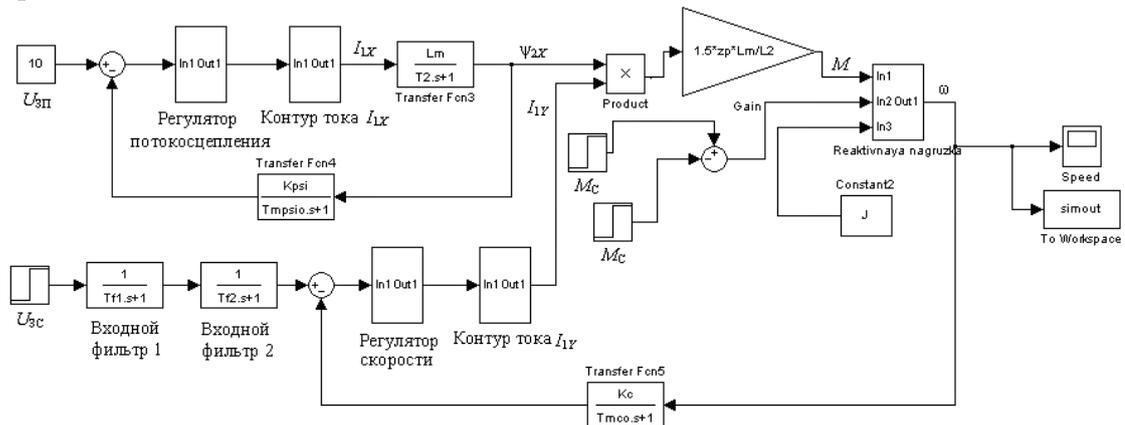


Рис. 1. Имитационная модель векторного асинхронного электропривода

Система управления включала в себя два внешних контура регулирования скорости и потокосцепления ротора АД, а также два внутренних контура проекций тока статора на оси вращающейся системы координат  $x-y$ . Так как ПСУ по отношению к электроприводу можно рассматривать как нагрузку, не зависящую от скорости [1], то при моделировании в качестве момента нагрузки электропривода использовался сигнал постоянной величины.

На рис. 2 представлены структуры исследуемых типов регуляторов скорости.

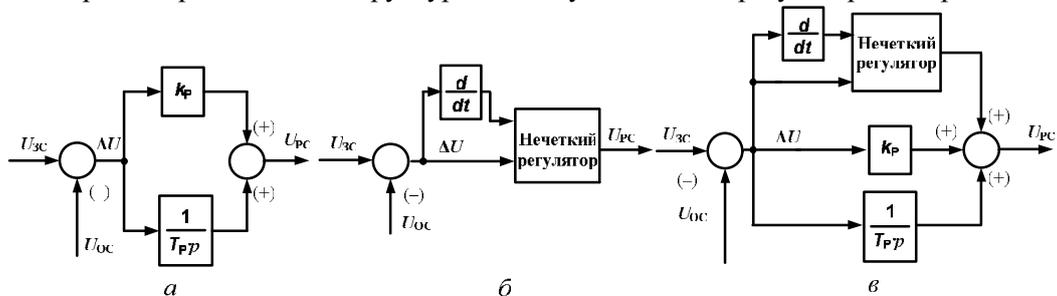


Рис. 2. Структуры исследуемых типов регуляторов скорости:  
 а – классический ПИ-регулятор; б – нечеткий регулятор; в – гибридный регулятор

На рисунке приняты обозначения:  $U_{zc}$  – сигнал задания на скорость;  $U_{oc}$  – сигнал обратной связи по скорости;  $\Delta U$  – сигнал ошибки регулирования по скорости;  $U_{pc}$  – выходной сигнал регулятора скорости;  $k_p$  – коэффициент усиления ПИ-регулятора скорости;  $T_{pc}$  – постоянная времени ПИ-регулятора скорости.

Параметры ПИ-регулятора скорости были рассчитаны по стандартной методике настройки контура скорости АД на симметричный оптимум. При создании алгоритма нечеткого регулятора использовались семь терм для процесса фаззификации, база знаний из 49 правил для логического заключения (формирования выходной лингвистической переменной) и метод центра тяжести при дефаззификации [2].

На рис. 3-5 представлены зависимости скорости от времени электропривода с диапазоном регулирования 1:100 при максимальном и минимальном напряжениях задания. Исследованию подлежали следующие динамические режимы работы системы: пуск вхолостую в момент времени  $t=0,5$  с; наброс номинальной нагрузки в момент  $t=1,5$  с; сброс нагрузки в момент  $t=2$  с.

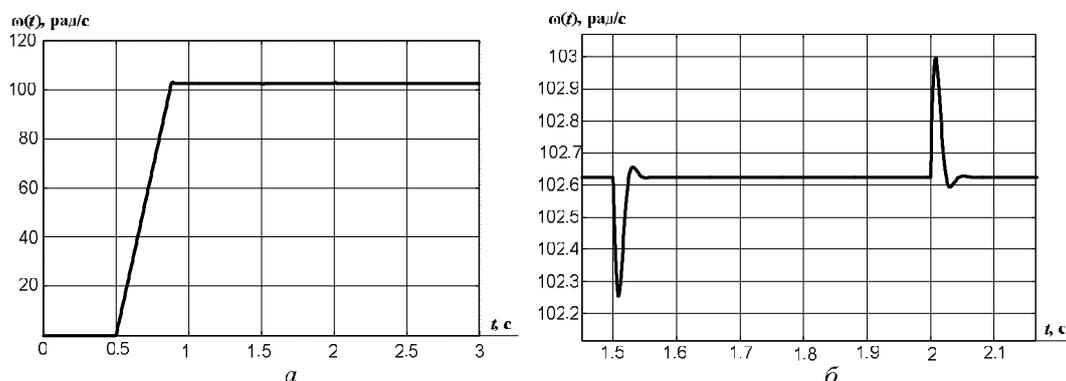


Рис. 3. Зависимости скорости от времени в системе с классическим векторным управлением при максимальном напряжении задания:  
*a* – полный цикл переходных процессов; *б* – переходные процессы наброса и сброса нагрузки в увеличении

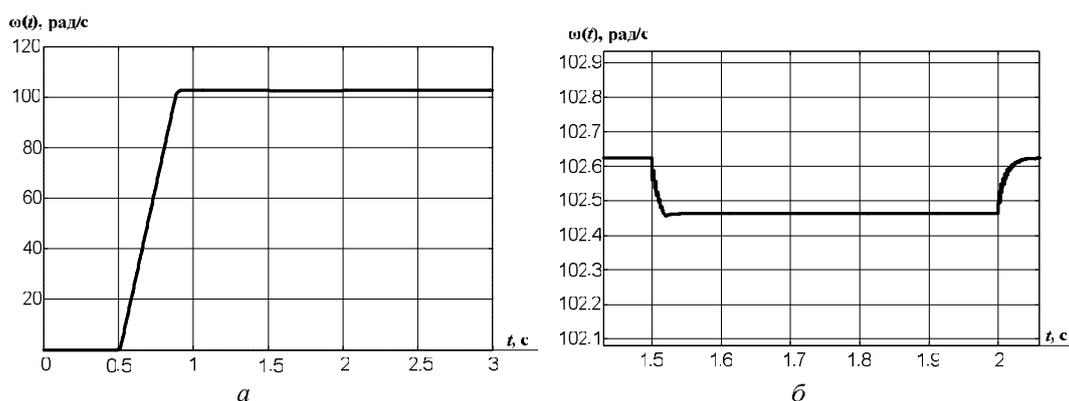


Рис. 4. Зависимости скорости от времени в системе с нечетким регулятором скорости при максимальном напряжении задания:  
*a* – полный цикл переходных процессов; *б* – переходные процессы наброса и сброса нагрузки в увеличении

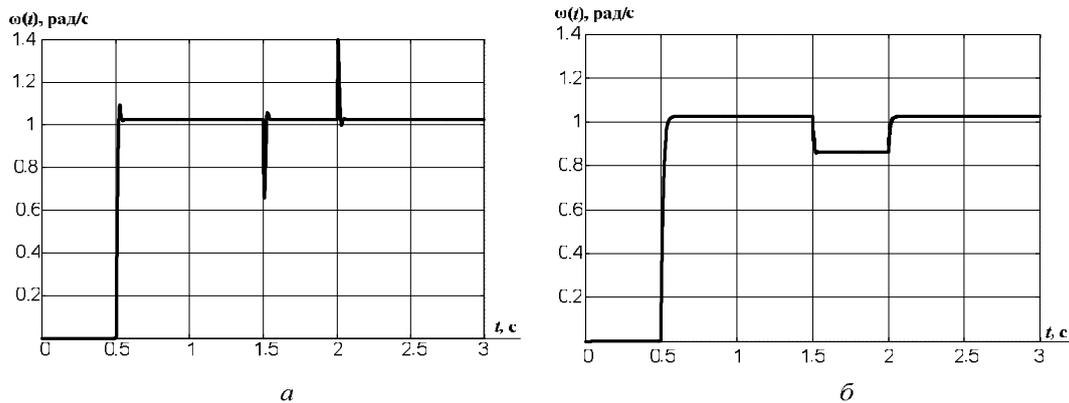


Рис. 5. Зависимости скорости от времени при минимальном напряжении задания:  
 а – в классической векторной системе управления; б – в системе с нечетким регулятором скорости

Из полученных графических зависимостей видно, что при пуске зависимости скорости электропривода от времени в разных системах управления не отличаются друг от друга. Система управления с нечетким регулятором уменьшает динамический провал скорости при набросе и сбросе нагрузки, но при этом добавляет статическую ошибку по возмущению, которая исчезает после снятия момента сопротивления. Статизм по возмущению можно объяснить тем, что нечеткий регулятор аналогичен по своему принципу действия П-регулятору, что соответствует настройке контура скорости на модульный оптимум.

Одним из вариантов устранения статизма, возникающего в системе с нечетким регулятором скорости, является применение гибридного фаззи-регулятора (рис. 2, в). В этом случае сигнал ошибки  $\Delta U$ , представляющий собой разницу между напряжением задания  $U_{3С}$  и сигналом обратной связи по скорости  $U_{0С}$ , поступает одновременно на пропорционально-интегральный и нечеткий регуляторы. Сумма выходных сигналов двух регуляторов представляет собой управляющий сигнал для электропривода. При этом наличие у регулятора интегральной составляющей позволит устранить статическую ошибку по возмущению, возникающую при использовании нечеткого регулятора.

Зависимости скорости от времени электропривода с гибридным фаззи-регулятором представлены на рис. 6-7.

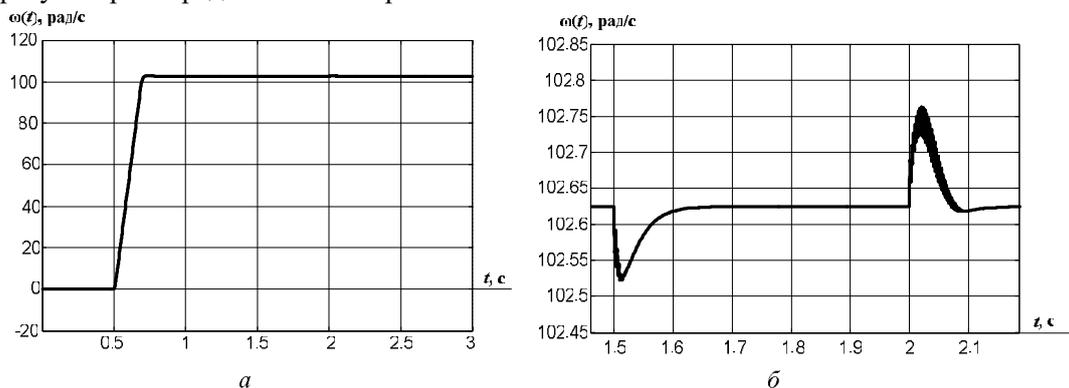


Рис. 6. Зависимости скорости от времени в системе с гибридным фаззи-регулятором при максимальном напряжении задания:  
 а – полный цикл переходных процессов; б – переходные процессы наброса и сброса нагрузки в увеличении

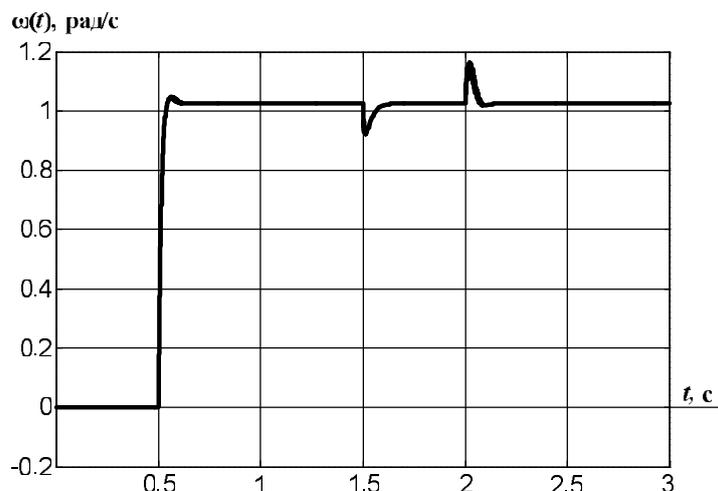


Рис. 7. Зависимости скорости от времени при минимальном напряжении задания в системе с гибридным фаззи-регулятором

Из полученных графиков видно, что асинхронный электропривод с гибридным фаззи-регулятором скорости обеспечивает астатизм по возмущению в отличие от системы управления с нечетким регулятором. Для наглядного сравнения величины динамического провала скорости электропривода с классическим и гибридным регуляторами скорости сведем в таблицу.

**Динамический провал скорости электропривода при набросе ( $\Delta\omega_1$ ) и сбросе ( $\Delta\omega_2$ ) нагрузки**

		$\Delta\omega_1, \%$	$\Delta\omega_2, \%$
ПИ-регулятор скорости	$U_{3C} = U_{3C.МАКС}$	0,361	0,37
	$U_{3C} = 0,01 U_{3C.МАКС}$	36,6	36,4
Гибридный регулятор скорости	$U_{3C} = U_{3C.МАКС}$	0,097	0,107
	$U_{3C} = 0,01 U_{3C.МАКС}$	9,8	15,67

Из полученных результатов видно, что применение гибридного фаззи-регулятора обеспечивает значение динамического провала скорости при набросе и сбросе скорости во всем диапазоне регулирования гораздо меньше, чем при использовании классической векторной системы управления с ПИ-регулятором скорости.

**Выводы**

1. Приведена структура гибридного фаззи-регулятора для управления скоростью векторного асинхронного электропривода ПСУ.
2. Сравнительный анализ трех разных систем векторного асинхронного электропривода (с пропорционально-интегральным, нечетким и гибридным регуляторами скорости) установил, что лучшие динамические показатели достигаются при использовании гибридного фаззи-регулятора.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Петров А.В., Татаринцев Н.И. Применение частотно-регулируемых приводов на питателях сырого угля // Автоматизация и современные технологии. – 2005. – № 6.
2. Ланграф С.В. и др. Динамика электропривода с нечетким регулятором // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – № 4. – С. 168-173.

3. *Леоненков А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
4. *Штовба С.Д.* Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику // URL: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php> (дата обращения: 20.10.2010).

*Статья поступила в редакцию 9 декабря 2011 г.*

## **APPLICATION OF HYBRID FUZZY CONTROLLERS FOR IMPROVEMENT OF DYNAMICS OF INDUCTION MOTOR DRIVES OF RAW COAL FEEDERS**

***A.S. Glazyrin, V.I. Polischuk, K.S. Afanasyev, V.V. Timoshkin***

National Research Tomsk Polytechnic University  
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050

*The hybrid fuzzy controllers for improving the dynamics of the induction motor drives of raw coal feeders are considered in the paper. The transient processes in the induction motor drives with classic and hybrid fuzzy speed controllers are considered. The application of the variable speed drive motors with the hybrid fuzzy controllers are considered.*

***Keywords:*** *vector control, fuzzy logic, induction motor, raw coal feeder.*

---

*Alexander S. Glazyrin (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.  
Vladimir I. Polischuk (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.  
Kirill S. Afanasyev, Postgraduate student.  
Vadim V. Timoshkin, Postgraduate student.*